

Knie, Andreas

Book — Digitized Version

Diesel - Karriere einer Technik: Genese und Formierungsprozesse im Motorenbau

Provided in Cooperation with:

WZB Berlin Social Science Center

Suggested Citation: Knie, Andreas (1991) : Diesel - Karriere einer Technik: Genese und Formierungsprozesse im Motorenbau, ISBN 3-89404-103-X, Edition Sigma, Berlin

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/112245>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

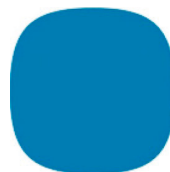
Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.



WZB-Open Access Digitalisate

WZB-Open Access digital copies

Das nachfolgende Dokument wurde zum Zweck der kostenfreien Onlinebereitstellung digitalisiert am Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung gGmbH (WZB).

Das WZB verfügt über die entsprechenden Nutzungsrechte. Sollten Sie sich durch die Onlineveröffentlichung des Dokuments wider Erwarten dennoch in Ihren Rechten verletzt sehen, kontaktieren Sie bitte das WZB postalisch oder per E-Mail:

Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung gGmbH

Bibliothek und wissenschaftliche Information

Reichpietschufer 50

D-10785 Berlin

E-Mail: bibliothek@wzb.eu

The following document was digitized at the Berlin Social Science Center (WZB) in order to make it publicly available online.

The WZB has the corresponding rights of use. If, against all possibility, you consider your rights to be violated by the online publication of this document, please contact the WZB by sending a letter or an e-mail to:

Berlin Social Science Center (WZB)

Library and Scientific Information

Reichpietschufer 50

D-10785 Berlin

e-mail: bibliothek@wzb.eu

Digitalisierung und Bereitstellung dieser Publikation erfolgten im Rahmen des Retrodigitalisierungsprojektes **OA 1000+**. Weitere Informationen zum Projekt und eine Liste der ca. 1 500 digitalisierten Texte sind unter <http://www.wzb.eu/de/bibliothek/serviceangebote/open-access/oa-1000> verfügbar.

This text was digitizing and published online as part of the digitizing-project **OA 1000+**.

More about the project as well as a list of all the digitized documents (ca. 1 500) can be found at <http://www.wzb.eu/en/library/services/open-access/oa-1000>.

Knie: Diesel - Karriere einer Technik

Herausgegeben vom

WISSENSCHAFTSZENTRUM BERLIN FÜR SOZIALFORSCHUNG

Abteilung: Organisation und Technikgenese

Direktor: Professor Dr. Meinolf Dierkes

Andreas Knie

**Diesel –
Karriere einer Technik**

Genese und Formierungsprozesse
im Motorenbau



Der Verlag informiert Sie gern über sein umfangreiches sozialwissenschaftliches Programm. Bitte fordern Sie Informationen an. Natürlich kostenlos und unverbindlich.

edition sigma Heimstr. 14 D-1000 Berlin 61 ☎ 030 / 693 4 396

CIP-Titelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Knie, Andreas:

Diesel – Karriere einer Technik : Genese und
Formierungsprozesse im Motorenbau / Andreas Knie. [Hrsg.
vom Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung,
Abteilung: Organisation und Technikgenese]. - Berlin :
Ed. Sigma Bohn, 1991

Zugl.: Berlin, Techn. Univ., Diss., 1991

ISBN 3-89404-103-X

Copyright 1991 by edition sigma rainer bohn verlag, Berlin.

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Mikroverfilmungen, Übersetzungen und die Einspeicherung in elektronische Systeme.

Textverarbeitung: Ingrid Schwarzkopf

Druck: WZB

Printed in Germany

INHALT

	Seite
I. EINLEITUNG	
1. Technik als sozialer Prozeß ohne Technik? Vorbehalte der sozialwissenschaftlichen Technik- forschung im Umgang mit dem Gegenstand	9
<i>Prämissen und Probleme sozialwissenschaftlicher Technik- forschung / Untersuchungskonzept, Begründungen und Kom- mentare zur Fallanalyse / Übersicht und Vorschau</i>	
2. Der "Stand der Technik": Zur Deutung kognitiver, sozialer und ökonomischer Bedingungen der techni- schen Arbeit	35
<i>Suche nach Ordnung und stabilen Rahmenbedingungen / Serielles Problemverarbeitungsmuster / Institutionalisierte Wissensbestände / Zur Politik des Konsenses / "Revirement"</i>	
3. In Teufels Küche: Der schwierige Umgang mit der traditionellen Geschichtsschreibung	55
<i>Technikgeschichtliche Programmaufträge / Objektfixierte, gefilterte und sortierte Materialsammlungen</i>	
II. DIE ORGANISATION VON GENESEPROZESSEN IM VERBRENNUNGSMOTORENBAU: DER DIESELMOTOR	
4. Auftakt in Wolfsburg 1988: Die Zukunft der Automobil- industrie als inszenierte Innovationsfähigkeit und kalkulierte Beharrung	67
<i>Das Dilemma der heutigen Motorenforschung / Politik der Sachzwänge: der Öko-Polo</i>	
5. Die Dampfmaschine im Kopf: Thermodynamische Modellbildung als kognitive Grundformatierung des Kraftmaschinenbaus (1824-1890)	84
	5

Die Dampfmaschine / Sadi Carnot / Thermodynamische Hauptsätze / Theoretischer Maschinenbau / Theorie-Praxis-Dilemma im Kraftmaschinenbau

6. Einbruch in die Phalanx des herrschenden Technikverständnisses: Design-Entwicklung, Unterstützer-Netzwerk und die Formierung der "Diesel-Gruppe" (1888-1893) 108

Produktive Unruhe: Die Suche nach neuen Wegen in der Energietechnik / Von der Kältetechnik zum Wärmekraftmaschinenbau: Rudolf Diesel und der "ideale Kreisprozeß" / Entwicklungsprojekte im Verbrennungsmotorenbau der 90er Jahre / Patentschutz für eine Theorie, Ablehnung in der Industrie / Bündnispolitik / "Diesel-Gruppe"

7. "Schließung" und "Konsolidierung": Die Transformation des Dieselmotors von der universellen Kraftmaschine zur Dampfmaschine des 20. Jahrhunderts (1893-1907) 147

Neues Denken in traditionellen Kontexten: Verhandlungspoker in Augsburg / Verwissenschaftlichung technischer Wissensproduktion. Die schwierige Suche nach einem Kompromiß in der Frage der Wirkungsgrade / Triumph der Theorie - Desaster in der Praxis / Risiken und Chancen der Lizenzvergabe als Element der Absicherungspolitik / "Schließungs"-politik zur Sicherung des Konsolidierungskonsenses: Verliererprojekte / Markteinführung unter manipulierten Bedingungen / Krise, "Überwintern" und Rettungsanker

8. Die Institutionalisierung des Dieselmotors im herrschenden "Stand der Technik": Die Ausdifferenzierung der Maschinen- und Motorenindustrie und die Zuweisung exklusiver Nutzungsfelder (1908-1918) 193

Fusion und Modernisierung der MAN / Unterschiedliche Entwicklungstile in Augsburg und Nürnberg / Erweiterter Konsolidierungskonsens und Neuformierung der "Diesel-Gruppe" / Dieselprinzips als "legitimes" technisches Wissen / Branchenformierung und Institutionalisierung der Wissensbestände / Verliererprojekte / Junkers / Der Dieselmotor als Kriegsgewinnler

9. Reformen auf sicherem Grund: Ausweitung der Einsatzfelder des dieselmotorischen Antriebs im formierten "Stand der Technik" (1918-1988) 232

Sicherungsarbeiten in der Maschinen- und Motorenindustrie an der technischen Definitionsmacht / Nachkriegsphase: Neue Optionen und alte Grenzziehungen / Unübersichtlichkeiten auf dem Weg zum Diesel-Schnellläufer / Die Beiträge der Forschung und Zulieferindustrie zur Standardisierung der Konstruktionsformen / Adaption der ottomotorischen Entwicklungslinie und Aufgabe dieseltypischer Konstruktionsmerkmale / Der Verzicht auf die politische Sicherung einer genialen Konstruktion: die folgenlose Episode des Junkers-Flugdieselmotors / Der Diesel-Pkw als Element der "Volksmotorisierung" / Aus der Agonie ins Rampenlicht der Industriepolitik

III. INSTITUTIONALISIERTE TECHNISCHE WISSENSBESTÄNDE IN FORMIERTEN INDUSTRIEBRANCHEN

10. "Gewinner" (Diesel) und "Verlierer" (NSU/Wankel) im Vergleich: Voraussetzungen und Bedingungen zur Durchsetzung und Absicherung von Geneseprozessen 273

Einbruch / Schließung und Konsolidierung / Institutionalisierung

11. Technische Lösungen mit überschrittenem "Verfallsdatum": Der "herrschende Stand der Technik" und sein politischer Preis 306

Einschreiben, Festschreiben, Schließen und Konsolidieren: Die Institutionalisierung technischer Wissensbestände / Technikgenese als Projekt der Destabilisierung und Neuformierung institutionalisierter Wissensbestände / Technologiepolitische Implikationen

IV. LITERATUR 323

I. EINLEITUNG

1. Technik als sozialer Prozeß ohne Technik? Vorbehalte der sozialwissenschaftlichen Technik- forschung im Umgang mit dem Gegenstand

In der sozialwissenschaftlichen Technikforschung wird in den letzten Jahren in den verschiedenen Forschungskontexten mit dem Begriff "Technikgenese" operiert. Als Begründung für die damit angezeigte neue Untersuchungsperspektive wird zumeist der Verweis auf einen gestiegenen Bedarf an konkretem "Gestaltungswissen" herangezogen, der aus einer für die modernen Industriegesellschaften weiterhin zentralen Bedeutung, aber in der Wirkungsweise zunehmend auch als ambivalent empfundenen Entwicklung der Technik resultiert. Ein von führenden sozialwissenschaftlichen Forschungseinrichtungen vorgelegtes Memorandum faßt diese zukünftigen Aufgabenfelder zusammen: "Erst eine systematische Erweiterung der Wirkungsforschung um den bisher weit weniger gut untersuchten Prozeß der Erzeugung und Durchsetzung technischer Innovationen, d.h. um die Entwicklungs- und Anwendungsdimension der Technik, wird die sozialwissenschaftliche Technikforschung in den Stand setzen, den Anforderungen aus der gesellschaftlichen Praxis verantwortungsvoll zu genügen". Die Forschungseinrichtungen hoffen, in einer solchen Untersuchungsperspektive durch die Analyse des Erzeugungsprozesses von Techniken einen ganz praktischen Beitrag leisten zu können, indem durch eine Aufarbeitung und Darlegung der Verschränkungen der Technikentstehung mit gesellschaftlichen Entwicklungsprozessen möglicherweise das Ausmaß "negativer Technikfolgen von vornherein" begrenzt werden kann (Memorandum, 1984: 5/6).

Es wird bei diesen neuen Forschungsperspektiven zur Technikgenese angenommen, daß die technischen Entwicklungsmuster nicht von einer "Eigengesetzlichkeit" determiniert werden, sondern daß Technik als ein "sozialer Prozeß" neu gefaßt und mit sozialwissenschaftlichen Methoden- und Analysemöglichkeiten erklärt werden kann (vgl. Dierkes, 1987: 166ff.; Rammert, 1988; Joerges, 1988a: 13ff.; Weingart, 1989: 8f.).

Wir werden nun in diesem ersten Abschnitt die These vertreten, daß die Mehrzahl der Arbeiten zur sozialwissenschaftlichen Technik-

forschung in ihrer Konzentration auf die Analyse der Entstehung von Techniken diesen praxeologischen Interessen nicht gerecht wird, was einmal aus theoretisch-konzeptionellen Altlasten, aber auch aus einer gepflegten akademischen Distanz zu konkreten technischen Artefakten sowie einer fehlenden Konsequenz bei der empirischen Umsetzung der programmatischen Perspektiven erklärt werden kann.

Aus der kritischen Bewertung ziehen wir die Konsequenz, daß eine Technikgeneseforschung sich unmittelbar an den Ort der Entstehung begeben muß, um den konkreten Erzeugungsprozeß nicht nur aus den sozialen, ökonomischen und politischen Bedingungen abzuleiten, sondern eine selektiv aus diesen Wirklichkeiten fabrizierte Tätigkeit zu beschreiben, bei der das Wissen um die Methoden technischer Arbeit sowie die Kenntnis konkreter Konstruktionsmerkmale die für eine sozialwissenschaftliche Analyse zugänglich und für die Deutung technischer Entstehungs- und Entwicklungsmuster relevanten sozialen Anteile herausdestillieren können.

Um diese Prozesse zu untersuchen, interpretieren wir die Entstehung neuer Techniken als einen "Schließungs- und Konsolidierungsprozeß", bei dem die zur Zeit der Entstehung gültigen Bedingungen in die technische Konfiguration eingeschrieben werden und durch eine Anerkennung als "Stand der Technik" über die betrieblichen Entstehungskontexte hinaus als Standardwissen eines eingegrenzten technischen Feldes institutionalisiert werden. Die Untersuchung der Genesephase als ein für die Gestaltung technischer Merkmale besonders prägender Abschnitt im Rahmen der Technikentwicklung wird dabei in eine Längsschnittperspektive einer exemplarisch untersuchten Techniklinie integriert, wobei die Chancen zur Durchsetzung und dauerhaften Sicherung neuer und unkonventioneller technischer Lösungsmuster weniger den technisch-konstruktiven Beiträgen als vielmehr organisatorischen und bündnispolitischen Fähigkeiten zur Generierung von "Definitionsmacht" zugeschrieben werden, die aber in ihren Erfolgsbedingungen vom jeweiligen Grad der Strukturierung und Formierung des technischen Feldes und der industriellen Branche bestimmt werden.

Die Auswahl und Begründung des Untersuchungsfeldes sowie die einzelnen Analyseschritte werden am Ende dieses Abschnittes erläutert.

Prämissen und Probleme sozialwissenschaftlicher Technikforschung

Fragen nach den Möglichkeiten, Chancen und Grenzen der Gestaltung des technischen Fortschritts sind ja keineswegs neue Themen für die sozialwissenschaftliche Forschung. Probleme der gesellschaftlichen Modernisierung, seien es die Zerstörungen der natürlichen Umwelt oder die durch kapitalistische Wirtschaftsformen ausgelösten Prozesse der sozialen Deklassierung, gehörten zu den Schwerpunktthemen der sich konstituierenden Sozialwissenschaften (vgl. Wagner, 1990: 65ff.).

Die Erforschung von Auswirkungen des Technikeinsatzes in Industrie und Verwaltung oder die Herausarbeitung des Gefährdungspotentials großtechnischer Entwicklungslinien blieben bestimmende Themen einer sozialwissenschaftlichen Technikforschung (vgl. Dierkes, 1986: 115ff.). Versuche einer differenzierten, auf die Deutung konkreter Erzeugnisse bezogene Technikforschung, in der die inhaltliche Formung von Techniken in sozialen Entstehungsmilieus eingebunden und nach der Verfügbarkeit von Gestaltungsoptionen bei gegebenen und nicht zur Disposition stehenden gesamtgesellschaftlichen Rahmenbedingungen geforscht wurde, sind - so die These - durch die Arbeiten der "Klassiker" der Sozialwissenschaften eher behindert worden. Die später von so unterschiedlichen Autoren wie Gehlen und Marcuse reproduzierte enge Kopplung der materiellen Reproduktion, in der die Generierung technischen Wissens ja eingebunden ist, mit dem "Projekt Moderne" unterstellte beständig einen immanenten Zusammenhang von moderner Technikentwicklung und zweckrationalem Denken. "Für den institutionalisierten Fortschritt von Wissenschaft und Technik, ihrer Struktur nach beurteilt, finden wir nirgendwo eine funktional gleichwertige Alternative", argumentierte auch Habermas und entzog damit einer sozialwissenschaftlichen Technikforschung, die sich um die Fragen nach der sozialen Formbarkeit hätte kümmern wollen, den konzeptionellen Boden. "Die Unschuld der Technik, die wir gegen ihre ahnungsvollen Verächter verteidigen müssen, besteht ganz einfach darin, daß die Reproduktion der Menschengattung an die Bedingung instrumentalen, überhaupt zweckrationalen Handelns gebunden ist". In einer solchen Lesart kann die "Struktur" des wissenschaftlich-technischen Fortschritts nicht verändert werden, sondern

höchstens die "Reichweite technischer Verfügungsgewalt", "solange diese Gattung organisch bleibt, was sie ist" (Habermas, 1963: 348).

Zwar weniger dramatisch, aber mit einem ebenfalls instrumentellen Verständnis von Technikentwicklung, gründet die sozialwissenschaftliche Distanz zum Gegenstand Technik auch auf der über viele Jahre akzeptierten Prämisse, die Entstehung und Gestaltung technischer Lösungsmuster aus ökonomischen Handlungskalkülen ableiten zu können. Die Beschreibung von technischen Konfigurationen diene dabei lediglich als empirisches Illustrationsmaterial für eine analytische Rekonstruktion ökonomisch motivierter Operationen, beispielsweise zur Offenlegung der "Strategien zur Sicherung der Kapitalverwertungsmöglichkeiten bei veränderten gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Bedingungen" (vgl. Ullrich, 1977: 49ff.; Hirsch, 1971: 65ff.). Dieses "utilitaristisch-szientistische Paradigma, das die feindlichen Kinder des Humanismus, Liberalismus und Sozialismus teilen", verankerte das Verständnis von der "Neutralität und Autonomie" des wissenschaftlich-technischen Fortschritts in den sozialwissenschaftlichen Diskursen und ließ die Gestaltung von Technik zu einer Frage des richtigen Gebrauchs werden (Strasser/Traube, 1982: 243). Die auf Marx zurückgehende Einbettung der technischen Entwicklung in die Umstellung der Warenform und Warenproduktion durch die Ersetzung des Gebrauchswertprinzips infolge des geldvermittelten Tauschwertprinzips kapitalistischer Wirtschaftsverfassungen wird ebenso von diesem Grundverständnis getragen wie neuere Erklärungsansätze des "supply-push" oder des "demand-pull", die den Nachfrage- bzw. Angebotskonstellationen als ökonomisch relevante Größen technikprägenden Einfluß einräumen (vgl. Rosenberg, 1982: 3ff.).

Sicherlich sprechen gute Gründe für eine solche Integration der technischen Wissensproduktion in die Deutungen gesamtgesellschaftlicher Entwicklungsverläufe. Die Einordnung technischer Projekte in ökonomische und politische Kontexte gilt ja überhaupt als analytischer Vorteil der Sozialwissenschaften gegenüber den Ansätzen der traditionellen Technikgeschichtsschreibung. Um diesen Vorzug aber auch ausspielen zu können, müssen sich umgekehrt die Auswirkungen dieser gesellschaftlichen Konstellationen in Form und Inhalt der technischen Wissensproduktion nachweisen lassen, und da diese Übersetzungen nicht "stromlinienförmig" und unmittelbar verlaufen, reicht

die implizite Nutzung kausaler Übertragungsmodelle hierfür nicht aus. Zwei Entwicklungslinien jüngerer Datums haben diesen instrumentellen Umgang in den Sozialwissenschaften daher auch untergraben können und zu einem "Trendwechsel" in der Befassung mit dem Thema "Technik" geführt, ohne - und dies ist unsere zweite These - daß indessen dieser Wechsel der Prämissen bislang eine konkrete Auseinandersetzung mit Prozessen der Generierung und Institutionalisierung technischer Wissensbestände nach sich gezogen hätte.

(1) Daß sich nämlich selbst eine kapitalistische Logik keineswegs unmittelbar in technische Konzepte übersetzen läßt, daß selbst im Kernbereich kapitalistischer Wirtschaftsverfassung, in den Betrieben, Fabriken und Verwaltungen, Auswahl, Einsatz und Nutzung von Techniken nicht nur den ökonomischen Profitgesetzen unterworfen sind, sondern von sozialen Interaktionsprozessen und den Ergebnissen machtpolitischer Auseinandersetzungen bestimmt werden, zeigten Ergebnisse der industriesoziologischen Forschung. Unternehmen, die in gleiche ökonomische Rahmenbedingungen eingebettet und gleichen institutionellen Zwängen ausgesetzt waren, konnten auch hinsichtlich Produkt- und Produktionsstrategien zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen finden (exempl. Sorge, 1985: 117ff.). Spätestens seit Untersuchungen von Piore/Sabel (1984), Brödner (1985) oder Hildebrandt/Seltz (1989) wissen wir, daß auch ein kapitalistischer "Geist" in bestimmten Produktionsformen "gerinnt" und dieser Institutionalisierungsprozeß durchaus ein eigenes Momentum gewinnen kann, da die optimalen Verwertungsbedingungen über ihre an eine zeitliche Befristung gebundene Wirkungsweise hinaus weiter festgeschrieben bleiben.

(2) Die in den 70er Jahren begonnene breite gesellschaftliche Debatte um die ökologischen Grundlagen der Industriegesellschaften, die sich vor allem unter der Leitformel "small is beautiful" zu einer beherzten Kritik am bisher so dominanten Wachstumsmodell der Nachkriegsgenerationen entwickelte, wirbelte ebenfalls vorherrschende Grundorientierungen durcheinander und ließ den bisherigen Status der Technik als eine Art Residualkategorie nun problematisch erscheinen, da die gesellschaftspolitisch artikulierten Gestaltungswünsche differenziertere Bewertungsmuster verlangten. Die Grenzen des bislang scheinbar so unbegrenzten Wirtschaftswachstums wurden sichtbar, die Rückkehr zu einem menschlichen Maß eingeklagt, Fortschrittsmy-

then entlarvt und eine generelle Abkehr von quantitativen Wachstumsparametern gefordert (vgl. Kreibich, 1986: 23ff.). Bis dahin kaum beachtete Autoren wie Lewis Mumford wurden populär, der schon Jahre zuvor vermutet hatte, daß man bereits von der Jungsteinzeit im Nahen Osten an bis in die Gegenwart hinein zwei Technisierungsprozesse "nebeneinander" und "im zeitlichen Wechsel" nachweisen könne. Der eine "autoritär", der andere "demokratisch"; der eine "systemzentriert und von immenser Leistungsfähigkeit, aber im Kern instabil", der andere "auf den Menschen zugeschnitten, relativ schwach, aber phantasie reich und dauerhaft" (Mumford, 1966: 271). Aber Mumfords Arbeiten blieben noch sehr auf die Analyse der Entstehung und Herausbildung bestimmter gesellschaftlicher Formationen und sozialer Ordnungen konzentriert, denen er zwar unterschiedliche Technisierungsprojekte zuordnete, die aber ohne empirische Nachweise noch sehr konstruiert wirkten. "Die unpersönliche bürokratische Ordnung des Kontors wetteiferte mit der klösterlichen und militärischen Ordnung in der Schaffung der Grundlagen für die starre Disziplin und die unpersönliche Regelmäßigkeit, die sich mit der Zeit auf alle Aspekte des institutionellen Lebens der westlichen Zivilisation ausdehnen", und - so Mumfords kausales Übertragungsmodell: "diese Ordnung wurde ohne Schwierigkeiten auf automatische Maschinen und Computer übertragen" (Mumford, 1966: 317).

Die Auseinandersetzung mit konkreter Technik wurde von Bürgerinitiativen und anderen politisch aktiven Gruppen mit ihren Protestformen auch in die Diskurse der sozialwissenschaftlichen Forschung hineingetragen. Technische Erzeugnisse, Geräte, Maschinen, technische Infrastrukturen erhielten den Status sozialer Projekte, und Technikentwicklung wurde nun als ein "essentiell politischer Prozeß" interpretiert (Dickson, 1974: 10). "Die Erkenntnis, daß Technologie politisch ist, stellte einen wichtigen ideologischen Durchbruch dar, weil sie den Fatalismus des technologischen Determinismus als zentralen Leitgedanken der kapitalistischen Apologeten in Frage stellte" (Noble, 1986: 45). Nunmehr sollte auch die inhaltliche Spezifizierung von Technik als ein Resultat der gesellschaftlichen Auseinandersetzung verstanden werden. "Technologie (ist) keine autonome Kraft, die die Menschen quasi von außen beeinflusst", sondern "das Produkt eines sozialen Prozesses". Die technischen Entwicklungsmöglichkeiten bestehen an sich in einer breiten Perspektive, "die mit

der Zeit abgegrenzt werden - weil einige ausgewählt und andere nicht berücksichtigt werden - durch die gesellschaftliche Entscheidung derer, die die Macht haben zu wählen" (Noble, 1986: 98). "Wir sind aufgefordert, nach dem in die Techniken eingelassenen kulturellen Modell zu fahnden", denn hier "werden von den historischen Akteuren jeweils die Maßstäbe dafür definiert, was als wirksam, sparsam, nützlich und sittlich gelten kann" (Rammert, 1985: 9), versuchte die Forschung sich aus dem selbstauferlegten, engen Korsett strenger Zweckrationalität betrieblicher Entscheidungsprozesse zu befreien und neue Perspektiven zu erschließen.

Das Thema Technik wurde in den Sozialwissenschaften populär, die großen Standesorganisationen der Soziologie und Politikwissenschaft nahmen die Erörterung über Probleme der Technikforschung in die Programme ihrer Jahrestagungen auf (vgl. Hartwich, 1986) und eine breite Rezeption englischsprachiger Literatur zum Thema Technik setzte ein. Verweise auf den von Bijker, Hughes und Pinch 1987 herausgegebenen Sammelband (die darin veröffentlichten Arbeiten stammen bereits aus dem Jahre 1984) gehören mittlerweile genauso zum festen Referenz-Repertoire wie die unter dem Titel "Social Shaping of Technology" veröffentlichte Aufsatzsammlung von Mackenzie und Wajcman, und mittlerweile ist sogar ein kleiner Bestand erkenntnisleitender Prämissen entstanden, der beinahe in jedem neueren Beitrag zur sozialwissenschaftlichen Technikforschung zu finden ist:

- Technikentwicklung wird nicht mehr als eine von der Gesellschaft exogene Kraft, ausgestattet mit einer eigenen Logik, verstanden, sondern soll als ein soziales Projekt reformuliert werden;
- die in der traditionellen Technikgeschichtsschreibung betriebene Zentrierung auf die geniale Persönlichkeit des Einzelerfinders bedarf dringend der Revision; die Produktionsbedingungen von Techniken müssen in organisatorische und institutionelle Kontexte eingeordnet und auch in diesem Zusammenhang erklärt werden;
- der Technikbegriff ist von seiner sehr gegenstandszentrierten Bedeutung zu lösen und auch zur Kennzeichnung sozialer Mechanismen und Handlungsmuster zu verwenden;
- die bisherige Konzentration auf die Erörterung von "Rahmenbedingungen" des technischen Fortschritts reicht daher nicht mehr aus; ein stärkeres Interesse für die kognitiven Strukturen des wis-

senschaftlichen und technischen Wissens rückt vielmehr den Ort der Erzeugung stärker in das Blickfeld (L. Hack, 1989: 72ff.).

Der neueren Sozial- und Wirtschaftsgeschichte, die bereits auf umfangreiche empirische Forschungserfahrungen zum Thema zurückblicken kann, blieb es vorbehalten, schon sehr früh und sehr deutlich auf die analytischen Probleme dieses neuen Technikverständnisses aufmerksam zu machen. "Angesichts der geradezu verwirrenden Fülle von Fragestellungen und Interpretationsangeboten" drohe die Gefahr, "daß bei der Beschäftigung mit Ursachen und Wirkungen der Technik der eigentliche technische Gegenstand ... in den Hintergrund gedrängt wird" (Hausen/Rürup, 1975: 21). Auch heute noch scheint so manchem zeitgenössischen Beobachter der sozialwissenschaftlichen Szene der Paradigmenwechsel der "jüngeren Techniksoziologen" viel zu schnell gekommen zu sein und erregt durch den mangelhaften Bezug zum Gegenstand eher Verdacht. Technische Lösungsformen statt aus "technisch-wirtschaftlichen Kalkülen" nunmehr aus soziokulturellen Prägekräften abzuleiten, war beispielsweise für Ropohl nur ein Beleg für die mangelhaften Kenntnisse der technisch-wirtschaftlichen Zusammenhänge (vgl. Ropohl, 1987: 148).

Und in der Tat: Als 1982 verschiedene sozialwissenschaftliche Aufsätze unter dem Etikett "Techniksoziologie" herausgegeben wurden, konnte noch mit gutem Gewissen vermerkt werden, daß es bislang ein Forschungsprogramm zur "Soziologie der Technik" kaum gegeben habe, ja die Entwicklung einer solchen längst "überfällig" sei (vgl. Jokisch, 1982: VIIIf.). Gut fünf Jahre später (1989), nach Erscheinen eines Sammelbandes unter dem Titel "Technik als sozialer Prozeß", wurde aber erneut auf das betretene "Neuland" verwiesen, und es mußte festgestellt werden, daß "Technik" in der Soziologie nach wie vor ein "Fremdkörper" geblieben sei (vgl. Weingart, 1989: 7ff.). Ehemalige Mitglieder einer Berliner Projektgruppe, die bereits 1983 beachtliche konzeptionelle Überlegungen zur Auflösung der Dichotomie von "Technik" und "Gesellschaft" vorgelegt hatten, konnten offenbar selbst nicht an den erarbeiteten Erkenntnisgewinn glauben und machen sich nun erst einmal wieder auf den "Weg zu einer Soziologie der Technik" (vgl. Bammé/Berger/Kotzmann, 1989: 29ff.).

In den letzten Jahren konnte zwar ein verändertes Verständnis von Technik, meist sogar in Verbindung einiger neuer programmatischer

Forschungselemente, in den Sozialwissenschaften Raum greifen, ohne daß aber eine empirische Forschung eingeleitet worden wäre, mit der die Tauglichkeit neuer Kategorien als mögliche Bausteine einer sozialwissenschaftlichen Techniktheorie hätte überprüft werden können und nicht Fragen und Probleme immer wieder neu auf der Tagesordnung erscheinen lassen müssen. Ob sich Technik als "geronnenes Wissen" oder als eine besonders ausgeprägte, strikte Form sozialen Handelns begreifen lasse - der mittlerweile in die Jahre gekommene Streit, was nun "Technik" und was "Technologie" ist, gehört hierzu -, auf welche Weise ebenfalls die zwar unbeliebte, aber häufig gebrauchte Begriffskrücke "sozio-technisch" produktiv aufgelöst werden kann, ob und in welcher Dosierung Ergebnisse der Wissenschaftsforschung, beispielsweise die erkenntnistheoretischen Aspekte des Konstruktivismus, auch auf die Produktions- und Umsetzungsbedingungen technischen Wissens angewendet werden können: Dies sind forschungskonzeptionelle Probleme, die jedes Jahr auf jeder Konferenz und in jedem Sammelband aufs neue diskutiert werden. Die spärlichen empirischen Erkenntnisse über Entstehungszusammenhänge von technischen Entwicklungen, die techniksoziologisch bislang verarbeitet wurden, stammen - wenn sie nicht aus industriesoziologischen Studien entlehnt wurden - entweder aus den Werkstätten der neueren Sozial- und Wirtschaftsgeschichte oder werden aus angelsächsischen und französischen Kontexten übernommen (exempl. Hughes, 1983; Noble, 1984; Callon, 1983).

Burkart Lutz bezeichnet es daher als offensichtlich "ziemlich schwierig, technische Entwicklung als sozialen Prozeß so zu konzipieren, daß sozialwissenschaftliche Untersuchungen mehr Einsichten erbringen als die bloße Nacherzählung und Klassifikation abgeschlossener technischer Entwicklungen" (B. Lutz, 1989: 16). Bernward Joerges vermutet, daß der "entmaterialisierte Handlungsbegriff der Weber-Tradition", aber auch die "entrückte Handlungsesotherik Luhmannscher Prägung" sowie die "luftige Zeichenakrobatik der Semiotiker" den "Zugang zu real funktionierender Technik erschwert oder verhindert" haben. "Maschinerie repräsentiert hier nicht Handeln, deshalb ist sie nicht behandelbar; Soziales spielt sich um sie herum ab, sie selbst, ihre innere soziale Struktur bleibt verdeckt" (Joerges, 1988b: 202).

Man muß den Eindruck gewinnen, daß sich die Sozialwissenschaften regelrecht scheuen, in die Niederungen der Maschinenwelt hinabzusteigen, offensichtlich aus Angst, sich dort mit dem positivistischen Gedankengut der Technik- und Ingenieurwissenschaften zu infizieren. Die Warnung, "als Soziologen" den Begriff "Technik" um Gottes willen nicht als "bloßes Werkzeug und Instrument im ingenieurwissenschaftlichen Sinne" zu begreifen (Bammé/Berger/Krotzmann, 1989: 29), verbunden mit dem Plädoyer, "Technik nicht in erster Linie als einzelne materielle Artefakte, Sachsysteme oder technische Systeme" zu behandeln, nimmt in der soziologischen Literatur beschwörende Züge an. Die Handlungsanweisungen, "diese Perspektive am besten den Ingenieuren und Naturwissenschaftlern zu überlassen", finden neuerdings auch in konzeptionellen Entscheidungen ihren Niederschlag. Werner Rammert beispielsweise, der selbst die "Distanz zum Artefakt", aber das "Engagement für die Deutung" in der Techniksoziologie kritisierte (Rammert, 1987: 44ff.), schlägt nunmehr selbst ein "medientheoretisches Konzept der Technik" vor, in der das "Technische kein Bereich" mehr ist, "sondern eine besondere Relation in Sozialzusammenhängen". Das Technische ist überhaupt nicht in der Materialität der Artefakte zu suchen, sondern "in der Funktionalität der Verknüpfungen von sachlichen und nicht-sachlichen Elementen zu einem künstlichen Wirkungszusammenhang" (Rammert, 1989: 166; 135; 133).

Die Sozialwissenschaften blieben mehrheitlich - trotz eines scheinbar radikal gewandelten Technikverständnisses - in sicherer Distanz zur materialisierten "Technik" und setzten die konzeptionellen Fortschritte nicht in empirische Forschungsprogramme um. Man kümmerte sich weiterhin mehr um das soziale und politische Geflecht im Umfeld der Technik, versäumte - bis auf einige spektakuläre Ausnahmen (vgl. Winner, 1985: 26ff.) - die Kennzeichnung der unmittelbaren Verbindungslinien zwischen ökonomischen, politischen und militärischen Interessen und der technischen Gestaltung und verblieb daher im wesentlichen bei zwei getrennten "Seins-Bereichen", bei "Technik" und "Gesellschaft". Ein analytisches Problem liegt offenbar darin, daß soziales Handeln, wenn es streng geregelt, ritualisiert, mechanisiert ist, zwar als eine Art "technisches Handeln" wahrgenommen und als solches auch identifiziert werden kann, aber die Überführung sozialer Regeln in maschinelle Systeme nicht mehr als Ge-

genstandsbereich der Sozialwissenschaften begriffen wird (vgl. Hochgerner, 1989: 73ff.; Joerges 1989b: 44ff.). Gerade aber im Überschreiten dieser erkenntnistheoretischen und forschungskonzeptionellen Schwelle eröffnen sich für die Sozialwissenschaften neue Perspektiven: Eine analytische Durchdringung des technischen Erzeugungsprozesses, die Suche nach Merkmalen der Generierung und Implementierung technischen Wissens, die Beschreibung der Organisationsformen technik-wissenschaftlicher Diskurse und die Erläuterung der Konsensbildungsprozesse über Entscheidungen, die zur Ausweisung "legitimer" und Ausgrenzung nicht legitimer Wissensbestände führen und die als institutionalisierte Wissenbestände die Problemperzeption der technischen Arbeit bestimmen und damit den Rahmen vorgeben, innerhalb dessen dann nur noch Lösungsmuster aufgenommen werden, gerade in diesen Bereichen erschließen sich die kognitiven, sozialen, ökonomischen und politischen Anteile der Technikproduktion, die den Sozialwissenschaften bereits in der Erforschung der Genesephase einen zuständigen Platz einräumen.

Die für die Instrumente der Sozialwissenschaft bislang zugänglichen Interaktionsprozesse reichen zumeist nur bis zur Frage nach den Auswahlprozessen alternativ angebotener technischer Lösungswege. "Die Untersuchung dieser Kontroversen erlaubt es jedoch nicht, ins Herz der technischen Produktion vorzudringen" (Callon, 1983: 140).

Die Konzentration in der Beschäftigung mit gesellschaftspolitischen Zusammenhängen und die große Aufmerksamkeit für makrosoziale Bezugsebenen haben "Technik" in den Sozialwissenschaften erst dann eine Bedeutung beimessen lassen, wenn diese im Grunde schon erzeugt, produziert und etabliert war. Im konkreten Erzeugungs- und Implementationsprozeß technischen Wissens, also weit "unterhalb" der etablierten sozialwissenschaftlichen Bezugsebene, können aber offenbar durchaus Situationen optionaler Verfügbarkeit mit beachtlich unterschiedlichen gesellschaftspolitischen Konsequenzen entstehen. Daß in diesem Mikrokosmos durchaus sozialwissenschaftliche und vor allem politikrelevante Fakten konstruiert werden, die später als "Tatsachen" in den klassischen Untersuchungsfeldern wieder auftauchen, sich bei ihrer Sichtbarkeit zumeist aber schon im Stadium der Irreversibilität befinden, bleibt nach wie vor gleichermaßen ein analytisches und praktisches Problem. Will man sich daher gegen die "Politik der vollendeten Tatsachen wehren" und sich nicht weiter im

Dunkel der selbstgebauten black box verirren, so gibt es wohl nur die eine Möglichkeit: "sich genau anzusehen, wie Tatsachen gemacht und wie sie als unwiderruflich verkleidet werden" (L. Hack, 1988: 12).

Aus dieser Bewertung des augenblicklichen Stands der sozialwissenschaftlichen Technikforschung ziehen wir für die Konzeption von Technikgeneseprozessen Folgerungen: Zunächst einmal versichern wir uns nochmals des praxeologischen Entstehungshintergrundes der Technikgeneseforschung. Allerdings gilt es darauf hinzuweisen, daß die Generierung von Wissen im Sinne einer "Aufklärung über Gestaltung" (B. Lutz, 1988: 22) verstanden werden muß, nicht als gestaltender Beitrag selbst. Sozialwissenschaften produzieren Erkenntnisse, die nur über soziale Akteure in der gesellschaftlichen Praxis wirksam werden können. Dem auch mit Hilfe der sozialwissenschaftlichen Forschung glatt polierten "technischen Fortschritt" gilt es wieder die Ecken, Kanten und Brüche zurückzugeben, Sachzusammenhänge wieder kenntlich zu machen und "implizite gesellschaftliche Wertentscheidungen" zu identifizieren (vgl. Zöpel, 1988: 14).

Die bisherigen wissenschaftlichen Deutungsangebote sind kritisch zu durchforsten, insbesondere lassen sich die auf der Basis hochaggregierter Datenpakete entwickelten Erklärungsansätze hierbei nicht sorglos auf die Analyse konkreter Technisierungsprojekte beziehen. Um an den konkreten Erzeugungsprozeß überhaupt erst einmal heranzukommen und sich dabei nicht sofort wieder auf die bewährten Erklärungsmuster zu verlassen, erscheint ein "mikroskopischer" Blick unentbehrlich. "Um die Gesellschaft in ihrer Bewegung und ihrem permanenten Entstehen zu erfassen", fragt Callon, muß man "sich da nicht notwendigerweise an jene Orte begeben, wo sie immer wieder neu erzeugt wird? Diese wissenschaftlichen oder technologischen Kontroversen gehören zu diesen privilegierten Orten. Wenn man dort dem Aufschwung der gekonnten Anwendung und der Kenntnisse folgt, besucht man gleichzeitig eine der Werkstätten, in denen ohne Unterbrechung die Gesellschaft sich gestaltet" (Callon, 1983: 159). Wir werden über Betrachtungen des unmittelbaren Entstehungskontextes hinaus aber auch den "sozialen Härtungsprozeß" generierter Wissensbestände verfolgen und durch die Rekonstruktion von Institutionalisierungsprozessen den Analyserahmen der sozialwissenschaftlichen Technikgeneseforschung um einen mesotheoretischen Bezug erweitern.

Da die sozialwissenschaftlichen Hilfestellungen hierbei begrenzt sein dürften, sollte der Blick über den disziplinären Tellerrand nicht gescheut und die Disziplinengrenzen nicht noch enger gezogen werden als sie es ohnehin schon faktisch sind. Zumindest sollte die Ergebnisdarstellung nicht ausschließlich auf die Erfordernisse der disziplinären Anschlußfähigkeit hin gestrickt werden. Vielleicht könnte man so endlich dem ein wenig näher kommen, was der zur Zeit so gern zitierte Gilfillan schon 1935 vergeblich gefordert hatte, "to combine those two worlds of thought, which have so rarely been conjoined - social science and engineering - in order to produce a rather new and fertile hybrid, a Sociology of Invention" (Gilfillan, 1935: Vii).

Untersuchungskonzept, Begründungen und Kommentare zur Fallanalyse

Die hier vorliegende Arbeit versucht die Prozesse der Entstehung und Entwicklung von Techniken unter dem Blickwinkel der Bedeutung von Strukturen des organisierten Wahrnehmens, Bewertens, Wissens und Handelns für die Entstehung und konkrete Ausprägung technischer Geräte zu analysieren und die Bedingungen für die Durchsetzung bzw. Nichtdurchsetzung technischer Optionen und der zugrundeliegenden Eliminierungsentscheidungen zu rekonstruieren (vgl. Dierkes/Knie, 1989: 203ff.). Hierbei wird die Technikgenese als ein "Schließungs- und Konsolidierungsprozeß" beschrieben, der seinen "Abschluß" in der Aufnahme der neuen Technik im "herrschenden Stand der Technik" findet. Der Begriff "Stand der Technik" war bislang auf die Verwendung im Kontext staatlicher Gesetzgebungsverfahren reserviert, soll hier aber zu einer für die Analyse von Genese Prozessen tragenden Kategorie ausgebaut werden. "Stand der Technik" bezeichnet den jeweiligen Bestand an organisationsübergreifenden Regeln, Methoden und Bauelementen als Ausdruck eines sozial gewünschten und politisch abgesicherten Verständigungsprozesses über grundlegende Entwicklungs- und Konstruktionsprinzipien. Die dem "Stand der Technik" zugemessene Bedeutung begründet sich aus der spezifischen Eigenart der technischen Arbeit, nämlich das Risikopotential zu minimieren und durch den Rückgriff auf bewährtes und als funktionstauglich anerkanntes Wissen, Elemente, Maß- und Kennzahlen, Funktions- und Konstruktionsprinzipien die für komplexe An-

forderungen notwendige konstruktive Sicherheit zu erlangen. Mit der Anerkennung einer neuen Technik als "Stand der Technik" wird das neue Verfahren sozial und institutionell verankert, abgesichert, "sozial gehärtet" und bildet selbst wieder den Ausgangspunkt für neue technische Entwicklungen. Die zur Zeit der Genese "gültigen" ökonomischen, sozialen und politischen Bedingungen, die in die technische Konfiguration "eingeschrieben" werden, erhalten als Elemente eines maschinellen Funktionsmodus einen stabilen Status: "Technik ist Objektivation von bestimmten Raum- und Zeitformen, Geräten und Verfahren, die weggehen von ihrem Gestalter, selbst ihre Macht der Zweckerfüllung weitertragen durch Jahrhunderte..." (Dessauer, 1956: 432). "Warum nahmen Benz und Daimler für ihre ersten Fahrzeugmotoren Benzin und warum rutschte Diesel von seinem Kohlenstaubziel wieder zum Gasöl ab?" Weil - so Walter Ostwald, führender Fachjournalist in den 20er und 30er Jahren - diese Entscheidung den "Bestwert zwischen damaliger technischer Bequemlichkeit und Billigkeit" repräsentierte, diese wurde aber später unter veränderten politischen, technischen und ökonomischen Bedingungen nicht wieder revidiert (Ostwald, 1935: 208).

Der "Stand der Technik" als organisationsübergreifender Referenzrahmen der technischen Arbeit bildet sich allerdings nicht zufällig oder als Folge unsichtbar wirkender naturwissenschaftlich-technischer Gesetzmäßigkeiten heraus. Damit kognitive und ökonomische Vorteile entstehen und sich addieren können, muß zunächst ein "Konsolidierungskonsens" eingeleitet und organisatorisch und institutionell abgesichert werden, dem wiederum ein Verständigungsprozeß über die technischen Grundlagen vorausseilt und der Selektionskriterien für die weitere Wissensgenerierung festschreibt. Die Träger, Akteure oder Promotoren eines solchen Konsolidierungskonsenses sind Unternehmen, Professionseinrichtungen, die technische Schul- und Hochschulausbildung sowie Forschungseinrichtungen, die mit ihren funktionsspezifischen Beiträgen ein branchenbezogenes abgrenzbares Interaktionsgeflecht konstituieren. Die in diesem Prozeß durchgesetzten technischen Lösungsmuster sind keinesfalls immer die funktional "besten" Techniken, sondern lediglich die Lösungen, die den sozialen, kognitiven und ökonomischen Bedürfnissen weitestgehend entsprechen.

Dieser Aushandlungsprozeß bildet zusammen mit der Rekonstruktion der einzelnen Erzeugungsschritte den Schwerpunkt der Darstellung, ohne daß damit der Geneseprozess jederzeit machtpolitisch durchzudeklinieren und akteurs- oder gruppenbezogen zuzuordnen wäre.

Im Prozeß der Konsolidierung nicht berücksichtigte technische Wissens- und Erfahrungsbestände oder Techniken, deren Absicherung im "Stand der Technik" aus einem Mangel an ausreichenden machtpolitischen Absicherungsleistungen nicht dauerhaft gelingt, bleiben als "technische Optionen" durchaus virulent und bilden eine Art "Verfügungsmasse" für neue Technikgeneseprozesse.

Wir werden einer Reihe solcher "technischen Optionen" begegnen, die - gemessen an kurzfristigen Kalkülen - auf die "Verliererstraße" gerieten, die heute vielleicht eine ganz andere Rolle spielen könnten, doch mittlerweile fast vergessen sind. Der rigide Ausschluß konkurrierender Entwicklungslinien und die nur sehr kontrollierte und "dosierte" Aufnahme neuer Lösungsmodelle in den "herrschenden Stand der Technik" ist durch die erzielte Übereinstimmung mit bereits "festgestellten", "versiegelten" und nicht mehr zur Disposition stehenden Entwicklungsparametern und der Zuweisung genau begrenzter Entwicklungsterrains Teil der Sicherung des bisherigen technischen Erfolgsmodells.

Wir werden die Untersuchung der Genesephase dabei in eine Längsschnittanalyse der technischen Entwicklung integrieren und uns schwerpunktmäßig mit der Rekonstruktion der Entstehungs- und Entwicklungsprozesse des Dieselmotors beschäftigen. Der für die Untersuchung ausgewählte Kontext des Verbrennungsmotorenbaus ermöglicht uns über den zunächst gewählten mikrosoziologischen Zugriff hinaus an den Beispielen "Dieselmotor" und "NSU/Wankelmotor" die Rekonstruktion von Geneseprozessen auf eine Mesoebene zu heben und Erfolgsbedingungen von Einbruchversuchen mit nicht legitimierten Wissensbeständen in herrschende Techniklinien zusammen mit Formierungs- und Institutionalisierungsprozessen des technischen Feldes und der industriellen Branche zu analysieren.

Für die Auswahl von Beispielen aus dem Verbrennungsmotorenbau als Untersuchungsfelder einer sozialwissenschaftlichen Technikforschung spricht vor allen Dingen die praktische Relevanz des Themas. Gerade der Dieselmotor ist seit einigen Jahren durch die hohe Um-

weltbelastung, die mit dem Einsatz dieser Antriebstechnik verbunden ist, erheblicher Kritik ausgesetzt. Die offenkundig bislang wenig erfolgreichen Versuche der Automobilindustrie, Lösungen zur drastischen Schadstoffminimierung anzubieten, ohne daß die charakteristischen ökonomischen Vorteile dieser Motortechnik verloren gehen, stellen eine Aufgabe dar, die sich auch als theoretisches Problem in eine sozialwissenschaftliche Technikgeneseforschung übernehmen läßt, zumal die Automobilindustrie bislang ja hauptsächlich im Rahmen industriesoziologischer Untersuchungen hinsichtlich der Rationalisierungsstrategien in der industriellen Produktion erforscht wurde, während Fragen nach der Innovationsfähigkeit in der Produktpolitik bislang als wenig problematisch angesehen wurden. Der in vielen Jahrzehnten generierte und institutionalisierte Bestand an technischem Wissen scheint aber offenkundig nicht mehr geeignet, die erweiterten Anforderungen an mobile Antriebssysteme zu erfüllen und provoziert die Frage, ob mit einer frühen Festschreibung der Selektionskriterien nicht die Kontexte des ausgehenden 19. Jahrhunderts über ihre Gültigkeit hinaus festgeschrieben wurden und heute zwar einen hohen Grad konstruktiver Sicherheit, aber nur noch einen sehr schmalen Korridor technischer Optionen erlauben. Denn während in fast allen früheren Anwendungsbereichen von Kolbenmaschinen mittlerweile diese kinematisch unglückliche Lösung durch Turbinenbetrieb ersetzt wurde, blieb ausgerechnet im Straßenfahrzeugbereich diese "museale" Triebwerkskonstellation des Hubkolbenverbrennungsmotors erhalten und wird von der Automobilindustrie sogar als Zukunftstechnik verteidigt.

Mit diesen konzeptionellen Überlegungen schließt die Arbeit insbesondere an Beiträge an, die unter dem Etikett "The Social Constructivist Approach" zusammengefaßt werden und mit denen Schlüsselkategorien wie "interpretative flexibility", und "relevant social groups" verbunden sind (Bijker/Hughes/Pinch, 1987: 4). "In the social construction of technology the developmental process of a technological artifact is described as an alternation of variation and selection", wobei auch hier unterschiedliche Phasen der "interpretative flexibility" sowie der "closure and stabilization" unterschieden werden (Bijker/Pinch, 1987: 40ff.). In diesem, auf die Arbeiten von Berger/Luckmann zur Klärung des ontologischen Status sozialer Realität durch Rekurs auf deren Vorgeschichte zurückgehenden Ansatz finden sich zwar bislang auch

nur wenige empirische Projekte. Mit den bisherigen Forschungsergebnissen kann man aber immerhin plausibel erläutern, wie technik-wissenschaftliche Tatsachen geschaffen werden, wie durch sozial generierte und institutionell kontrollierte Mechanismen kognitive Muster der Problemverarbeitung eine sozial konstruierte Wirklichkeit entsteht (vgl. beispielsweise auch Fleck, 1935: 130; Schmidt, 1987: 13; Knorr-Cetina, 1989: 86ff.). Karin Knorr-Cetina, deren Beitrag zwar nominell zur Wissenschaftsforschung gezählt wird, die sich aber gleichwohl auf hochtechnisierte Laborkontexte bezieht, hat im Rahmen dieses Ansatzes insbesondere den artifiziellen Charakter technik-wissenschaftlicher Forschungsarbeiten herausgearbeitet und auf die Rolle bereits existierender materialisierter Strukturen - Laborgeräte, Analyse- und Meßmethoden - als Perzeptionsfilter bei der Generierung neuer Erkenntnisse hingewiesen. Durch sogenannte "Analogieübertragungen" werden Lösungsmöglichkeiten mobilisiert, die sich in einem anderen Kontext bereits bewährt haben. "Analogieausgelöste Innovationen sind somit konservativ, und zwar in zweierlei Hinsicht: Erstens beginnt man mit einer nichtrealisierten Lösung anstatt mit einem offenen Problem; und zweitens überläßt man sich derjenigen Idee, die die größte Aussicht auf Erfolg hat, anstatt sich Risiken und Unsicherheiten auszusetzen". Analogieübertragungen lassen frühere Selektionen zirkulieren; diese werden dadurch ebenso reproduziert wie transformiert. Daher sind analogieerzeugte Entdeckungen oder technische Artefakte - sofern es sich dabei um eine Expansion früherer Selektionen in neue Territorien handelt - "gleichzeitig Teil des Prozesses der Konsensbildung und Erhärtung des Wissens" (Knorr-Cetina, 1984: 112).

Obwohl damit bereits Grundbausteine für die Deutung von Institutionalisierungs- und Formierungsprozessen gelegt sind, findet man für die Erklärung länger anhaltender Stabilitätsphasen sowie für eintretende "Krisen" von technischen Entwicklungsmustern in Verbindung mit Versuchen zur Organisation neuer Konstruktionsperspektiven in den Beiträgen sozialkonstruktivistischer Forschungsansätze kaum Hilfestellungen. Der Versuch Peter Weingarts, den technischen Wandel in Kategorien einer soziologischen Handlungstheorie einzufangen und den im Unterschied zum wissenschaftlichen System so amorphen Charakter technischer Entwicklung durch ökonomische, politische und kulturelle Orientierungskomplexe begrifflich zu differenzieren, legt da

schon mehr Wert auf die Darstellung institutioneller Rahmen, deren "funktionale Logik" zugleich "Problemhorizonte (konstituiert), für die technische Lösungen gesucht werden", die auch definieren, "was jenseits dieser Horizonte liegt", d.h. also gar nicht mehr ins Kalkül einbezogen wird und damit eine sehr "eindimensionale Entwicklungsrichtung" festschreibt (vgl. Weingart, 1982: 130). Die Arbeiten der Sussex-Gruppe um Dosi (Dosi, 1988; 1984; Freeman, 1984), die sich ebenfalls gegen traditionelle lineare Verlaufsmodelle technischer Entwicklung wenden, rekonstruieren die Entstehung einer Technik als ein Zusammenwirken von bestimmbareren ökonomischen, wissenschaftlich-technischen, sozialen und institutionellen Faktoren, die als herrschendes Paradigma festgeschrieben werden, die weitere Wissensproduktion selektieren und einpassen und im Ergebnis stabile Entwicklungspfade entstehen lassen. Erst wenn im Rahmen dieses Paradigmas die angebotenen technischen Lösungen an Realitätstüchtigkeit einbüßen und eine Paradigmakrise auslösen, kann es zu einem grundlegenden Wechsel der technischen Grundlagen kommen.

Der Begriff des Paradigmas, der bekanntlich auf die Arbeiten von Kuhn zurückgeht - von diesem allerdings mittlerweile durch den Begriff der "disziplinären Matrix" ersetzt (vgl. Kuhn 1974: 392) -, erfreut sich insbesondere in der angelsächsischen Technikforschung als Kennzeichnung von Gruppenelementen und der Ausweisung kognitiver und sozialer Gemeinsamkeiten, die als Perzeptionsmuster den Prozeß der technischen Wissensproduktion strukturieren, großer Beliebtheit (vgl. Laudan, 1984: 83ff.). Allerdings zeigen sich im Forschungsprozeß sehr große Verwendungsunterschiede, da mit dieser Kategorie in der empirischen Arbeit recht große Abgrenzungsprobleme verbunden sind. Edward Constant II, der zur Erklärung der Entwicklung und Durchsetzung des Strahlentriebwerks in der Flugzeugindustrie mit Kategorien wie "technological paradigm" und "technological revolution" gearbeitet hat, bemühte sich, insbesondere den "community"-Begriff - im Unterschied zur Verwendung in der Wissenschaftsforschung - sehr viel enger, gleichsam um den unmittelbaren technischen Gegenstandsbereich herum zu konstituieren (Constant, 1980: 8ff.). Neuere Arbeiten, insbesondere aus Frankreich, gehen zwar auch von der Existenz gemeinschaftlicher sozio-kognitiver Strukturen aus, begrenzen jedoch die Prozesse der Konsensbildungen in ihrer Bedeutung und versuchen, die Durchsetzung von Technikprojekten stärker als

Konflikte zwischen interessenbedingten technisch-wissenschaftlichen Kontroversen zu konzeptualisieren und die Durchsetzung von technischen Innovationen als ein politisches Projekt aufzufassen, wobei die Bildung von "actor networks" zur Formulierung von Bündnissen und zur Durchsetzung von technischen Innovationen eine große Rolle spielt (Callon 1982: 140ff.).

Entscheidende Anregungen verdankt diese Arbeit aber gerade auch den Beiträgen der Nachbardisziplinen, den Technikhistorikern Joachim Radkau und Lynwood Bryant oder den Ingenieuren Walter Ostwald und Robert Conrad, die im Rahmen von Überblicksdarstellungen zu einzelnen technischen Entwicklungslinien Verlaufsmuster herausgearbeitet haben, die zwar nicht in sozialwissenschaftliche Konzepte eingebettet sind, die aber durch eine hohe technische Kenntnis und entsprechend reichhaltige Illustrationen bestechen. Denn die letztlich entscheidende Frage ist ja die, ob sich die bisherigen konzeptionellen und analytischen Versuche empirisch untermauern lassen, ob sich mit solchen Überlegungen überhaupt Forschungsarbeit im Umgang mit der für die Sozialwissenschaften ja so fremden Welt der Maschinen organisieren läßt und ob sich die entwickelte Argumentationsstruktur auch am konkreten technischen Artefakt, an der inhaltlichen Gestaltung der Maschine dokumentieren läßt und sich damit vielleicht die Chance bietet, aus dem Dunstkreis des engen akademischen Zirkels hinauszugelangen.

Übersicht und Vorschau

Die in Teil I zusammengefaßten Kapitel verstehen sich als Einleitungsbeiträge zur konzeptionellen Vorbereitung der im zweiten und dritten Teil der Arbeit vorgelegten Rekonstruktionsarbeiten ausgewählter Beispiele des Verbrennungsmotorenbaus. Zunächst wird im folgenden Kapitel das Untersuchungskonzept weiter ausgearbeitet und mit einigen empirischen Illustrationen näher erläutert. Im Mittelpunkt des Interesses stehen dabei Auseinandersetzungen mit den Bedingungen und Voraussetzungen technischer Arbeit, wobei wir uns insbesondere mit der Perspektive der Ingenieurwissenschaft auseinandersetzen und auf einige wesentliche Unterscheidungsmerkmale zwischen technischem und wissenschaftlichem Handeln eingehen. Die Besonderheiten der Konstruktionsarbeit liegen in der Vermeidung von

Risiken, die in Verbindung mit kognitiven, sozialen und ökonomischen Motiven eine hohe Anschlußfähigkeit an vorhandene Wissensbestände erkennen lassen, wobei einem allgemein anerkannten "Stand der Technik" als zentrale Bezugsgröße eine herausragende Funktion beigemessen wird. Erste Vermutungen werden darüber angestellt, welche Bedingungen für einen erfolgreichen Technikgenese-prozeß - also entweder die Konstruktion eines ganz neuen "Standes der Technik" oder die Etablierung in einem bereits existierenden Technikstand - gegeben sein müssen, um die eingebauten Stabilisatoren aufzubrechen und eine "Revirement" auszulösen.

Sozialwissenschaftliche Deutungen technischer Entstehungsprozesse, so wie sie in dieser Arbeit versucht werden, formulieren die Aussagen und Erkenntnisse nicht auf der Basis von Ergebnissen eigenständiger Datenerhebungen, sondern als Re-Interpretation bereits erzeugter Wissensbestände und müssen sich damit zwangsläufig auch mit dem Erbe der traditionellen Technikgeschichtsschreibung auseinandersetzen.

Die hinterlassenen Sammlungen dienten ursprünglich ganz anderen Zwecken und Erkenntnisinteressen und sind bereits entsprechend sorgfältig ausgewählt und sortiert worden. Um daher die Sinne bei der Rezeption und Rekombination zu schärfen und auf die Tücken dieses Unterfangens hinzuweisen, werden wir im dritten Kapitel die erkenntnistheoretischen Grundlagen und professionalen Absichten der traditionellen Technikgeschichtsschreibung erörtern und damit auf die Probleme verweisen, die zwangsläufig entstehen, wenn Geschichte immer aus der Sicht "siegreicher" Techniken geschrieben wird.

In Teil II der Arbeit liegt der Schwerpunkt auf der Rekonstruktion von Entstehungs- und Entwicklungsetappen des dieselmotorischen Antriebs, den wir im Zusammenhang von Differenzierungs- und Formierungsprozessen industrieller Branchenstrukturen untersuchen. Auftakt und Begründung für die unternommene historische Exkursion bildet die Erörterung aktueller Probleme der Automobilindustrie, die konventionellen Motorentypen den komplexer werdenden Ansprüchen anzupassen (Kapitel 4). Im Mittelpunkt wird die Kennzeichnung einer für die Automobilindustrie offenbar typischen Argumentations- und Begründungsstruktur stehen, in der immer wieder - und zwar an herausragender Stelle - der "Stand der Technik" als dominanter Bezugs-

punkt dargestellt wird. Wir werden auf die Vorteile dieser Bezugsgröße eingehen, aber auch die "Schattenseite" eines damit verbundenen "seriellen Problemverarbeitungsmusters" in den Blickpunkt rücken und die daraus entspringenden Legitimationszwänge besprechen. Denn insbesondere der Fahrzeug-Dieselmotor offenbart das Dilemma des bisherigen Erfolgsmodells der technischen Entwicklungsarbeit in der Automobilindustrie. Selbst bei den gestiegenen Anforderungen gilt der augenblickliche "Stand der Technik" als zentraler Orientierungsrahmen für die technische Arbeit, der von allen deutschen Automobilbauern fest- und selbst für die Zukunft noch fortgeschrieben wird, obwohl dieser "herrschende Wissensstand" gerade im Dieselmotorenbereich nur noch begrenzt reformfähig erscheint und zur Absicherung dieses Beharrungsvermögens eine nach außen inszenierte Innovationsfähigkeit benötigt. Um die Faktoren zu kennzeichnen, die für die "Versiegelung" von technischen Wissensbeständen verantwortlich sein könnten und um die im Prozeß der Konsolidierung und Stabilisierung zurückgebliebenen Optionen ins Gedächtnis zurückzurufen, argumentieren wir für die Notwendigkeit einer historischen Rekonstruktion der Genese phase des dieselmotorischen Antriebs, auch um die Fragen nach den aktuellen Gestaltungsmöglichkeiten im Kontext der Herausarbeitung von Entwicklungsmustern bei der Generierung und Institutionalisierung in technische Wissensbestände einbetten zu können.

Ein "Stand der Technik" entsteht selbstverständlich nicht einfach aus dem Nichts heraus, sondern wird in einem bereits abgesteckten Feld konstituiert. Um einen hierfür notwendigen Konsolidierungskonsens erreichen zu können, muß über grundlegende physikalische Prinzipien und deren Nutzung Verständigung erzielt werden, die im Ergebnis später zumeist als naturwissenschaftlich-technische Gesetze jeden Anschein einer kognitiv, sozial und ökonomisch motivierten Konvention verloren haben. In Kapitel 5 wird dargelegt, wie sich um die Kolben-Dampfmaschine ein solches Verständnis entwickelt und wie im Bemühen um eine wissenschaftliche Deutung und Verbesserung dieser Maschinen die Grundmerkmale in die wissenschaftliche Theoriearbeit einfließen, multipliziert und als Hauptsätze ohne zeitliche und räumliche Begrenzung festgeschrieben werden. Die Dominanz der Kolben-Dampfmaschine beruhte dabei weniger auf ihrer faktischen Verbreitung, denn diese war im Vergleich zu anderen Energie-

techniken - insbesondere der Nutzung natürlicher Kraftquellen - gering, als vielmehr aus einer um diese Maschinen herum gebildeten "kognitive Grundformatierung" des technischen Denkens, durch die Kraftmaschinen automatisch als Wärmekraftmaschinen übersetzt wurden und sich damit das für die Klimaentwicklung so tragische Prinzip - chemisch gebundene Energie in mechanische Kraft zu verwandeln - im Denken und Handeln der Ingenieure fest verankerte. Konstruktionselemente wie Zylinder, Kolben und Pleuel bildeten Fixpunkte, die insbesondere durch auf dieses technische Ensemble abgestimmte Meßinstrumente (Indikatoren-Diagramm) stabilisiert wurden, da hiervon abweichende Konstruktionsprinzipien nun gar nicht mehr erfaßt, geschweige denn ernsthaft geprüft werden konnten. Bei der Festschreibung des "Dampfmaschinen-Blicks" in die mechanische Wärmelehre, der späteren Technischen Thermodynamik, spielten die Arbeiten des französischen Forschers Sadi Carnot eine Schlüsselrolle. Denn mit Carnot begann sich eine spezifisch technik-wissenschaftliche Sicht der Dinge zu konstituieren, die auch professionell etabliert wurde und in deren Lehrgebäude die grundlegenden Funktionsprinzipien und Maschinenelemente der Kolbendampfmaschine bis heute "festgeschrieben" blieben. Für einen theoretisch geschulten Ingenieur des ausgehenden 19. Jahrhunderts wie Rudolf Diesel bewegten sich die "Erfindungs"- Gedanken daher bereits in vorstrukturierten Bahnen. Allerdings bildete die immer größere Diskrepanz zwischen den Erfahrungen der betrieblichen Konstruktionsarbeit einerseits und den technik-wissenschaftlichen Empfehlungen andererseits einen über die Institutionalisierung im "herrschenden Stand der Technik" hinausweisenden Überschuß an nicht oder noch nicht umgesetzten "technischen Optionen". Hieraus schöpfte Diesel nicht nur seine Ideen. Die professionellen Träger dieser Wissensproduktion, die führenden Vertreter des Theoretischen Maschinenbaus wurden zu seinen wichtigsten Bündnispartnern, um in den bis dahin von den etablierten Maschinenbauunternehmen beherrschten und besorgten "Stand der Technik" "einzubrechen".

Diesels theoretischen sowie bündnispolitischen Vorarbeiten sind in Kapitel 6 beschrieben. Diese fielen in eine Zeit, in der die "kognitive Grundformatierung" und der darauf aufbauende Konsolidierungskonsens im Kraftmaschinenbereich nochmals ins Wanken geriet. Die forcierte wirtschaftliche Entwicklung ließ einen wachsenden Bedarf

dezentral verfügbarer, künstlicher Energiemengen entstehen und den Wunsch nach einer Kleinkraftmaschine immer populärer werden. Gleichzeitig formierte sich die Elektrotechnik zu einem politisch äußerst aggressiven Branchenverband, der mit dem Übergang von Gleich- zu Wechsel- bzw. Drehstrom prinzipiell über die technischen Möglichkeiten verfügte, große Energiemengen über weite Entfernungen transportieren zu können. Zusammen mit den ebenfalls zu jener Zeit schon entwickelten Visionen einer solaren Wasserstoffwirtschaft schien daher eine Klärung und Neuformierung der zukünftigen Angebotsstruktur im Kraftmaschinenbau dringend erforderlich. Diese Zeit, das letzte Jahrzehnt des 19. Jahrhunderts war gerade angebrochen, konnte der als Ingenieur in "Lindes Eismaschinen Gesellschaft" angestellte Diesel dazu nutzen, mit einem Konstruktionsvorschlag für den Bau einer rationalen Wärmekraftmaschine die wirtschaftlichen Eigeninteressen maßgeblicher Maschinenbauanstalten zu stimulieren und in einer "Diesel-Gruppe" so geschickt miteinander zu verschachteln, daß der damit erzielte Effekt der gegenseitigen Überwachung eine Sabotagepolitik des neuen Projektes verhinderte, die aus Gründen der Sicherung des bis dahin "herrschenden Wissensstandes" nicht ausgeschlossen werden konnte und eine komfortable industrielle Trägerschaft für das motortechnische Entwicklungsprojekt entstehen ließ.

In den Kapiteln 6, 7 und 8 ist dieser Geneseprozess des Dieselmotors in unterschiedlichen Etappen beschrieben: "Einbruch" in die herrschenden Denk- und Handlungskonventionen der Motorenbaubranche, das "Einschreiben" der Zielvorstellungen und Perzeptionsmuster des federführenden Industriekonsortiums in die Konstruktionsgrundlagen der neuen Maschine und schließlich das "Stabilisieren" des neuen technischen Verfahrens im technik-wissenschaftlichen Diskurs der Branche. Wir werden verfolgen können, wie aus einem universellen Antriebskonzept eine Nachfolgetechnik der Kolben-Dampfmaschine entsteht und welche "technischen Opfer" dieser "Schließungs- und Konsolidierungsprozeß" kosten wird. Es wird allerdings auch deutlich, daß sich Diesels Bündnis- und Lizenzpolitik zur Absicherung des Motorprojektes insbesondere zu dem Zeitpunkt bewährte, als sich die günstigen externen Konstellationen wieder verschlechterten und der neue Motor in eine regelrechte Existenzkrise geriet, der erreichte Wissens- und Erkenntnisstand aber als "faktischer Stand der Technik" in

einer Kleinserie konserviert und im Rahmen der beginnenden Aufrüstung in neue Verwendungsperspektiven überführt werden konnte.

Wie schnell unter der industriellen Führerschaft der aus zwei traditionellen Maschinenbauanstalten fusionierten "Maschinenfabrik Augsburg Nürnberg" (MAN) im Rahmen einer neu formierten "Diesel-Gruppe" ein "herrscher Stand für Dieselmotoren" eingesetzt und branchenweit stabilisiert werden konnte, zeigt sich insbesondere aus der Perspektive eines anderen, konkurrierenden Reformprojektes, dem Junkers-Gegenkolbenmotor. Bei den Abwehrstrategien der "Diesel-Gruppe" wird auch ersichtlich, wie scheinbar so unbestechliche Kriterien zur Begutachtung der Leistungsfähigkeit einer Technik von kognitiven Bedürfnissen nach Übersichtlichkeit und klaren Konstruktionsregeln beherrscht werden.

Schließlich wird das weitere Vorrücken des dieselmotorischen Antriebssystems in anderen Anwendungsfeldern beschrieben (Kapitel 8 und 9). Diese Expansion hat aber insofern ihren Preis, als beim Übergang von stationären Einsatzgebieten bzw. Schiffsantriebssystemen im "Stand der Technik" mobiler Verbrennungsmotoren nur Plätze am äußersten Rand dieses Anwendungsspektrums zugewiesen werden und den Motor für anspruchslöse und schmutzige Anwendungsgebiete prädestiniert erscheinen lassen. Diese Zuweisung gelang um so leichter, als die Akteure des Dieselmotorenbaus auf die Organisation eines Gegen-Diskurses im "herrscher Stand" der mobilen Antriebssysteme verzichteten und die von der ottomotorischen Verbrennungstechnik vorgegebene Entwicklungslinie als Leitschnur der Konstruktionsarbeit akzeptierten. Dieser Prägestempel, der über Jahrzehnte im "herrscher Stand der Technik" kultiviert blieb, haftet dem Motor bis heute an und setzt auch der aktuellen technischen Reformarbeit ihre Grenzen.

Die beiden Kapitel des dritten Teils fassen die einzelnen Etappen der Genese des Dieselmotors zusammen und vergleichen diese erfolgreiche Etablierung einer neuen Motortechnik um die Jahrhundertwende mit gescheiterten Reformprojekten aus den 50er, 60er und frühen 70er Jahren (Kapitel 10). Obwohl das ausgewählte Antriebssystem, der NSU/Wankelmotor, sogar in die Serienproduktion ging, konnte sich dieser Motor nicht dauerhaft im "herrscher Stand der Technik" etablieren und wurde wieder zu einer "technischen Option" zurückge-

stuft. Die Vergleichsperspektive läßt erkennen, daß Entscheidungen darüber, was als funktions- und entwicklungsfähige Technik anzusehen ist und was nicht, an die Existenz einer "Definitionmacht" gebunden ist, deren hegemoniale Strukturen auf einem feingespunnen Geflecht politischer Absicherungsleistungen beruht. In diesem Kapitel wird argumentiert, daß jenseits der Frage nach der genuinen technischen Potentialität im Falle des Dieselpromotes die Promotoren bei der Vorbereitung des "Einbruchs" wie auch bei der späteren Absicherung des Motors geschickter vorgehen als die an eine Durchsetzungsfähigkeit der besseren Technik glaubenden "Wankel-Akteure". Im Vergleich zur Jahrhundertwende sind aber auch die Anschlußzwänge und damit umgekehrt der Anschlußdruck größer geworden. Der Grad an Formierung und Institutionalisierung der Produktions- und Distributionsformen technischen Wissens, insbesondere die in den fertigungstechnischen Anlagen gebundenen Kapitalmassen, lassen die Mobilisierung von Ressourcen, die zu ähnlichen Verschiebungen in der Technikstruktur, wie sie bei der Durchsetzung des Dieselmotors im Verbrennungsmotorenbau der Jahrhundertwende erreicht werden konnte, für das ausgehende 19. Jahrhundert weit weniger wahrscheinlich werden. Die für die Genese des Dieselmotors so wichtigen Bündnispartner aus der technik-wissenschaftlichen Forschung stehen in den 50er Jahren für motortechnische Reformprojekte nicht mehr zur Verfügung. Denn längst hat sich die Forschung bei ihrer Suche nach stabilen Randbedingungen für ihre elementare Meß-Infrastruktur grundsätzlich und unumstößlich für den konventionellen Hubkolbenmotor entschieden.

Im letzten Kapitel (11) fassen wir die Grundaussagen zusammen, versuchen die Ergebnisse vorsichtig zu verallgemeinern und diskutieren schließlich einige technologiepolitische Implikationen. Der für den Modus der staatlichen Technikregulierung und Technologieförderung so wichtige Bezugspunkt "Stand der Technik" sollte - so eine Quintessenz dieser Untersuchung - nicht mehr unbefangen als zentraler inhaltlicher Bezugspunkt einer staatlichen Vorsorgepolitik verwendet werden. Sicherlich genügt der hier kultivierte Konsolidierungskonsens kognitiven, sozialen und ökonomischen Bedürfnissen gleichermaßen, was sich auch in einer hohen Produktivität und einer stabilen Struktur manifestiert. Damit wird aber auch eine Eindimensionalität der

technischen Entwicklung festgeschrieben, als Perzeptionsmuster fest verankert und über eine staatliche Anerkennung und Förderung in den reformfeindlichen Zügen noch verstärkt.

2. Der "Stand der Technik": Zur Deutung kognitiver, sozialer und ökonomischer Bedingungen der technischen Arbeit

Bislang wurden in der sozialwissenschaftlichen Technikforschung zur Klärung von Denk- und Handlungsstrukturen technischer Arbeit häufig Begriffe und Kategorien aus der Wissenschaftsforschung zu Rate gezogen. Ungeachtet der zweifelsohne erreichten Erkenntnisfortschritte bleiben aber damit die Differenzen zwischen den analytisch-originellen Orientierungen der Wissenschaft und den mehr synthetisch-konventionell ausgerichteten Beiträgen der technischen Arbeit nicht genügend berücksichtigt (vgl. Laudan, 1984: 83ff.). Der folgende Abschnitt versucht daher ein den spezifischen Problemen und Besonderheiten der technischen Wissensproduktion adäquateres Verständnis zu entwickeln und kategorial zu belegen. Durch die Konzentration auf Entwicklungen des Verbrennungsmotorenbaus wird der Schwerpunkt dabei auf die Herausarbeitung institutioneller Kontexte und die dort eingelagerten charakteristischen Problemverarbeitungsmuster liegen, die wir hinsichtlich der Implikationen für Technikgenese-sprozesse untersuchen.

Suche nach Ordnung und stabilen Rahmenbedingungen

Als es in den USA 1973 nach dem Schock der ersten "Ölkrise" zu einer heftigen Diskussion um verschärfte staatliche Auflagen für die Automobilindustrie kam (vgl. Eckermann, 1981: 172), reagierten die führenden Automobilhersteller sehr gereizt. Der damalige Vorstandschef von Ford, Henry Ford II, kritisierte, daß die Administration ja nicht nur eine drastische Verbrauchssenkung der Motoren verlangt habe, sondern offenbar "übersehen" hätte, "daß sie von uns gleichzeitig eine beträchtliche Emissionsminderung sowie mehr Fahrsicherheit, gleichbedeutend mit mehr Wagengewicht fordert(e), und all das erhöht den Verbrauch". Unter diesen Bedingungen zu Lösungsmöglichkeiten zu gelangen, schien dem Autochef "so schwierig wie die Quadratur des Kreises". "Kongreß und Regierung scheinen nicht zu wissen, daß ein Auto ein kompliziertes System ist und daß man nicht alles gleichzeitig tun und auf allen Fronten Fortschritte erzielen kann" (Ford, zit. nach Roedinger, 1988 : 169). Die Vertreter der deutschen Automobilindu-

strie zeigten auf die Vorhaltungen, doch einmal intensiver andere Antriebskonzepte ins Kalkül zu nehmen, ganz ähnliche Reaktionsmuster. "Sollte sich die Fahrzeugentwicklung auch noch mit allen Zukunftsmöglichkeiten, die heute noch nicht zu übersehen sind, beschäftigen müssen", stellte eine leitender Entwicklungschef der Daimler-Benz AG fest, "dann würde sie von ihrer eigentlichen Aufgabe abgelenkt, wahrscheinlich sogar verunsichert, und unter der Unsicherheit der fernen Zukunft würde die Marktfähigkeit des Produktes von morgen leiden" (Förster, zit. nach Barthel/Lingnau, 1986: 305). "So ist es auch weniger die Schärfe gesetzlicher Bestimmungen, die die Branche ärgert", faßte jüngst ein Beobachter die Einstellung zusammen, "als vielmehr die Unsicherheit, mit welchen Anforderungen in Zukunft zu rechnen ist" (Pyper, 1990: 6). In der Automobilbranche verfolgt man daher schon seit längerem die Strategie, die für das Auto kritische Umweltdiskussion sehr genau zu verfolgen und aus den dort gestellten Forderungen Elemente auszuwählen und in einem Forschungsprogramm so zusammenzustellen, daß die Lösungswege weiterhin aus dem bestehenden Wissensstand und in Fortsetzung des schon vor 100 Jahren eingeschlagenen Entwicklungsweges geschöpft werden und man mit "der vorhandenen Infrastruktur weiterleben kann" (Kraft, 1989: 63).

Diese Suche nach übersichtlichen und verlässlichen Rahmenbedingungen hat in der technischen Arbeit Tradition. Schon 1910 hieß es in einer Festrede zur "Ausbildung des Konstrukteurs", daß es bei dem Entwurf einer Maschine darauf ankomme, "Ordnung zu bringen in ein drängendes Gewirr von Gedanken, damit sie sich aneinanderreihen, wie Kristall an Kristall schließt" (Lynen, zit. nach Güldner, 1914: 53). Knapp 80 Jahre später beschreibt Beitz im Standardwerk "Hütte" die Grundlagen der konstruktiven Arbeit ganz ähnlich. "Der Konstrukteur muß aus der Fülle der vorgegebenen Anforderungen die wesentlichen zu lösenden Probleme erkennen und diese in der Sprache seines Konstruktionsbereiches formulieren" (Beitz, 1989: K2).

Vielleicht etwas überraschend: Für die technische Arbeit scheint kaum etwas Bedrohlicheres zu existieren als ein stetiger Drang nach immer neueren Ausführungsarten, Funktionsweisen und Bauformen, der als "entarteter Erfinderehrgeiz" die kontinuierliche und beharrliche Arbeitsweise gefährdet. Dem Verfasser des ersten zusammenfassenden und über viele Jahre "besten Lehrbuchs" (Sass, 1962: 598) im Verbrennungsmotorenbau, Ingenieur Hugo Güldner, waren die hier-

auf bezogenen erzieherischen Hinweise für die Konstrukteure sogar ein eigenes Kapitel wert. "Es gab eine Zeit - und sie ist heute noch nicht ganz überwunden -" klagte er, "wo die Verwendung bekannter und bewährter Elemente geradezu verpönt war, wo Berufene und Unberufene zum Neuen, Unbekannten drängten und wo der glückliche Erfinder eines Glühröhrchens oder Auspufftopfes im Handumdrehen Gründer und Leiter einer Motorenfabrik werden konnte. Selbstverständlich mußte jeder 'unabhängige' Konstrukteur außer über die nötigen Formensätze ständig über eine neue Steuerung oder Regelung verfügen, und es ist tatsächlich vorgekommen, daß einer dieser schöpferischen Geister das Schwungrad zu einem Kühlwasserbehälter gestaltete, nur um mal etwas wirklich 'noch nicht Dagewesenes' zu bieten. Kein Wunder, daß der praktische Wert der meisten neugeschaffenen Motorsysteme im reziproken Verhältnis zur Anzahl der sie schützenden Patente stand". Wenn also irgend etwas für die "innere Gesundheit" des "gegenwärtigen Motorenbaus spricht", konstatierte Güldner, "so ist es die Tatsache, daß das Haschen nach Neuerungen und nach dem Erfinden mehr und mehr aufhört. An seine Stelle ist eine planmäßige Durchbildung und Vervollkommenung derjenigen Ausführungsarten getreten, die sich aus dem Wust vergangener Zeiten erhalten und - mehr oder weniger - zu Grundformen entwickelt haben. Diese vereint mit den erprobten Elementen des allgemeinen Maschinenbaus von Fall zu Fall zweckmäßig zu verwerten und nach praktisch bewährten, aber auch wissenschaftlich geklärten Grundsätzen zu gestalten, ist die vornehmste Aufgabe des heutigen Motorenkonstruktors, und je weniger er dabei seine Erfinderader spielen läßt - desto besser für ihn und seine Sache" (Güldner, 1905: 191). Schon einige Jahre später konnten die Chronisten beruhigt feststellen, daß die Zeit der "umwälzenden Konstruktionsprinzipien" im Verbrennungsmotorenbau vorbei sei, und daß "an die Stelle von wechselnden Prinzipien, die in kurzen Zeitabständen Neukonstruktionen bringen, nunmehr die langsame, jedoch zielbewußte Entwicklung des Automobilbaus im Rahmen der gegebenen - und unzählige Male erprobten - Grundzüge als eigentlicher Fortschritt zu werten ist" (Schirz, 1928: 7). Der frühere "Rationalisierungs-Papst", der Berliner Professor Georg Schlesinger, erhob diese Forderung sogar zum Gebot: "Du sollst nicht mit dem Erfindungstick ans Konstruieren gehen" (zit. nach Radkau, 1989: 127). Eine solche Orientierung kostet selbstverständlich auch "Opfer". Felix

Wankel beispielsweise konfrontierte Daimler-Benz just zu einer Zeit mit einem völlig neuen Triebwerksprinzip für Verbrennungsmotoren, als der Konzern nach 1933 im Automobilsektor einen Konsolidierungskurs ausgegeben hatte, um im anstehenden Rüstungsgeschäft gerade durch bewährte Technik auf gute Geschäftsabschlüsse zu hoffen. Der mit dem damaligen Chefkonstrukteur Hans Nibel aufgesetzte und unterschrittsreife Vertrag über gemeinsame Entwicklungsprojekte wurde von Generaldirektor Kissel daher auch prompt mit den Worten gestoppt: "Diese ewigen Erfinder sind noch unser Unglück. Vor lauter Erfindungen kommen wir nicht zum Fabrizieren" (zit. nach Korp, 1975: 24).

Serielles Problemverarbeitungsmuster

Wir werden uns auf der Suche nach Erklärungen für eine solche offenbar sehr weit verbreitete Orientierung zunächst einmal mit den von Ingenieuren und Technikern selbst gegebenen Antworten beschäftigen und uns dabei zunutze machen, daß Techniker und Ingenieure bereits sehr früh "das größte Interesse" entwickelten, "die Denkprozesse und Verhaltensweisen beim Lösen von Aufgaben aus dem Unbewußten in das Bewußtsein zu heben", um den vermeintlich gesetzmäßig bedingten Ablauf "widerstandsloser herbeizuführen" (Lohmann, 1953: 617). Die unter dem Etikett "Konstruktionswissenschaften" zusammengefaßten Arbeiten, eine zunächst mehr für den "internen Gebrauch" bestimmte Selbstvergewisserung, die auch der professionellen Festigung der Ingenieurwissenschaft diene, eingebettet in die Suche nach einer Theorie der Technik, später noch ergänzt durch Bestrebungen zur Rationalisierung des Konstruktionshandelns, erläutern uns einige methodische Grundlagen der technischen Arbeit.

In ihrem Selbstverständnis sehen sich die Konstrukteure durchaus in zentraler Position, ausgestattet mit einer großen Definitionsmacht, deren "Ideen, Kenntnisse und Fähigkeiten (...) in entscheidender Weise Produkt und Wirtschaftlichkeit beim Hersteller und Benutzer" bestimmen (Pahl/Beitz, 1986: 1). Dabei bedeuteten die von den Ingenieuren zu vollbringenden Übersetzungsleistungen der Bedürfnisse und Anforderungen in die technische Arbeit "einen Sprung über eine logische Kluft", deren Ergebnisse die bisherigen Erkenntnisse und Funktionsmodi zu unterminieren drohen. Bereits Ende des letzten

Jahrhunderts stellte der russische Ingenieur und Technikwissenschaftler Engelmeyer im Rahmen einer umfangreichen Artikelserie über die methodischen Grundlagen der technischen Arbeit fest, daß es "kaum möglich sei", eine Aufgabe eingehend zu formulieren, wenn man die Lösung, wenigstens in ganz allgemeinen Zügen nicht vorahnt", und er betrachtete es aus diesem Grunde auch als zwingend geboten, daß bei öffentlichen Ausschreibungen die technischen Aufgaben "durchweg unter Mitwirkung von Technikern formuliert" werden (Engelmeyer, 1899: 130.).

Ebenfalls schon sehr früh widmete man sich dem Problem, in der vermeintlich intuitiven Erfindungsarbeit Verfahrens- und Ablaufregelmäßigkeiten herauszudestillieren und diese in propädeutischen Übungen weiter zu schulen. "Es ist eine Erfahrungstatsache, daß sich der Löser einer Aufgabe bewußt oder unbewußt ganz bestimmt immer wiederkehrender geistiger Verhaltensweisen bedient". Sobald es gelingt, dies "durch Tatsachenmaterial ganz allgemein zu gewinnen", wird das "Dunkel dieser schöpferischen Phase gelichtet" (Lohmann, 1953: 617). "Wenn nun eine Idee einer neuen Maschine ins Bewußtsein kommt", notierte Engelmeyer, sieht man sich sehr schnell dazu genötigt, "seine Idee sich selbst gegenüber erst aufzuklären" und meint damit die Zuhilfenahme von "mechanischen Tafeln und Hilfsbüchern", und er knüpft das Gelingen einer Neukonstruktion an die "kinematische Einbildungskraft" und an den "Vorrat an faktischen Kenntnissen" (Engelmeyer, 1899: 146; 17). Knapp 90 Jahre später findet man diese "Selbstvergewisserung" in der Formulierung "wichtig ist es, die eigene Stellung zu erkennen" wieder, was u.a. mit dem "Feststellen des Stands der Technik, dargestellt durch Programme der Wettbewerber, Problemlösungen und Produkte in der Fachliteratur und in Patenten" geschehen soll (Pahl/Beitz, 1986: 59). "Intuition ist damit nichts anderes als das letzte und fruchtbarste Glied einer Kette, deren Anfangsglied das fleißige Studium des Standes der Technik ist. Dieses Studium schafft eine Dichte von Beziehungen untereinander, die Voraussetzung für die Aufgabenlösung ist" (Lohmann, 1953: 604).

Das Rekurrieren auf den "Stand der Technik", sozusagen als Materiallager für die weitere Entwicklung, zieht sich wie ein roter Faden auch durch die späteren Empfehlungen der Konstruktionswissenschaften (vgl. M. Schneider, 1912: 10/11; Wörgerbauer, 1943: 7ff.; Schregen-

berger, 1982: 118ff.). Bereits verwirklichte und als funktionstauglich attestierte Lösungen dienen als kognitive Bezugsgrößen für neue Konstruktionen und folgen den primären Zielen "jeder Ausführungsart", nämlich auf eine "Betriebssicherheit und Dauerhaftigkeit" einer Konstruktion (Güldner, 1914: 54) zu achten und somit auch die Voraussetzungen für einen wirtschaftlichen Erfolg zu sichern. "Es ist oft unklug und unwirtschaftlich, eine neue Maschine von Grund auf neu machen zu wollen, weil es das Risiko unnütz erhöht und Geld kostet. Ebenso unklug ist es meist, an einer Maschine gleichzeitig mehrere grundlegende Neuerungen zu versuchen", schreibt der Ingenieur Münzinger in seinen Empfehlungen für den Ingenieurnachweis und geht sogar noch einen Schritt weiter. Soweit eine Firma "über Konstruktionen verfügt, die sich auch für die neue Maschine zu eignen scheinen, sollte der Konstrukteur sie zu verwenden versuchen" (Münzinger, 1941: 98). Technische Erzeugnisse brauchen, wenn sie Resonanz verursachen wollen, ja nicht nur einen stabilen Adressatenkreis, eine Community, sondern auch eine unbedingte innere Konsistenz (vgl. Müller, 1967: 1446ff.). Während wissenschaftliche Produkte auch in einem vorläufigen Status, beispielsweise als Forschungshypothesen, verwendbar und akzeptanzfähig sind und oft aus Gründen der Originalität auf eine innere Geschlossenheit des Begründungsmusters einstweilen verzichtet werden kann, sind die Erzeugnisse der technischen Arbeit strengerem Produktionsbedingungen unterworfen. "Die Kunst des Technikers liegt darin", meinte Walter Ostwald bei einer Erörterung über die "Lenkbarkeit der motorischen Verbrennung", "den eigengesetzlichen und unbeherrschbar erscheinenden Naturvorgang in seinen Einzelheiten zu untersuchen, dadurch die Einzelheiten beherrschbar zu machen und aus den beherrschten Einzelvorgängen ein harmonisches Ganzes zur Steigerung der menschlichen Wohlfahrt zusammenzusetzen" (Ostwald, 1937: 33). Maschinen oder maschinelle Systeme werden als stabile voraussagefähige, widerspruchsfreie und reproduzierbare Funktionsmechanismen entworfen, benötigen also durchaus eine innere logische Struktur, um überhaupt diskursfähig zu sein. Veränderte externe Anforderungen, etwa in Form verschärfter staatlicher Auflagen oder eines allgemein gestiegenen Umweltbewußtseins der Nutzer oder schlichter, eine gewünschte Funktionserweiterung, bspw. mehr Leistungsvermögen, gefährden potentiell die Funktionssicherheit des Gerätes und werden "zur Sicherheit" auf ein pas-

sungsfähiges Maß verkleinert und nur nacheinander abgearbeitet. Die maschinelle Funktionsweise einer technischen Konfiguration wird - wenn sie erst einmal stabilisiert ist - daher nur ungern aufgegeben.

In der Vermeidung teurer Doppelarbeit und im Bemühen um Übersichtlichkeit, sowie um die bestehende fabrikatorische Infrastruktur zu nutzen und den ausgebildeten Funktionsmodus möglichst weit fortzuschreiben, kann man die methodischen Grundlagen der betrieblichen Konstruktionsarbeit als "serielles Problemverarbeitungsmuster" beschreiben, das nach außen im auferlegten ständigen Neuerungs-zwang allerdings erklärungsbedürftig ist. Der Mitherausgeber der "Automobiltechnischen Zeitschrift", der Ingenieur Robert Conrad, faßte die Anforderungen an den "modernen Automobilkonstrukteur" zu Beginn der 30er Jahre folgendermaßen zusammen: "Er muß konservativ sein, um den wirtschaftlichen Erfolg zu sichern, und es verstehen, durch kleinste Änderungen den größtmöglichen Effekt zu erreichen" (Conrad, 1931: 115).

Dieses "serielle Problemverarbeitungsmuster" wird dann vor nahezu unlösbare Aufgaben gestellt, wenn gleichzeitig mehrere Entwicklungsparameter zu "öffnen" sind und nicht nur - wie im Falle des Automobils - einer höheren Umweltsensibilität Rechnung getragen werden muß, sondern auch eine Absenkung der Verbrauchswerte gefordert wird. In solchen Fällen droht die Übersicht und Kontrolle beim Problemlösen verloren zu gehen.

Institutionalisierte Wissensbestände

Vor diesem Hintergrund erklärt sich auch die zentrale Bedeutung des zitierten "Standes der Technik". Mit dieser Kategorie ist ein kognitiv, sozial und ökonomisch gleichermaßen attraktives Wissensreservoir bezeichnet, das auf einem begrenzten Gebiet von den an der Technikentwicklung beteiligten Akteuren gemeinsam genutzt und versorgt wird. Aus dem allgemeinen Kenntnisstand ausgewählte Konstruktionselemente, Maschinenteile, Konstruktionsrichtlinien und -prinzipien, Maß- und Verhältnisszahlen sind unter dieser Bezeichnung als legitime Wissensbestände ausgewiesen, festgeschrieben und verfügbar gehalten. Diese regelförmig strukturierten Bestände umfassen "den historischen, insbesondere den durch die technische und arbeitsorganisatorische Entwicklung sich ändernden Stand allgemeiner

Produktionserfahrungen sowie das theoretische Know-How, "d.h. sie umreißen den verallgemeinerbaren Stand der technischen Entwicklung und ihrer Anwendung in die Praxis" (Ropohl/Schuchardt/Lauruschkat, 1984: 8). Die für die einzelnen technischen Disziplinen und Subdisziplinbereiche jeweils existierende abgegrenzte Menge an technischem Wissen wird durch ein Geflecht von Akteuren, bestehend aus Industrie, intermediären Einrichtungen der Professionen sowie der technik-wissenschaftlichen Forschung "kultiviert", d.h. als gemeinsam definierter und verbindlicher Sinnzusammenhang in der Form von Normungs- und Typisierungskatalogen und Richtlinien von allen Beteiligten für die zukünftige technische Arbeit festgeschnürt und bildet die Modelliermasse für die alltägliche Konstruktionsarbeit. Als 1925 der "Fachnormausschuß der Kfz-Industrie" (FAKRA) als Unterausschuß des Deutschen Normenausschusses (DIN) gebildet wurde, konnte man bereits damals auf ein umfangreiches Normen- und Typengebilde zurückgreifen, das in sechs Arbeitsausschüssen, die sich auf "Grundnormen" bis zu "Konstruktionsteilen", "Motor- und Getriebeteile" und auf allgemeine Vorschriften beim Bau von Kraftfahrzeugen bis zur Festlegung des metrischen Gewindes, Tachometerantrieb, Ventilanordnungen, Kolbenringe und für eine Reihe von Bauteilen die Konstruktionsoptionen festlegten, erarbeitet worden war (vgl. Seherr-Thoss, 1979: 210f.).

Die Nutzer und Verwender dieses geronnenen Wissens können sich auf die Funktions- und Betriebstauglichkeit des ja vielfach erprobten und dokumentierten technischen Wissens verlassen, solange alle Akteure des jeweiligen Feldes auf diese Grundmuster der Entwicklung verpflichtet werden können. Eine Orientierung am "Stand der Technik" wirkt sich risikominimierend aus, vermindert die Zahl der Probleme und erlaubt eine konzentrierte, weil hochselektive und daher auch gemeinhin produktive technische Problemlösung. Allerdings darf man sich diesen Wissensvorrat nicht einfach als einen Pool vorstellen, aus dem heraus sich Konstrukteure für die verschiedenen Aufgabenstellungen nach Belieben bedienen können. Das in Technikerkreisen vielfach verwendete Attribut "herrschend" kommt nicht von ungefähr und deutet eine strenge Zuweisung der angebotenen (Teil-)Lösungen für die jeweiligen Verwendungsmöglichkeiten an. Immer dann, wenn auf der Grundlage der "festgestellten" Perzeptionsmuster die Entwicklungsarbeit Wissen produziert und akkumuliert, wird der Re-

Strukturierungsbedarf durch eine Neuaufteilung der Verwendungsgebiete befriedigt und sichert die gewünschten übersichtlichen und stabilen Konstruktionsbedingungen.

Die Vorteile gemeinsam gepflegter Wissensstandards wurden von Technikern und Ingenieuren auch schon im letzten Drittel des vorigen Jahrhunderts als wichtiges Element der professionellen Expansion eingesetzt und sogar zur Lösung gesellschaftspolitischer Regulierungsprobleme von Technikfolgen angeboten. Der Begriff "Stand der Technik" ist deshalb als Generalklausel der gesetzlichen Rechtsetzung bekannt, weil - so das Bundesverfassungsgericht - "bei dieser Art der Verknüpfung von Recht und Technik (...) die Behörden und Gerichte sich darauf beschränken, die herrschende Auffassung unter den technischen Praktikern zu ermitteln, um festzustellen, ob das jeweilige technische Mittel in den Verkehr gebracht werden darf oder nicht". Damit wird "der rechtliche Maßstab für das Erlaubte oder Gebotene" an die "Front der technischen Entwicklung verlagert" (BVG, zit. nach Rengeling, 1985: 19). Unter verschiedenen Formulierungen findet sich dieser Rechtsbegriff nicht nur im Bundes-Immissionsschutzgesetz, sondern als "anerkannte Regeln der Technik" in der Gewerbeordnung sowie als "Stand von Wissenschaft und Technik" im Atomgesetz (vgl. R. Wolf, 1986: 281f.). Wir werden diese sprachliche Differenzierung, auch bekannt als "Drei-Stufen-Theorie", unberücksichtigt lassen und uns nur für die Verwendung "Stand der Technik" entscheiden. Ob sich der vom Staat und dem Bundesverfassungsgericht unterstellte Dynamisierungseffekt in der Regulierungspolitik auch tatsächlich einstellt, oder ob sich durch diese Konstruktion nicht doch primär die Perzeptionen der technischen Arbeit fortsetzen und sich gerade gegenüber veränderten gesellschaftlichen Wertmaßstäben behaupten können, diese Fragen werden wir im letzten Kapitel wieder aufgreifen.

Zur Politik des Konsenses

Obwohl der "Stand der Technik" nicht mit den verschiedenen Normen- und Regelwerken identisch ist, sondern darüber hinaus noch eine Reihe gemeinsam getragener, informaler Verständnisse repräsentiert, läßt sich einmal am Beispiel des "formalisierten" Aufnahmeverfahrens neuer Wissenspakete in die formierten Strukturen, die Sichtweise der technischen Verbände von einem harmonisch, sich selbstregulierenden

Kooptionsverfahren illustrieren, das nach der Selbsteinschätzung der Profession auf drei Prinzipien beruht:

- auf "Freiwilligkeit" und "Gemeinschaftsarbeit", d.h. jeder Interessierte kann einen Normungsantrag stellen, der gemeinschaftlich von Normungsfachleuten und Normungsanwendern auf seine Relevanz für die Praxis geprüft wird;
- auf "angemessener Beteiligung der interessierten Kreise", wobei allerdings die Regeln dieser Beteiligung gerade nicht eindeutig definiert sind, sondern von übergeordneten "Sach Gesichtspunkten" bestimmt werden, wobei vor allem die Interessen der Industrie sowie der wissenschaftlich-technischen Vereine maßgebend sind;
- auf "Öffentlichkeit und Kontrolle", "da eine Verpflichtung zur Publikation jedes Normenentwurfes besteht und bei unterschiedlichen Interessenlagen ein Schiedsverfahren durchgeführt wird" (Ropohl/Schuchardt/Lauruschkat, 1984: 8).

Die Philosophie, die hinter dieser Darstellung zu erkennen ist, legt den Verdacht nahe, daß es hier primär auf einen Legitimationsnachweis zur Sicherung der privilegierten Stellung der "wissenschaftlich-technischen Gemeinschaftsarbeit", insbesondere bei der inhaltlichen Gestaltung staatlicher Regulierungspolitiken gegenüber der Technik - hinter den sich möglicherweise mehr die Professionsinteressen der verschiedenen Ingenieurvereine verbergen - ankommt. Zur Aufgabe einer sozialwissenschaftlichen Rekonstruktion technischer Entstehungsprozesse gehört es daher, diesen Institutionalisierungsprozeß kritisch auf die Existenz sozialer Konflikte und machtpolitischer Regelungsformen zu durchleuchten und diese sozialen Prozesse der kollektiven Generierung technischer Wissensbestände und deren "Festschreibung" in gemeinsamen Standards herauszuarbeiten.

Wenn ein "Stand der Technik" erst einmal etabliert ist, können die hier repräsentierten Absprachen und Grundentscheidungen durch ihren dokumentierten hohen Wissensstand quasi von eingebauten Stabilisatoren profitieren. Um dieses Ergebnis aber erreichen zu können, muß zuvor ein Einigungsprozeß eingeleitet und aktiv politisch begleitet werden, bei dem es "Gewinner", aber auch "Verlierer" gibt und der sich sicherlich kaum als harmonisch verlaufender, streng zweckrationaler Vorgang beschreiben läßt. Denn es ist auffällig, daß um bestimmte technische Verfahren oder Gerätetypen viel eher ein gemein-

samer Grundkonsens gebildet werden kann als um andere Verfahren. So war beispielsweise zur Jahrhundertwende die Frage nach einem geeigneten motorischen Antriebssystem für Kraftwagen völlig ungeklärt und offen (vgl. Eckermann, 1981: 40ff.). Doch schon nach Ablauf des ersten Jahrzehnts konnte ein "herrschender Stand der Technik" konstituiert werden, der nur noch ein einziges Antriebssystem in einer ganz bestimmten Konfiguration als legitimes Wissen auswies (vgl. Heller, 1912: 7). Für den Einsatz in Automobilen kam grundsätzlich nur noch der schnellaufende benzinbetriebene Viertakt-Ottomotor mit Hubkolbenantriebwerk in Frage, weder dem Dampftrieb noch dem Elektro- und Dieselmotor oder Antriebssystemen, die andere, weniger gefährliche Brennstoffe nutzten, wurden noch Realisierungschancen eingeräumt. Auch nur für diesen einen Typ eines Verbrennungskraftmotors hatten sich unter der Moderation der Professionseinrichtungen die Erfahrungs- und Wissensbestände in gemeinsamen Meß- und Berechnungsverfahren etablieren können.

Vermutlich hat eine Technik in einem neuen Markt um so größere Durchsetzungs- und Überlebenschancen, je früher die Akteure sich über gemeinsam getragene grundlegende Prinzipien einigen können, die Entwicklungsarbeit konzentrieren, die Erkenntnisse auf streng abgeteilte Feldern kulminieren und damit in kurzer Zeit gegenüber anderen Konzepten einen Wissensvorsprung dokumentieren können. Dieser ist umso attraktiver, je mehr Akteure in diesen "Konsolidierungskonsens" eingebunden werden können, die von gemeinsamen theoretischen Annahmen aus operieren, die gleichen Maschinenelemente und Funktionsprinzipien nutzen. Für den raschen und vor allen Dingen nachhaltigen Erfolg des benzinbetriebenen Hubkolben-Ottomotor war eine nur über wenige Jahre existierende konzertierte Aktion zwischen Industrie (Daimler-Motoren-AG), Nutzerinteressen (Jel-linek) und einem "steuerbaren" Konstrukteur (Maybach) verantwortlich, in der die damals herrschenden Vorlieben und Nutzungsinteressen aufgenommen, gebündelt und unmittelbar technisch übersetzt werden konnten und damit im Ergebnis ("Mercedes") den Zeitgeist repräsentierten. Schnelle Verkaufserfolge und die mit dem hohen Produktionsausstoß gesammelten Erfahrungen verkörperten offenbar auch für andere Anbieter einen durchaus attraktiven Wissensvorsprung, der in kurzer Zeit einen technischen Standard entstehen ließ, der auch dann fortbestehen sollte, als die ursprüngliche Interes-

senkoalition längst auseinandergefallen war und sich auch die Nutzungsprofile wieder verschoben hatten (vgl. Sass, 1962: 356; Hanf, 1980: 59; Horras, 1982: 183). Akteure und Promotoren anderer Antriebssysteme verpaßten einen so schnellen Einigungsprozeß und laborierten viele Jahre an zu unterschiedlichen Konstruktionsgrundlinien. "Die konstruktive Verschiedenheit" war beispielsweise bei den Elektrofahrzeugen so groß "wie bei dem Benzinwagen vor dem Jahre 1900", und: "über die wichtigsten Grundprinzipien ist man noch zu keiner Klarheit gelangt", urteilten zeitgenössische Beobachter über den "Zustand" elektromotorischer Antriebssysteme. "Am bezeichnendsten ist es vielleicht, daß die heute wirtschaftlichen Elektromobile auf Konstruktionsmöglichkeiten verzichten, die gerade den Elektromotor charakterisieren und ihn für den Antrieb für Fahrzeuge prädestiniert erscheinen lassen", dafür aber - so bedauerte man - "Einrichtungen vom Benzinwagen übernehmen (zum Beispiel das Differentialgetriebe), die nur bei diesem Wagen technische Berechtigung haben", und das nur aus dem Grund, weil die für Elektromobile typischen Konstruktionselemente "für die Praxis noch nicht genügend durchgebildet" sind, die von Benzinwagen - wenn auch als technische Krücke -, "jahrelang praktisch erprobt sind" (Klapper, 1910: 14).

Dieser Erfahrungsvorsprung und die nachgewiesene Funktionstauglichkeit des Benzinmotors mit Hubkolbentriebwerk und Differentialgetriebe repräsentierte für alle Neueinsteiger - auch für die damals bereits großen und mächtigen Elektrokonzerne AEG und Siemens - so attraktive Wissenspakete, daß man in der Absicht, hiervon zu profitieren, diesen Vorsprung auch als nunmehr "herrschenden Stand der Technik" für automobile Antriebssysteme anerkannte und für eine zügige ökonomische Ausbeutung adaptierte. Die Bedeutung von Sport- und Repräsentationsveranstaltungen, für die der Benzinwagen mit allen seinen motorischen Eigenschaften ursprünglich konstruiert war, verlor für das Automobilwesen schon zum Ende des ersten Jahrzehnts an Bedeutung und wurde mehr und mehr durch gewerbliche Nutzungsmotive abgelöst, ohne daß aber die mit dem Benzinmotor begonnene und mittlerweile konsolidierte Entwicklungslinie aufgegeben wurde und die den neuen Verwendungskontexten "angepaßteren" Elektromobile nochmals ernsthaft in Erwägung gezogen wurden. Den Promotoren elektromotorischer Antriebssysteme gelang es nicht mehr, den Wissens- und Erkenntnisstand auf einem ähnlich hohen konsoli-

dierten Niveau wie bei Benzinmotoren zu präsentieren; vielmehr begann ein Prozeß der Anpassung der einmal gewählten Konstruktionslinie des Benzinmotors an die erweiterten und veränderten Nutzungsformen.

Eine wichtige Voraussetzung für einen raschen Verständigungsprozeß und die Konstituierung eines Konsolidierungskonsenses ist der rasche Aufbau einer Kommunikationsinfrastruktur sowohl auf zwischenbetrieblicher Ebene als auch zu den potentiellen Nutzern der Technik. Neben den verschiedenen industriellen Interessenverbänden wurde Anfang 1904 in Berlin die "Automobiltechnische Gesellschaft" gegründet, die sich "als effizientes Forum des Gedankenaustausches" gerade in den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts bewährte und die sich bereits sehr früh auf den Benzinmotor festlegte. "Dank intensiver Vortragspflege, diverser Fachveröffentlichungen, der Beeinflussung und Formung der Fachterminologie, der Mitwirkung und Aufstellung von allgemeinverbindlichen Normen für die Bestandteile des Kraftwagens sowie durch die Vereinigung sachverständiger Gutachter für unterschiedliche kraftfahrzeugtechnische Probleme u.a. hat diese Gesellschaft bedeutenden Anteil am Fortschritt in der Kraftfahrzeugtechnik" (Kirchberg, 1988: 9).

Aber zur Durchsetzung und Absicherung des konsolidierten Wissensstandes bedurfte es noch weiterer flankierender Maßnahmen. Die Firma Benz & Cie in Mannheim beispielsweise pflegte als erfolgreiches Automobilunternehmen gute Beziehungen zur Technischen Hochschule Karlsruhe und versorgte den dortigen "Lehrstuhl für Maschinenelemente, Gasmaschinen und Gebläse" jährlich mit Unterrichts- und Forschungsgegenständen wie Getrieben, Zylindern, Kurbelwellen, Kolben usw. und sorgte auf diese Weise für eine schnelle Multiplizierung der vergegenständlichten Ergebnisse betrieblicher Entscheidungsprozesse. Der Lehrstuhlinhaber, Professor Bonte, fühlte sich der Firma daher auch besonders verpflichtet und setzte im Studienjahr 1912/13 einen Lehrauftrag für Automobilbau durch, den selbstverständlich ein Oberingenieur der Firma Benz erhielt. Als 1913 zur schnelleren Motorisierung von Heer und Luftwaffe der Kaiserpreis "für den besten deutschen Flugmotor" ausgelobt wurde, gewann ein Benz-Benzinmotor das Preisgeld von 50.000 Goldmark. Der in der Jury sitzende Bonte konnte sich freuen, da sich die Firma Benz bereit fand, dieses Preisgeld für den Aufbau eines Labors für Verbrennungs-

kraftmaschinen sozusagen wieder "zurück" an die Technische Hochschule Karlsruhe fließen zu lassen (vgl. Thümmel, 1986: 29).

Bei schon bestehenden Märkten und formierten technischen Angebotsstrukturen mußten daher auch erhebliche Ressourcen mobilisiert werden, wenn im "herrschenden Stand der Technik" neue Wissensbestände und Konstruktionsprinzipien eingeführt, etabliert und dauerhaft abgesichert werden sollten. Die uns heute so vertraute Dampfturbine wurde beispielsweise keineswegs automatisch in den technik-wissenschaftlichen Diskurs aufgenommen, sondern es bedurfte angesichts des Entwicklungsvorsprungs der Kolbenmaschinen erheblicher organisatorischer Hilfestellungen, bevor eine breite industrielle Anwendung einsetzen konnte. "Außerdem mußte neben den Erfindern auch Professor Stodola", der akademische Wegbegleiter der Turbinenentwicklung und spätere Lehrbuchverfasser, "noch viel Energie auf die Propaganda zugunsten der Dampfturbine verwenden, bevor dieselbe das volle Bürgerrecht in der Technik erhielt" (Lomonossoff, 1924: 1).

Dieses "volle Bürgerrecht" wurde in späteren Jahren, insbesondere in den experimentierfreudigen Jahren zu Beginn des 20. Jahrhunderts und später wieder in den 20er und 30er Jahren, sehr vielen Konstruktionsformen verweigert, die sich nicht an die Regeln und Verfahren des zum "Stand der Technik" geronnenen Konsolidierungskonsenses hielten und somit für Ingenieure nur schwer begreifbar waren (vgl. Conrad, 1928a: 36). Als die Neckarsulmer NSU-Werke ihren in Zusammenarbeit mit Felix Wankel entwickelten Kreiskolbenmotor in einen Sport-Pkw einbauten und darüber auf Tagungen und in Zeitschriftenbeiträgen berichteten, verstanden viele der "gestandenen" Hubkolben-Ingenieure die tragenden theoretischen Grundlagen nicht und verweigerten beharrlich die Auseinandersetzung mit dem neuen Motor: Oder "soll ich etwa nochmals die Schulbank drücken", fragte ein Ford-Ingenieur vielsagend (zit. nach Korp, 1975: 209).

Auf den verschiedenen technischen Feldern kann aber ein sehr unterschiedlicher Grad an Stabilität und Dauerhaftigkeit von solchen Konsolidierungskonsensen beobachtet werden. Während heute, gut 100 Jahre nach der "Genese", die tragenden Konstruktionsprinzipien der Verbrennungskraftmaschine für den Einsatz im Personenkraftwagen immer noch gut genug erscheinen und auch heftig gegen "alternative" Lösungen verteidigt werden, sieht es in anderen traditionellen Einsatzgebieten der Verbrennungskraftmaschine ganz anders

aus. Bei Flugzeugen, Schiffen und stationären Kraftwerksanlagen hat die "klassische" Kolbenmaschine die führende Position längst an die Turbine verloren und konnte nur noch in einigen kleineren "Randbezirken" des "herrschenden Standes" gehalten werden. Im Schienenfahrzeugbereich verlief dieser Ablösungskampf der verschiedenen Generationen von Antriebssystemen besonders heftig. "Noch zu keiner Zeit der hundertjährigen Geschichte des Eisenbahnwesens wurden so viele und starke Umwälzungen im Lokomotivbau vorbereitet wie jetzt", hieß es 1928 in einem Geleitwort zu einer Veröffentlichung über "Diesellokomotiven" des russischen Ingenieur-Professors Lomonosoff. "Von allen Seiten sucht man die Stephanson'sche Dampflokomotive durch wirtschaftlichere Formen zu ersetzen. Die einen nehmen ihr den aus Feuerbüchse und Heizrohren gebildeten Kessel und steigern den Dampfdruck auf 100 at, andere lassen ihn zwar, nehmen ihr aber den feueranfachenden Abdampf durch den Kondensator fort, und wieder andere tun beides, nur den direkten Antrieb rühren sie nicht an. Und hier setzen nun die ganz radikalen Diesellokomotivbauer ein, die ohne irgendeine Übertragung nicht von den Dieselzylindern auf die Schienen kommen können. Noch tobt der Kampf zwischen ihnen und den Anhängern der direkten Wirkung, noch sind die Meinungen über die Übertragung nicht geklärt". Der Autor prognostizierte, daß die "Einheitslokomotive" daher in absehbarer Zeit nicht kommen werde und daß sich die verschiedenen technischen Systeme viel eher auf die unterschiedlichen Einsatzfelder und Verwendungsgebiete verteilen werden (Meineke, zit. in Lomonosoff, 1929: Geleit).

Die durch das Auftauchen neuer technischer Antriebsoptionen und sprunghaft gestiegener Bedürfnisse nach schnellem und flexiblem Schienentransport ausgelöste Unsicherheit im "herrschenden Stand", die auch die bisher konsolidierte Entwicklung in Frage zu stellen drohte, wurde daher auch hier durch eine rasche Neudefinition der Zuständigkeitsbereiche für die miteinander konkurrierenden Systeme beendet und in eine Phase neuer Übersichtlichkeiten überführt. Die Kolbendampfmaschine blieb für den normalen Streckeneinsatz zuständig, während die neuen Antriebskonzepte, Diesel- und Elektromotor, zunächst einmal in Sondereinsatzgebieten etabliert wurden.

Ein weithin anerkannter und als "herrschender Stand der Technik" institutionalisierter Konsolidierungskonsens, diese "technological com-

mitments" (Weiss/Birnbaum, 1989: 1021), entsprechen damit kognitiven, sozialen und ökonomischen Bedürfnissen in der technischen Arbeit. Entwicklungsarbeit wird übersichtlich, kontrollierbar und erlaubt bei stabilen Selektionskriterien eine rasche Erkenntnisakkumulation; die ausgebildeten Verfahren und Regeln bieten für Ingenieure resonanzfähige und damit identitätsstiftende Verhaltensmaßnahmen und verfügen darüber hinaus noch über ökonomische Vorteile, weil der Forschungsprozeß insgesamt rationalisiert wird und sich ein so breit abgesicherter Erkenntnisstand risikoloser in größere Investitionsprogramme überführen läßt. Zu den "eingebauten" Stabilisatoren eines solchen Konsolidierungskonsenses gehört es daher auch, daß die hier zur Verfügung gestellten Wissenspakete für alle neu organisierten technischen Geneseprojekte sehr attraktive, aber gleichfalls auch folgenschwere Bezugspunkte bieten, da bei neuen Problemlösungen möglichst weit auf bewährte Bau- und Konstruktionselemente zurückgegriffen wird, um von dem hier verkörperten Erfahrungsvorsprung profitieren zu können. Selbst Entwicklungsingenieuren ist es aufgefallen, daß "beim Einsetzen einer neuen Innovationsphase im wesentlichen immer der erreichte Stand gehalten wurde" (Seiffert/Walzer, 1989: 230). "Die Motorenentwicklung beeinflusst sich selbst, d.h. der jeweilige Stand der Technik bestimmt den nachfolgenden Entwicklungsverlauf" (Zima, 1987: 380). "Technology is built on a bedrock of pre-existing technical and scientific knowledge that forms a necessary, rudimentary infrastructure for any business activity" (Weiss/Birnbaum, 1989: 1015). Selbst die so unkonventionell erscheinenden Vorschläge für die konstruktive Realisierung eines rationelleren Verbrennungsprozesses, wie sie der Kältetechniker Rudolf Diesel in die Praxis einführte, repräsentierten in tragenden Prinzipien und Konstruktionselementen den damals "herrschenden Stand". Die vom Erfinder erhofften und gewünschten revolutionären Eigenschaften des neuen Antriebssystems gingen dabei zwar verloren, dafür sicherte dieser unsichtbare Adaptionsprozeß durch das Einbringen von Standards die für den industriellen Zugang notwendige Mindestanschlußfähigkeit. Mit dem Rückbinden an anerkannte Regeln und Verfahrensweisen verlieren deshalb auch unkonventionelle Konstruktionen ihre Sprengkraft. Dabei werden mit dem abgesicherten Wissenspaket auch die früher getroffenen Selektionsentscheidungen weitergereicht und multipliziert, deren artifizieller Charakter als Konstruktionselemente

daher "nicht nur entscheidungsimprägniert, sondern auch entscheidungsimprägnierend" sind, weil "sie neue Probleme vorstrukturieren und deren Lösung prädisponieren" (Knorr-Cetina, 1984: 29).

Auf der anderen Seite werden überhaupt nur solche Konstruktionsvorschläge von den technik-wissenschaftlichen Diskursen beachtet, die die im "herrschenden Stand der Technik" zusammengefaßten Regeln beachten. Der Dresdner Professor Adolf Nägel, in den 20er und 30er Jahren einer der führenden Hochschullehrer für Verbrennungsmotoren, erläuterte diesen strengen Bewertungsprozeß einmal am Beispiel eines vom Flugzeugbauer Hugo Junkers entwickelten Gegenkolben-Motors, der später wegen ungenügender politischer Absicherung wieder aus dem "herrschenden Stand der Technik" herausflog: "Das Streben nach weitgehender Expansion ließ Junkers in keinem Augenblick den thermischen Merkmalen des Viertaktarbeitsprozesses, die ja auch dem Zweitaktverfahren eigen sind, untreu werden - im Gegensatz zu vielen Erfindern der damaligen Zeit. Die folgerichtige Beibehaltung des gleichen Hubvolumens für den Ansaug- wie für den Expansionshub, die der klassische Viertaktprozeß vorschreibt, muß heute dem rückwärtsschauenden Kritiker die Anerkennung der wirtschaftlichen Sicherheit abringen, durch die Junkers nicht zu komplizierten Triebwerken eines Atkinson-Motors oder zu ähnlichen Irrwegen verleiten ließ" (Nägel, 1929: 11). Wer sich nicht an diese "Regeln" hielt und außerhalb der akzeptierten Grundformen dachte, plante und konstruierte, hatte kaum Aussicht, in die formierten Perzeptionsmuster einzudringen und blieb mit seinem Projekt auf dem Status einer "technischen Option" stehen. Unkonventionelle Bauformen in der Geschichte der Wärmekraftmaschinen wie die kolbenlose Dampfmaschine "Pulsometer" oder der "Stirlingmotor", die außerhalb des um die Kolben-Dampfmaschine konstituierten "Geräte-Paradigmas" lagen, stießen auf keine Resonanz (vgl. Matschoß, 1908: Bd. 2: 356; Hütten 1988: 450ff.).

Die aus der Wissenschaftsforschung so beliebten Begriffe wie "communities", "Schulen" oder "Zünfte", die ja ebenfalls auf gemeinsame, von den Mitgliedern einer Gruppe geteilte Perzeptionsmuster verweisen, müssen daher für die Deutung der Ingenieurs- und Konstruktionsarbeit enger auf den als "Stand der Technik" festgeschriebenen "Konsolidierungskonsens" bezogen werden. "Scientists and engineers seem to be bound together in their invisible colleges, not so much

by any communality of their paradigms, way of thought, and cognitive training, as by a guide-like communality of the tools and instrumentalities that they use in their work" (de Solla Price, 1984: 15).

Obleich die Ausweisung von legitimen und nicht legitimen Wissensbeständen für die Verwendung bestimmter technischer Einsatzfelder durch die als "Stand der Technik" ausgedrückten Übereinkünfte festgeschrieben wird, sind damit freilich konstruktive Lösungsverfahren nicht vollständig determiniert, da sonst jeder Diesel- oder Ottomotor oder jede Kolben-Dampfmaschine identisch sein müßte. Auch mit der Verwendung von Lösungsmerkmalen, die fest als "herrschende Wissensbestände" verankert sind, treten in den konkreten Anwendungskontexten Interpretationsspielräume auf; die sehr spezifischen Verwendungen der Konstruktionsgrundsätze lassen lokal neue Erfahrungswerte entstehen, die noch nicht mit den im "Stand der Technik" verankerten Wissensbeständen abgestimmt, bewertet und geordnet wurden, und sich daher über eine befristete Zeit in organisationsspezifischen Lösungsmerkmalen dokumentieren. Allerdings räumen wir im Verbrennungsmotorenbau den institutionellen Kontexten bei der Strukturierung und inhaltlichen Gestaltung von Techniken eine dominierende Position gegenüber den Möglichkeiten der dauerhaften Etablierung organisationsspezifischer Gestaltungsgrundsätze ein.

"Revirement"

Die ökonomischen, politischen und sozialen Bedingungen sowie die organisatorischen und institutionellen Kontexte der Generierung und sozialen Härtung des Wissens im "herrschenden Stand der Technik" als verbindliche kognitive Bezugsgröße markieren damit auch die Räume für neue Geneseprojekte. Bei diesen ausgeprägten Bedürfnissen nach Stabilität und Übersichtlichkeit der technischen Grundlagen und Konstruktionsregeln, die immer wieder zu einem konsolidierten und institutionalisierten Wissensbestand führen, sind für die Durchsetzung neuer, nicht legitimer Wissensbestände umfangreiche "Destabilisierungsmaßnahmen" zur Auslösung eines "Revirements" erforderlich.

Eine Zusammenarbeit mit den zentralen Trägereinrichtungen aus Industrie und technik-wissenschaftlicher Forschung scheint hierfür genauso elementare Voraussetzung zu sein wie die Existenz "externer

Schocks", die über eine damit ausgelöste Neuformierung der Nutzerstrukturen die bisher zur Verfügung gestellten technischen Lösungen vor Legitimationsnöte stellt. Um überhaupt mit einem neuen technischen Verfahren in einen bereits formierten "Stand der Technik" eindringen und sich dort auf Kosten anderer technischer Lösungen etablieren zu können, die herrschenden Selektionskriterien außer Kraft zu setzen und interne Bindekräfte formierter Wissensbestände zu neutralisieren, mußte im Fall des Dieselmotors erst ein sehr umfassendes Unterstützer-Netzwerk geflochten und eine aus den führenden Unternehmen der Branche bestehende "Diesel-Gruppe" geschmiedet werden. Möglich waren diese Operationen aber auch nur deshalb, weil dem organisatorischen Träger des damals "herrschenden Standes der Technik" die Neuabstimmung mit den Nutzerklientelen bei einer veränderten Bedarfslage mißlang und die für eine Bewertung, Einordnung und Strukturierung von Wissensbeständen zuständigen Vertreter der Technikwissenschaften den bisherigen Konsens des eingeschlagenen Konsolidierungskurses aufkündigten, da hier professionelle Eigeninteressen nicht mehr in ausreichendem Maße eingebunden werden konnten. Der wachsende Bedarf nach dezentral verfügbarer und ökonomisch sinnvoll einsetzbarer Energie schuf zusammen mit den im Kontext der Verwissenschaftlichung einsetzenden Ausdifferenzierungen der technischen Arbeit für kurze Zeit eine labile Situation und löste ein Revirement im "herrschenden Stand der Technik" aus, das zur Etablierung neuer Wissensbestände genutzt werden konnte.

Nur unter diesen Bedingungen war die Bildung eines so hochkarätig besetzten Industriekonsortiums denkbar, dessen Interessenstrukturen, Qualifikationsprofile und Marktmacht allerdings auch in die technische Konfiguration des neuen Motors "eingeschrieben" wurden. Mit der Aufnahme des neu entwickelten Hochdruckölmotors in den "herrschenden Stand der Technik" sollte mit der Anerkennung dieses von der "Diesel-Gruppe" vorgeschlagenen Konsolidierungskonsenses das organisatorische Entstehungsmilieu des neuen Motors im "herrschenden Stand der Technik" in seinen Grundzügen irreversibel festgeschrieben werden.

Ausgehend von der Kennzeichnung spezifischer Bedingungen der technischen Arbeit haben wir damit das konzeptionelle Gerüst, den kategorialen Rahmen, der für die Operationalisierung und Deutung

der Geneseprozesse des dieselmotorischen Antriebssystems im Kontext der Branchenentwicklung verwendet werden soll, in groben Zügen vorgestellt und illustriert. Bevor die konkreten Erörterungen zum Thema "Diesel" aufgenommen werden können, sind einige Bemerkungen zu den methodischen Problemen, Tücken und Fallstricken im Umgang mit den Ergebnissen der traditionellen Technikgeschichtsschreibung notwendig, deren detaillierte, aber auch wohlsortierte Recherche ja ein wesentliches Element des Untersuchungsmaterials bildet und eine sozialwissenschaftlich betriebene Technikgeneseforschung an die programmatische Zielsetzung technischer Geschichtsdarstellung bindet.

3. In Teufels Küche: Der schwierige Umgang mit der traditionellen Geschichtsschreibung

Als der Ingenieur Friedrich Sass von der Anfang 1951 gegründeten "Arbeitsgemeinschaft für die Geschichte des deutschen Verbrennungsmotorenbaues" den Auftrag für eine zusammenfassende Monographie erhielt und dabei auf umfangreiche Vorarbeiten und eine enorme Fülle zusammengetragener Materialien zurückgreifen konnte, sollte man eigentlich meinen, daß er Probleme mit der Auswahl und Darlegung gehabt hätte. Doch "das bot keine Schwierigkeiten", erläuterte Sass, "denn wer von den hundert Jahren, die seit dem Beginn des deutschen Verbrennungsmotorenbaues verstrichen sind, sechzig Jahre beobachtend miterlebt hat, sieht rückschauend klar, was für die Entwicklung wichtig gewesen ist". Damit ist der Kern des Problems angesprochen, das uns in diesem Abschnitt beschäftigen wird. Die heute existierende "technische Realität" wird auf die Vergangenheit projiziert und produziert Selektionsmuster bei der historischen Rekonstruktion, die nicht erfolgreiche Lösungswege "postum" als den falschen Weg ausweisen, die durchgesetzten Techniken als optimale Lösungen bestätigen und "nachträglich eine gewisse Ordnung der Dinge" schaffen (Ohnesorge, 1937: 49). Eine solche Sichtweise gründet sich auf ein Verständnis von einer in sich geschlossenen und "stetig aufwärts" strebenden technischen Entwicklung und hinterläßt damit ein äußerst zwiespältiges Erbe (vgl. Dessauer, 1956: 263ff.).

Technikgeschichtliche Programmaufträge

Technikgeschichte war ursprünglich einmal von der bedeutendsten Professionsvereinigung der Techniker, dem Verein Deutscher Ingenieure (VDI), insbesondere zur Sichtbarmachung und zur Demonstration des Kulturwertes technischer Schaffenskraft ins Leben gerufen worden. Technische Arbeit als einen Teil der Kultur zu verstehen klingt modern, bezieht sich bei dem um die Jahrhundertwende erstmals ausgelobten Preisausschreiben für technikhistorische Darstellungen aber auf einen gänzlich anderen gesellschaftlichen Hintergrund als die heutige Diskussion um "Kultur und Technik". Ingenieure und Techniker sahen sich damals, zumindest in den Augen ihrer Standesorganisationen, im Land der Dichter und Denker mit dem

vermeintlichen Vorurteil konfrontiert, daß den technischen Schaffensleistungen nicht die gleiche Achtung und Wertschätzung wie den geisteswissenschaftlichen Taten entgegengebracht werde. Die Mehrzahl des Bildungsbürgertums sähe nämlich - so bspw. Max Maria v. Weber - in der neuen Berufsklasse nur "Emporkömmlinge" und erkenne im Ingenieur nur einen besseren Klempner (vgl. Zweckbronner, 1980: 332). Neben dem Kampf um eine akademische Anerkennung - die Verleihung der Promotionsrechte an die Technischen Hochschulen im Jahre 1899 markierte hier einen wichtigen Meilenstein - stand das Bemühen um eine dem Kulturwert der Technik angemessene Darstellung der Ingenieursarbeit im Vordergrund der professionellen Emanzipationsbestrebungen der Jahrhundertwende (vgl. Klemm, 1983: 168f.). Nach mehreren vergeblichen Bemühungen konnte der VDI, vermittelt über den Springer Verlag, mit Conrad Matschoß, einem Lehrer an der Königlichen Maschinenbauschule in Köln, das erste technikgeschichtliche Projekt starten, das sich mit einer Aufarbeitung der Geschichte der Dampfmaschine beschäftigen sollte (vgl. König, 1987: Xff.). In einem Vorwort der 1907 schließlich abgeschlossenen Studie formulierte Matschoß erste programmatische Kernelemente, die für die nachfolgende Technikgeschichtsschreibung schulend bildend wirken sollte. Für Matschoß stellte sich zunächst das Problem des Umgangs mit dem Material, denn "gewaltig, zuweilen fast erdrückend, war der Stoff". Um aber nicht ins "Maßlose" zu geraten, galt für ihn, "nur Wesentliches im geschlossenen Bilde festzuhalten". Als Maßstab hierfür diente ihm die "wirtschaftliche Wertschätzung einer Konstruktion oder einer Erfindung, wie sie sich im Laufe der Jahre herausstellte". "Denn nur was Wind und Wetter wirtschaftlich praktischer Verwendung auszuhalten vermag, verdient als wichtiges Glied der Geschichte festgehalten zu werden". Ein positivistisches Geschichtsverständnis ließ daher keinen Platz für "Erfindungsgedanken, die über die Akten des Patentamtes nicht hinausgekommen sind", wie auch "geistreiche Ideen, die schon bei der ersten Ausführung scheiterten", nach Ansicht Matschoß' nicht unbedingt in die Darstellung gehörten. Denn: "Geschichte hat Geschehenes zu berichten und muß sich begnügen, in erster Linie das zu schildern, was einer getan hat, und nicht das in den Kreis seiner Betrachtung zu ziehen, was einer hat tun wollen". Patentschriften oder auch nur "absonderliche Konstruktionen" sollen daher in der Geschichtsdarstellung keinen Platz finden

(Matschoß, 1908, Bd. 1: XXVI). Matschoß, der auch 1909 den ersten technikgeschichtlichen Lehrauftrag an der Technischen Hochschule Berlin erhielt, war keineswegs der einzige geschichtsschreibende Ingenieur zu dieser Zeit, aber durch seine späteren Tätigkeiten als Herausgeber der "Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie" sowie durch seine Anstellung als Direktor des VDI die programmatisch prägendste Figur dieser jungen und doch schon so beschäftigten Disziplin (vgl. auch König, 1985: Vf.).

Es erscheint verständlich, daß aus einer solchen Perspektive heraus die Suche nach Kontroversen über technische Entwicklungsoptionen, auf die eine Technikgeneseforschung aber angewiesen ist, nicht gerade unterstützt wird. Ganz im Gegenteil: Eine in die professionalen Emanzipationsbestrebungen eingebettete Technikgeschichtsschreibung vermeidet im Bemühen um eine möglichst repräsentative Darstellung der "Sternstunden der Technik" geradezu die konfliktorischen Auseinandersetzungen um den "richtigen Weg". Besonders peinlich waren den Chronisten daher die in einem recht ruppigen Ton geführten Auseinandersetzungen um die Bewertung der Rolle Rudolf Diesels bei der Entstehung des nach ihm benannten, aber mit finanziellen Mitteln und unter der Regie der Maschinenfabrik Augsburg, der späteren Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg (MAN), entwickelten neuen Hochdruck-Öl-Motors. Die hier einmal ans "Tageslicht" gelangten fachtechnischen Kontroversen überschatteten den doch so gepflegten Eindruck von der großen harmonischen Gemeinschaft der Techniker, und der publizistische Niederschlag des Streits um Diesel gereichte deshalb auch "der deutschen technischen Literatur nicht zur Ehre" (vgl. Sass, 1962: 423).

Es war aber nicht nur die Suche und Darstellung des Kulturwertes der technischen Arbeit, die für die konzeptionellen Grundlagen der Technikgeschichtsschreibung bestimmend waren. Mit der Gründung der Technischen Hochschulen Mitte des 19. Jahrhunderts begann die Entwicklung der technischen Ausbildung zu akademischen Lehrfächern. Damit setzte aber gleichermaßen ein Profilierungsversuch der Ingenieurverbände zu einer technischen Wissenschaft ein, um sich gegen die bis dahin so beherrschende Stellung der naturwissenschaftlichen Forschung behaupten zu können (vgl. Matschoß, 1908, Bd. 2: 691ff.). Kein geringerer als Walter Rathenau, Industrieller, Philosoph, Regierungsberater und bis zu seiner Ermordung Minister für Wieder-

aufbau, erinnerte bei seinen öffentlichen Auftritten immer wieder daran, daß "Technik nichts anderes ist als angewandte Wissenschaft" (Rathenau, 1920: 404) und brachte damit eine damals vorherrschende Anschauung auf den Punkt, die den um eine Abgrenzung bemühten und um Profilierung ringenden Ingenieurverbänden überhaupt nicht gefallen konnte. "Ein Arzt kann Tausende zu Tode kurieren und in Ehren begraben werden, ein Gelehrter mag die größten Irrtümer durch ein Menschenalter... vertreten, bis sie als solche erkannt werden, ein Jurist kann sich einen glänzenden Namen erwerben in der Verteidigung des Unrechts", klagte der publizistisch sehr rege Ingenieur Max Eyth. "Ein Ingenieur, der sich gegen die Wahrheit der Festigkeitslehre versündigt, zermalmt sein eigener Frevel" (zit. nach E. Diesel, 1939: 104).

Die Technikgeschichtsschreibung erhielt in diesem Kontext einen weiteren Programmauftrag. Zu einer repräsentativen Darstellung der technischen Schaffenskraft "großer Ingenieure" trat nun noch der Versuch, eine Deutung innerer Gesetzmäßigkeiten der Konstruktionsarbeit vorzunehmen und die Entwicklung der Technik ganz als ein widerspruchsfreies und rationales, strikt wertneutrales Projekt zu konzipieren. Bezeichnend für diese Orientierung war eine ganze Artikelserie des bereits erwähnten russischen Ingenieurs P.K. v. Engelmeyer in "Dinglers Polytechnischem Journal", die mit der Frage eröffnet wurde, ob "der Techniker" angesichts der kommenden Aufgaben überhaupt "genügend vorbereitet ist, um die Wechselwirkung zwischen der Technik und den übrigen sozialen Faktoren zu durchschauen". Engelmeyer skizzierte als erster programmatische Elemente einer Technik-Wissenschaft, die dem Ingenieur die "Achtung" der "anderen Klassen" verschaffen sollte und deren kognitive Konsolidierung auch die Rekonstruktion vergangener Arbeiten beeinflusste. "Wir müssen untersuchen, was die Technik bildet, welche Grundziele sie in ihren Zweigen verfolgt, was für Methoden sie anwendet, wo ihr Gebiet aufhört, von welchen Nachbargebieten der menschlichen Tätigkeit sie umgeben ist, in welcher Beziehung sie steht zur Wissenschaft, zur Kunst, zur Ethik usw". Eine der drängendsten Aufgaben war nach Engelmeyer die Selbstergründung der technischen Arbeit und die Suche nach einer darin verborgenen logischen Struktur (vgl. v. Engelmeyer, 1899: 21/22). In dem schon 1875 erschienenen ersten Band "Theoretische Kinematik" hatte der Berliner Maschinenbauprofessor

Franz Reuleaux bereits wichtige Vorarbeiten geliefert und in einem letzten "ernstzunehmenden Versuch" eine universale Maschinentheorie entwickelt, um "das Gebiet des Maschinenbaus mit einem einzigen, großen Wurf zu erfassen" (J. Schneider, 1987: 173). Seine Zwangslauflehre, quasi der Höhepunkt des Newton'schen Zeitalters im Maschinenbau, ein in sich geschlossenes und hermetisch abgeriegeltes Lehrgebäude, galt auch dem Bestreben, den Erfindungen ihren intuitiven und damit unnahbaren Charakter zu nehmen. "Ich glaube, daß wir hoffen dürfen, nach Erkenntnis der Gesetzmäßigkeit und nach Verbreitung dieser Erkenntnis die Planlosigkeit des Suchens nach neuen Lösungen sich vermindern und allmählich verschwinden zu sehen" und die "Erfindung von Mechanismen" als eine "kinematische Synthese, auf wissenschaftliche Grundlage und in Kenntnisse der inneren Gesetze des Maschinenwissenschaft" zu organisieren (Reuleaux, 1875: 389; 588).

Reuleaux' Arbeiten inspirierten auch den ersten Versuch, in einer "Philosophie der Technik" (Kapp, 1877) den inneren Gesetzen der technischen Entwicklung mit dem Begriff der "Organprojektion" auf die Spur zu kommen, die auch später in den verschiedenen Versuchen zur theoretischen Klärung der Technikgeschichte populär blieben. "Die Maschine (ahmte) zunächst die organische Arm- und Fußbewegung nach, so daß ein allgemeines Schwingen, Hämmern und Stampfen die Arbeitsstätten durchpulste; an die Stelle dieser schwingenden Bewegung trat dann als eine der folgenreichsten Errungenschaften der Technik die gleichmäßige Drehbewegung, die den wechselweise schwankenden Lauf der Maschine in einen ununterbrochenen stetigen Arbeitsgang verwandelt". "Der Übergang zur zwangsläufigen Drehbewegung ... bildet nun einen der wichtigsten Leitgedanken der neuzeitlichen Technik, die mit der allgemeinen Einführung der Drehbewegung das Vorbild der organischen Natur verläßt und ihren eigenen, aufwärtsführenden Weg einschlägt" (Erhard, 1929: 8).

Mit diesen Versuchen zur Theoriebildung ist das Aufgabengebiet der Technikgeschichtsschreibung immer noch nicht vollständig beschrieben. Als um die Jahrhundertwende die großflächig betriebenen Naturzerstörungen sowie die Disziplinierung und Mechanisierung der menschlichen Arbeit in den Fabriken mehr und mehr auf Widerstand stießen und zu organisierten Formen des Protestes führten (vgl. Sieferle, 1984: 155ff.), wurden die pädagogischen und theoretischen Auf-

gaben der Technikgeschichtsschreibung noch um das Programmpaket "Unschuld der Technik" erweitert. Alois Riedler, einer der einflussreichsten Ingenieure des beginnenden 20. Jahrhunderts (vgl. Hunecke, 1979: 301ff.), faßte die agitatorischen Aufgaben in diesen Auseinandersetzungen zusammen: "Die Weltblinden sagen: Die Grundursache des furchtbaren Unheils Europas liege in der 'Überwucherung der Kultur durch die Technik'". "Die technische Lehre werde nur 'im Sinne der brutalen Mechanik' ausgebildet". Doch richtig ist: "Mißbrauch der Technik ist die Regel. Statt sie zu Kulturzwecken zu leiten, wird sie meist für kulturfeindliche Sonderzwecke ausgenutzt, für Krieg und Eigenwerb, wird mißbraucht durch Gewalt und Eigennutz". "Die Technik wurde immer mehr Magd der Machthaber" (Riedler, 1921a: 145; 143). Max Eyth behauptete, daß "die Technik weder aus Gutem noch Bösem hervorgegangen ist". "Im Grunde ist sie - ursprünglich wenigstens - ein schuldloseres Gebiet als andere" (hier zit. nach E. Diesel, 1939: 237).

In diesem Punkt waren die Ingenieure gesellschaftspolitisch besonders erfolgreich. Die sich selbst unterstellte strikte Neutralitätsverpflichtung gedachte man staatlicherseits als Instrument bei der Eindämmung der sich ankündigenden Spannungen in den Fabriken einzusetzen. "Ich wollte die technischen Hochschulen in den Vordergrund bringen" - zitierte Riedler in dieser Frage sogar den Kaiser -, "denn sie haben große Aufgaben zu lösen, nicht nur bloß technische, sondern auch große soziale". "Sie können auf die sozialen Verhältnisse vielfach großen Einfluß ausüben, da ihre vielen Beziehungen zur Arbeit und zu den Arbeitern und zur Industrie überhaupt eine Fülle von Anregungen und Einwirkungen ermöglichen" (Wilhelm II, zit. nach Riedler, 1900: 200).

Objektfixierte, gefilterte und sortierte Materialsammlungen

Aber nicht nur die programmatische Überfrachtung und die enge Verwobenheit mit den professionellen Emanzipations- und Expansionsbewegungen, die Abgrenzung zur Naturwissenschaft, das Ringen um die Anerkennung des Kulturwertes der Technik und der Kampf gegen die Feinde der Technik machten den Umgang mit den Ergebnissen der traditionellen Technikgeschichtsschreibung so schwierig. Eine gewisse Fixierung auf technikgeschichtliche Lieblingsobjekte ließ oft-

mals nur ein sehr verzerrtes Bild des zeitgenössischen technischen Vermögens entstehen. Kraftmaschinen, insbesondere die Dampfmaschine als "Mutter der Maschinen", denen als "technikgeschichtliche Wendepunkte" eine hervorragende Rolle in der allgemeinen Kulturentwicklung zugeschrieben wurde, gehörten hierzu (E. Diesel, 1939: 64). "Der Dampf als Triebkraft der industriellen Revolution, das ist ein Musterbeispiel der Technikillusion, die oft den Blick dafür versperrt, daß es nicht auf monströse Mechanismen, sondern auf Arbeits- erfahrung und Organisation ankommt". Die Herausarbeitung ganz bestimmter technischer Linien "kennzeichnet vielfach eine vordergründige Art, die Geschichte der Industrialisierung zu betrachten: Dadurch besaß die Technikgeschichte aus der Sicht der Sozial- und Wirtschaftshistoriker lange etwas Altmodisches und Primitives" (Radkau, 1989: 18). Daß sich das erste vom VDI gesponserte Projekt zur Technikgeschichtsschreibung mit der Aufarbeitung der Entwicklungs- geschichte dieser Maschinengattung beschäftigte, war vor dem Hinter- grund der übrigen Vereinsaktivitäten auch nicht verwunderlich. In den von diesem Verein organisierten technik-wissenschaftlichen Un- tersuchungen nahm der Bereich "Wärme- und Kraftmaschinentechnik" eine überragende Stellung ein (vgl. Lundgreen, 1979a: 276). Die Erörterung technischer Probleme oder die Diskussion über Entwick- lungsaussichten sowie das erwachte Interesse an der Geschichtsauf- arbeitung ließ diesen Maschinentyp auch in der allgemeinen technischen Literatur eine überragende Stellung einnehmen, was letztlich auch dazu beitrug, daß die Dampfmaschine nicht nur als Gradmesser der technischen, sondern ganz allgemein der wirtschaftlichen Entwicklung überschätzt wurde.

Obwohl aus der engen professionellen Umklammerung längst her- ausgelöst und mittlerweile mit einem "offeneren" Erkenntnisinteresse und einem pluraler ausgestatteten Methodenkasten versehen (vgl. Hausen/Rürup, 1975: 11ff.), bleibt die Rezeption der Ergebnisse der Technikgeschichtsschreibung durch die frühere, nahezu kultische Ver- ehrung, die den erfolgreichen Konstruktionen weltweit entgegenge- bracht wurde, ein tückisches Unterfangen, denn es läßt oft die "quälende Frage" entstehen, "wieviele großartige Gedanken wohl auf dem Wege zu unseren heutigen modernen Konstruktionen auf der Strecke geblieben sind" (Bönsch, 1982: 152). Technikgeschichtsschrei- bung - so wie sie Autoren wie Matschoß und Sass verstanden und be-

trieben haben - ist eine Geschichtsschreibung aus der Perspektive der "siegreichen" Konstruktionsformen, deren technische Überlegenheit sich gleichsam aus ihrer Existenz schöpft. Aus dem Wissen darüber, was sich im Ergebnis durchgesetzt hat, wird rückwirkend eine in sich geschlossene Entwicklungslinie konstruiert, aus der alle "gescheiterten" Techniken herausfallen oder bestenfalls noch in einem "Raritätenkabinett" als disfunktionale Absonderlichkeiten ausgestellt werden und oft nur, um die Legitimation der herrschenden technischen Linie nochmals zu unterstreichen (vgl. G. Hack, 1987: 162ff.).

Im ersten zusammenfassenden Lehrbuch des Verbrennungskraftmaschinenbaus (1903), an dem später die zunfteigene Geschichtsschreibung anknüpfte, sah sich der Verfasser Hugo Güldner schon bei der Vorbereitung zur zweiten Auflage (1905) vor das Problem gestellt, die zwischenzeitlich erreichten baulichen und betriebstechnischen Fortschritte einarbeiten zu müssen, ohne daß sich das Volumen des Buches entsprechend vergrößerte. Er entschloß sich, aus der Entwicklungsgeschichte der ersten Auflage "diesmal nur die eigentlichen Stammarten" der Verbrennungsmotoren zu übernehmen, wobei "eigentlich" bedeutete, auf die Erwähnung von Maschinen, die 1905 in der Praxis nicht mehr zu finden waren, auch im historischen Teil ganz zu verzichten. In dieser zweiten Auflage blieb aber immerhin der heute ganz und gar vergessene Kohlenstaubmotor neben Gasmotor, Gasturbine und Ölmotor als eine eigenständige "Stammart" erhalten (vgl. Güldner, 1905: 6), der aber in der dritten Auflage (1914) überhaupt nicht mehr erwähnt wurde, weil die damaligen Versuchsarbeiten zwischenzeitlich storniert worden waren. Nachdem der Motor aber nun auch aus der Geschichte ausgemerzt war, konnte auch später, unter veränderten politischen Konstellationen, kaum mehr an dieses Wissen angeknüpft werden.

Wer sich an die Geschichte der Wärmekraftmaschinen herantasten möchte, einer "Technik-Familie", zu der auch die Verbrennungskraftmaschinen gehören, wird daher immer mit den gleichen stilisierten Entwicklungsetappen konfrontiert. Es beginnt zumeist mit Hinweis auf die Äolipie des Heron, einer wassergefüllten, geheizten und damit drehbaren Kugel, geht über die Visionen von Roger Bacon und den schon etwas präzisieren Berechnungen von Leonardo da Vinci zu den Versuchen des Magdeburger Bürgermeisters und Hobby-Ingenieurs Otto v. Guericke, der bereits mit Zylindern, Ventilen und Kolben die für

die heutige Motorentwicklung kennzeichnenden Maschinenelemente verwendete. Es folgte die Pulver-Explosionsmaschine des Holländers Huygens, der einen physikalisch-chemischen Prozeß durch die Konstruktion eines Kolbenmotors in mechanische Kraft übersetzte. Wir lernen die Idee des Vakuums bei Denis Papin kennen und hören, daß zum letztendlichen Erfolg damals nur brauchbare Werkzeuge und mechanische Kenntnisse fehlten. Schließlich werden wir mit den - aus der Not herausgeborenen - Kolben-Dampfmaschinen von Thomas Savery und Thomas Newcomen vertraut gemacht, auf deren Basis James Watt die erste brauchbare Kolben-Dampfmaschine entwickelte. Wir vernehmen den Ruf nach einem kessellosen Motor, hören von dem ungeheuren schlechten thermischen Wirkungsgrad des Dampfmaschinenprinzips, da mechanische Arbeit erst über den "Umweg" der Dampfbildung geleistet werden kann, und werden mit den ersten Motorenkonstruktionen - Heißluftmaschinen - bekannt gemacht, die den Verbrennungsvorgang in den Zylinder hineinverlegen, wo an Ort und Stelle des Gebrauchs das Arbeitsmedium unmittelbar für den Arbeitstakt produziert wird. Die Chronisten "pflicht" bezog dabei durchaus auch "gescheiterte" Projekte ein, beispielsweise die Heißluftmaschine des Schweden John Ericsson, wenn sich diese Konstruktionsformen in die Hauptentwicklungslinien einfügen ließen und damit keine grundsätzlichen Abweichungen und möglicherweise phantasieanregenden technischen Perspektiven dokumentiert werden mußten. An diesem Punkt angelangt, war es nur noch ein kleiner Schritt zu den Verbrennungskraftmaschinen, über die mühsamen Anfänge der Lenoir'schen Gasmaschine zum atmosphärischen, später im Viertakt arbeitenden Gasmotor von Nikolaus August Otto, der die unterschiedlichen Arbeitsphasen in einzelne, getrennte Ladungsvorgänge zerlegte. Die weiteren Stationen sind mit dem schnellaufenden Benzinmotor und dem nach Diesel benannten Hochdruckölmotor schnell skizziert (vgl. exempl. E. Diesel/Goldbeck/Schildberger, 1957: 7ff.). Diese Etappen finden sich in nahezu allen technikgeschichtlichen Darstellungen. Über lange Jahre sorgfältig gepflegt und reproduziert dienen sie selbst den Arbeiten jüngeren Datums, die sich keineswegs dem positivistisch-teleologischen Geschichtsbild der älteren Technikgeschichtsschreibung verpflichtet fühlen (bspw.: Varchmin/Radkau, 1981: 78ff.; H.J. Braun, 1981: 82ff.), als empirisch Basis für den Aufbau neuer Interpretationsrichtungen.

Wie sorgsam diese Darstellungen aber bereits gefiltert und geschönt wurden, entdeckt man meist nur zufällig. Der in den letzten Jahren als Alternative zu konventionellen Hubkolben-Verbrennungsmotoren vergleichsweise günstig bewertete Stirlingmotor ist nur deshalb wieder aus der anonymen Geschichte aufgetaucht, weil der holländische Elektrokonzern Philips auf der Suche nach einer geeigneten Kraftquelle für mobile Rundfunkanlagen sich nicht auf die Ergebnisse der Technikgeschichtsschreibung verließ, sondern umfangreiche Ressourcen für einen eigenständigen Suchprozeß mobilisierte, der mit einem abweichenden Suchraster völlig vergessene Konstruktionsformen wieder zutage beförderte. Bei diesem Motorenkonzept handelte es sich zwar auch um eine Wärmekraftmaschine, doch entgegen dem "offenen Kreislauf" des Ottomotors wird in einem "geschlossenen Kreislauf" immer dasselbe Arbeitsmedium (Gas) verdichtet, ausgedehnt, abgekühlt und wieder verdichtet. "Der hochwürdige Reverend Robert Stirling ersann um 1816, also noch zu James Watts Lebzeiten, (diesen) Heißluftmotor, der ohne die lästigen und gefährlichen Dampfkessel arbeiten sollte. Er erhielt ein Patent darauf und baute auch eine Maschine, die mit einer Pumpe einen Steinbruch wässerte. Doch war die Wirkungsweise beim damaligen Stand der Technik so schwer verständlich, daß sich rund 30 Jahre lang niemand damit beschäftigte" (Hütten, 1988: 450, 451). Nachdem aber der Stirlingmotor als technisches Prinzip in den 40er Jahren wieder "ausgegraben" war und als eine "technische Option" in der Diskussion gehalten werden konnte, erweiterte sich plötzlich auch die Geschichtsschreibung und der Motor stand nun als selbstverständlicher "Urahne" neben den bekannten Motorentypen (vgl. Mauel, 1967: 62ff.).

Obwohl die "unausgesetzte Drehbewegung" - "die Seele der Technik" - als das oberste Ziel der Konstruktionsarbeit galt (E. Diesel, 1939: 65), ist es doch verwunderlich, daß sich mit dem hin- und hergehenden Hubkolben eine Triebwerkskonstruktion als grundlegendes Prinzip für Verbrennungskraftmaschinen durchgesetzt hat, das nur mühsam und unbeholfen zu einer solchen unausgesetzten Drehbewegung gezwungen werden kann. Sieht man einmal von den für andere Anwendungsbereiche zugeschnittenen Strömungsmaschinen (Turbine) ab, ist das Hubkolbentriebwerk in der Automobiltechnik offensichtlich konkurrenzlos geblieben. Aber auch hier ist die Überraschung groß, wenn man erfährt, daß eine Vielzahl an Ideen, Konstruktionen und

ausgeführten Bauformen nachweisbar ist, die - abweichend vom Hubkolbenprinzip - einen Verbrennungsvorgang und die daraus abzuführende Kraftentfaltung mit rotierenden Maschinenteilen zu bewerkstelligen suchten. Die "Fülle an Rotationskolben-Bauarten" (Bensinger, 1973: 51) brachte bspw. Felix Wankel 1926 in große Schwierigkeiten, als er mit seinen Konstruktionsentwürfen bei der Anmeldung nur sehr mühsam die vom Patentamt geforderte Originalität seiner Ausführungsart nachweisen konnte (Wankel, 1977: 326). Die Etablierung des NSU/Wankelmotors im "herrschenden Stand der Technik" war aber offenbar doch von zu kurzer Dauer, als daß eine Reform der technikgeschichtlichen Grundlagen, ähnlich wie beim Stirling-Motor, eingesetzt hätte. Lynwood Bryant spricht aber von einer "surprising number of bolder thinkers - hundreds of them - ready to experiment with more radical departures from the conventional steam engine, such as rotary engines, or substitutes for steam as working fluid" (Bryant, 1973:153), aber solche technischen Arbeiten bleiben im Verborgenen und werden eher zufällig ans Tageslicht geholt. Der "Stirlingmotor" und die verschiedenen Bauformen der Rotationskolbenmaschinen wären sicherlich nicht ausgegraben worden, wenn der herrschenden Technikgeschichtsschreibung nicht mißtraut worden wäre, in der ja nicht einmal eine Patentschau zum offiziellen Handwerkszeug zugelassen war.

Aus Sicht der sozialwissenschaftlichen Technikgeneseforschung muß man daher froh sein, wenn beispielsweise das Berliner "Museum für Verkehr und Technik" mit einer beachtlichen Dokumentation an die Tradition des Berliner Automobilbaus erinnert und dabei längst vergessene Konstruktionslinien zum Vorschein bringt, die einige "Verzerrungen" des traditionellen Geschichtsbildes wieder etwas zurecht-rücken (vgl. Kubisch, 1985: 9ff.). Solange aber keine systematische Darstellung "gescheiterter" und vergessener Technisierungspfade existiert - und es besteht nur wenig Aussicht, daß solche Projekte dem-nächst begonnen würden -, befinden sich die sozialwissenschaftlichen Forschungsprojekte zur Technikgenese in "Teufels Küche". Denn man muß "höllisch" aufpassen, daß die den Geschichtsdarstellungen zu-grunde gelegten Selektionsmuster sich nicht im Forschungsprozeß verselbständigen und deshalb vor dem Hintergrund der eigenen Erkenntnisabsichten permanent hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Ergebnisproduktion kontrolliert werden müssen. Das "Gegen-den-

Strich"-Lesen der nachträglich bereinigten Geschichtsschreibung scheint so zur "Achillesferse der Technikgeneseforschung" zu werden. Dies soll nicht in Abrede stellen, daß die Ergebnisse der bisherigen traditionellen Technikgeschichtsschreibung eine Fülle empirischen Materials erarbeitet und sich glücklicherweise dabei nicht immer an ihren eigenen Programmauftrag gehalten haben. Wir finden auch in einer Geschichtsschreibung aus Sicht der "Sieger" des öfteren Sympathien für stillgelegte Nebenlinien, die dem Chronisten mitunter sogar Anregungen für spekulative Fragen nach dem Motto "Was wäre, wenn" boten und die für die sozialwissenschaftlichen Re-Konstruktionsversuche überaus wichtige Orientierungspunkte bieten, die es zu nutzen gilt.

II. DIE ORGANISATION VON GENESEPROZESSEN IM VERBRENNUNGSMOTORENBAU: DER DIESELMOTOR

4. Auftakt in Wolfsburg 1988: Die Zukunft der Automobilindustrie als inszenierte Innovationsfähigkeit und kalkulierte Beharrung

In diesem Abschnitt werden wir nun auf die aktuelle Bedeutung der im zweiten Kapitel ausführlich vorgestellten Kategorie "Stand der Technik" zurückkommen und daran anknüpfend den historischen Zugang zum Thema begründen. Den Mittelpunkt bildet dabei die Herausarbeitung eines Argumentationsmusters der Automobilindustrie, das besagt, daß nur mit einer konsequenten Fortschreibung der konventionellen Motortypen auch die zukünftigen Anforderungsprofile, die an das Automobil gestellt werden, technisch zu bewältigen sein werden. Die Möglichkeit des Durchbruchs alternativer Lösungen wird kollektiv ausgeschlossen und mit Verweis auf den hohen Reifegrad eben dieses "Standes der Technik" begründet. Daß der von Automobil- und Motorenindustrie so herausgehobene Wissensstand aber gerade im Dieselmotorenbau durchaus seine "Tücken" hat und dahinter vielleicht mehr die Pflege von "Anschlußzwängen" versteckt sein könnte, wird Gegenstand der Erörterungen in diesem Kapitel sein. Damit läßt sich auch über die Krise des bisherigen Erfolgsmodells technischer Entwicklungen spekulieren und historische Wurzeln, Bedingungen und Voraussetzungen für den institutionalisierten "Konsolidierungskonsens" ins Blickfeld rücken, denn in diesen Diskursen wird darüber Einigkeit erzielt, welche technischen Parameter für eine weitere Entwicklung geöffnet werden, welchen Erkenntnisstand es festzuschreiben gilt und welche Chancen alternativen technischen Optionen in der Automobilindustrie eingeräumt werden.

Das Dilemma der heutigen Motorenforschung

Im November 1988 traf sich die "Gesellschaft Fahrzeugtechnik" des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) in Wolfsburg, um über die "Zukunft des Dieselmotors" zu tagen. Im selben Jahr fand sich unter der Führung des Volkswagenkonzerns ein internationales Forschungs-

team - beteiligt sind Hochschulinstitute des In- und Auslands, Automobilhersteller wie Fiat, Renault, Peugeot und Volvo - zur "International Diesel European Action" (IDEA) zusammen, um einmal ganz grundsätzlich über die Verbrennungsvorgänge im Dieselmotor nachzudenken. Die Kommission der Europäischen Gemeinschaft unterstützt dieses zunächst bis 1992 befristete Projekt zusammen mit der Automobilindustrie durch die Bereitsstellung von immerhin 16 Mio. DM (FR, 13.1.1990: M13). Weitere Konferenzen und Kongresse werden organisiert und Projekte gestartet. Verlieft die Entwicklung des Fahrzeugdiesels bislang - nur unterbrochen von hektischer Betriebssamkeit während der "Ölkrise" Mitte der 70er Jahre - in vergleichsweise sehr ruhigem Fahrwasser, setzte in den letzten Jahren ein regelrechter Schub an Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten ein. Dies scheint allerdings auch dringend notwendig, wenn man sich die kritischen Kommentare der jüngsten Zeit über die möglichen Gesundheitsrisiken der Deselemissionen vergegenwärtigt (vgl. Haße, 1990: 5ff.). Während der Diesel noch vor wenigen Jahren als besonders sparsame und damit auch vergleichsweise umweltschonende Antriebs-technik galt, hat sich sein Image inzwischen grundlegend gewandelt. Im Mittelpunkt der Kritik stehen neuerdings vor allem die sehr hohen Stickoxide und Rußpartikel in den Schadstoffen. Die an die Rußpartikel angelagerten "Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffe" (PAH) gelten sogar als krebserregend. Ruß setzt sich aus unverbranntem Dieselmotorkraftstoff und Schmieröl zusammen und entsteht insbesondere bei einer unvollständigen Verbrennung im Zylinder, während die Stickoxide (NO_x), ein Sammelbegriff für Stickstoff/Sauerstoffverbindungen, als starke Blutgifte bekannt sind, die sich bei sehr hohen Verbrennungstemperaturen und einem "Luftüberschuß" während des Verbrennungsvorgangs bilden. Der für den Ottomotor typische Ausstoß von hochgiftigem Kohlenmonoxid (CO), das sich bei ausreichendem Sauerstoff nach wenigen Stunden zum zwar ungiftigen, aber als ein Verursacher des Treibhauseffektes geltenden Kohlendioxid (CO_2) umwandelt, entsteht allerdings bei der dieselmotorischen Verbrennung kaum (vgl. Elberth u.a., 1989: 58).

Da aber selbst Autokäufer in Sachen Umwelt sensibler geworden sind, stagnierten die Zulassungszahlen für dieselmotorisierte Pkw seit Mitte der 80er Jahre und sind in den letzten Jahren sogar sehr stark rückläufig. "Für die Dieselmotorenindustrie ist daraus jedoch klar ab-

zuleiten" - stellte ein Stuttgarter Ingenieur fest -, "der sichtbare Dieselauch muß verschwinden, denn dann verschwindet auch die unsachliche Diskussion" (Straubel, 1988: 36). Aber so leicht war selbst die bescheidene Rußpartikelreduzierung nicht zu erreichen. In hektischer Betriebsamkeit griff man zwar zunächst auf die klassischen "end-of-pipe"-Maßnahmen zurück, wurde aber mit unerwarteten Problemen konfrontiert. Wegen "Haltbarkeitsproblemen" im "Feld" mußte deshalb der Einsatz von Rußfiltern auf dem Markt wieder gestoppt werden. Unter diesen Umständen erst sah sich die Automobilindustrie gezwungen, sich "mit großem Einsatz um die Verbesserung des dieselmotorischen Verbrennungsvorganges (zu) bemühen" (Peter, 1989: 254).

Während die staatliche Regulierungspolitik voll und ganz zur kontinuierlichen Herabsetzung des Energieverbrauches im Straßenverkehr sowie zur Reduzierung des Schadstoffausstosses auf die "freiwilligen Vereinbarungen der Automobilindustrie" (zit. nach Seifried, 1990: 75) setzt, stellt sich in der Tat aber die Frage, ob die Unternehmen in ihrem beharrlichen Festhalten an eingeschlagenen Entwicklungspfaden überhaupt noch reformfähig bzw. reformwillig sind. Befragt nach den kommenden Entwicklungswegen, demonstrieren die führenden Entwicklungschefs eine überraschend große Übereinstimmung. Von der "gereiften" und "bewährten" Technik werden bei den zu erwartenden Auseinandersetzungen die günstigsten Voraussetzungen für die kommenden Aufgaben erwartet; darin sind sich alle Hersteller einig, wobei weniger die hohe Übereinkunft überrascht als vielmehr der rigide Ausschlußcharakter der Begründungsmuster. Eine Auswahl:

"Die Motoren werden weiterhin Otto- und Diesel-Hubkolbenmotoren sein, mit nochmals verringerten Verbrauchs- und Abgaswerten (Stockmar, Audi AG, zit. nach FR/Beilage, 1989: 3).

"Der Vorteil der Verwendung von Hochtechnologie und Weiterentwicklung bestehender Systeme gegenüber "Alternativen" ist, daß man auf Bestehendem aufbauen kann und - meistens - mit der vorhandenen Infrastruktur weiterleben kann", so ein leitender Forschungsingenieur der BMW AG (Kraft, 1989: 63).

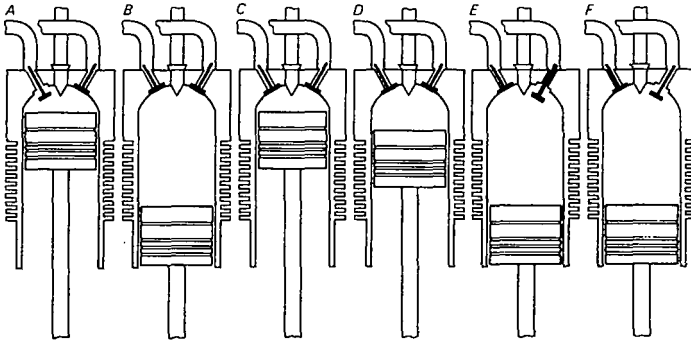
"Die Summe aller Vorteile von noch nicht in Serie befindlichen Antrieben wird nicht ausreichen, deren Nachteile zu kompensieren und

den fast 110 Jahre gereiften Hubkolbenmotor zu gefährden, viel weniger noch abzulösen" (Breuer, 1986: 680).

"Wer heute ein Ende des Dieselmotors prophezeit, ist ein Phantast. Der Dieselmotor ist in meinen Augen nahezu perfekt. Man kann noch etwas bei der Abgasentgiftung tun - aber das ist schon alles" (Karl Rabus, Steyr-Daimler-Puch, zit. nach Hütten, 1988: 470).

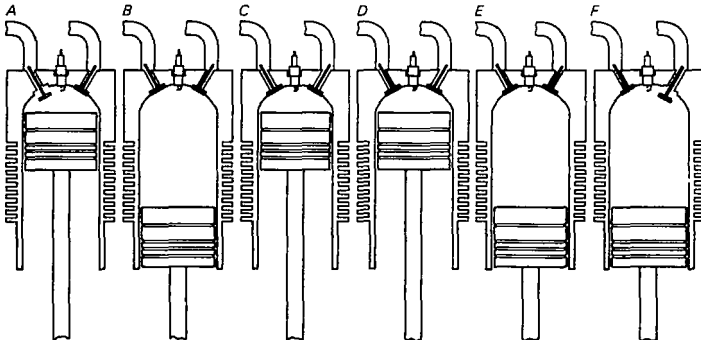
Man gewinnt den Eindruck, daß hier ein Konsens neu "beschwört" werden muß, der ganz offenbar durch die gestiegenen Anforderungen aufzubrechen droht, denn "hinter den Kulissen" stellen sich die Probleme mit den bestehenden motortechnischen Verbrennungsverfahren wesentlich schärfer als es die zuversichtlich klingenden Ausführungen der Industrie Glauben machen. Denn gerade vom "herrschenden Stand der Technik" ausgehend steckt die Dieselmotorentechnik in einem regelrechten Dilemma. Die angestrebte rußfreie oder doch zumindestens rußarme Verbrennung setzt eine gute Durchmischung von Luft und Brennstoff voraus. Im Gegensatz zur ottomotorischen Verbrennung, bei der schon während des Ansaugvorgangs Luft und Brennstoff zusammengeführt werden ("äußere Gemischbildung"), bleibt für diesen Vorgang beim Dieselmotor nur sehr wenig Zeit, da hier zunächst lediglich Luft angesaugt und erst am Ende des Verdichtungshubes der Brennstoff in die heiße Luft eingespritzt wird ("innere Gemischbildung").

Abb. 1: Schematische Darstellung der Arbeitsweise von Diesel- und Ottomotor



Das Arbeitsspiel beim Dieselmotor. Beim Ansaugen (von A nach B) strömt nur Luft in den Zylinder, die bis zum Einspritzen des Treibstoffs am Punkt C verdichtet wird. Nach der Selbstzündung brennt das Gasgemisch, während sich der Kolben nach außen zurückzieht. Am Punkt D wird die Expansion der verbrannten Gase adiabatisch,

und, der Arbeitstakt bringt den Kolben zum unteren Totpunkt E. Jetzt öffnet sich das Auslassventil, das Wärme von den aus strömenden Abgasen aufnimmt. In der Brennkammer sinken Druck und Temperatur (F), noch bevor die Gase im Schritt von F nach A ausgeschoben werden.



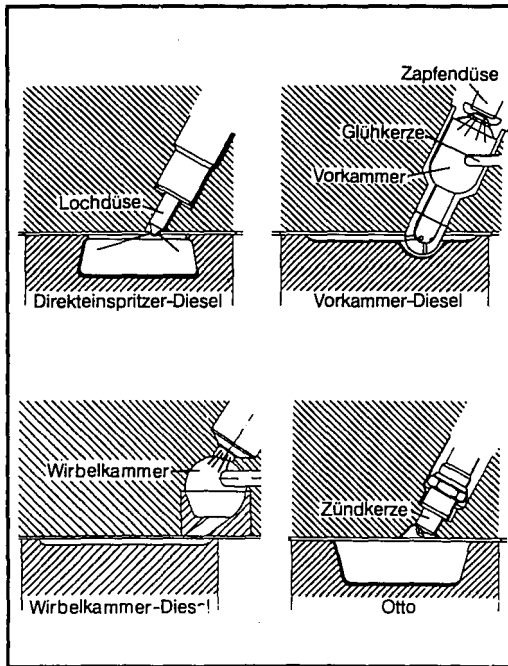
Das Arbeitsspiel beim Ottomotor. Zunächst wird das Luft-Kraftstoff-Gemisch angesaugt, während sich der Kolben von A nach B bewegt. Im Schritt von B nach C wird das Gemisch verdichtet und schließlich bei C gezündet. Temperatur und Druck steigen durch

die Verbrennung an, bis D erreicht ist. Beim Arbeitshub von D nach E dehnen sich die verbrannten Gase adiabatisch aus, bis sich das Auslassventil am Punkt F öffnet und in der Brennkammer Druck und Temperatur wieder auf ihre Anfangswerte sinken.

Quelle: Atkins, 1984: 81, 83

Zur Verbesserung dieser mißlichen Situation werden im "Stand der Technik" zur Zeit nur noch zwei Lösungsmöglichkeiten angeboten. Zum einen kann man bei Kammermotoren sogenannte "Drallbewegungen" erzeugen, die Luft und Brennstoff durch einen zerklüfteten Brennraum und baulich geänderte Einlaßkanäle schon vorher durcheinanderwirbeln und eine bessere Durchmischung der beiden Komponenten erreicht; die damit größere spezifische Oberfläche des Brennraums führt jedoch zu einer schlechteren Wärmeausnutzung und erhöht den für Dieselmotoren so wichtigen Kraftstoffverbrauch. Die andere Möglichkeit besteht darin, den Brennstoff durch eine Einspritzdüse unter sehr hohem Druck und mit Unterstützung einiger geänderter geometrischer Randbedingungen in den Brennraum zu spritzen. Die erreichte gute Verwirblung wird hier zwar nicht durch höheren Brennstoffverbrauch erkauft, ganz im Gegenteil: Die Verbrauchswerte liegen bei Direkteinspritzung sehr günstig, sie führen aber wegen der extrem hohen Verbrennungstemperaturen zu einer stärkeren Bildung von Stickoxiden und verursachen zusätzlich ein höheres Verbrenungsgeräusch (vgl. Pischinger/Schulte/Jansen, 1988: 78ff).

Abb. 2: Brennverfahren moderner Dieselmotoren



Quelle: Umweltprobleme, ..., 1990: 33

Im Ergebnis blieben die Maßnahmen allesamt in ihren Wirkungen begrenzt: "Beim heutigen Stand der Technik läßt sich die Partikelemission bei häufigen Beschleunigungen und Verzögerungsvorgängen nicht mehr nennenswert reduzieren" und zukünftig daher verstärkt den Einsatz von Filtertechniken erwarten (Pyper, 1990: 6).

Die Vorteile, die man sich in der Automobilindustrie gerade durch die Verwendung bekannter Bauformen verspricht, drohen angesichts der enormen Umweltprobleme die Forschungen also durch selbstgebaute Sachzwänge eher in eine Sackgasse zu führen. Es erscheint möglich, daß man im Vertrauen auf den Erfahrungs- und Erkenntnisvorsprung des klassischen Hubkolbenmotors möglicherweise grundlegende Prinzipien des Verbrennungsmotorenbaus erst gar nicht mehr

zur Disposition stellt und mit der Ausweisung dieser "versiegelten" Wissensbestände im "herrschenden Stand der Technik" eine Art Denkmalschutz betreibt. Als vor mittlerweile über 100 Jahren die ersten Autobauer sich aus den besonderen Bedingungen jener Zeit heraus für den Hubkolbenmotor entschieden und in ihre kutschenähnlichen Fahrzeuge montierten, wurde der Verbrennungsmotor dadurch zwar ortsbeweglich, es änderte sich aber auch sein ganzer Betriebscharakter. Obwohl ursprünglich dafür gar nicht vorgesehen, wurden dieser Technik nun plötzlich heftig wechselnde Antriebsleistungen bei unterschiedlichsten Drehzahlen abverlangt. Und erst eine Reihe von "technischen Krücken ermöglichte ihm das Laufen in einem Auto" (Linser, 1977: 97). Bei der Konstruktion war "man der Dampfmaschine treu (geblieben), nahm die Kurbelwelle und das immer größer und lauter werdende Hammerwerk der Ventile in Kauf, um den kompakten Ort der Verbrennung zu behalten. Doch alle Maßnahmen zur Verbrauchsminderung haben den Hubkolbenmotor nur komplizierter und teurer gemacht" (Elbert u.a., 1989: 105). "Der Hubkolbenmotor ist eine höchst unnatürliche Bauart, bei ihm wird der Kolben hin- und herbewegt, d.h. immer wieder abgebremst, zum Stillstand gebracht und in der entgegengesetzten Richtung beschleunigt" (Bensinger, 1970: 11). Mit der Konservierung des Viertakt-Hubkolbenmotors im Automobilbau wurden damit auch dessen typische technische Mängel erhalten, gepflegt und in der Anwendung "kultiviert": Nicht nur, daß der Verbrennungsmotor allein gar nicht starten kann, sondern dafür immer eine externe Kraftquelle benötigt, diese Antriebstechnik gibt ihre Leistungsfähigkeit nur sehr "sprunghaft" ab. Weil das Arbeitsmedium Gas ja immer wieder neu zusammengestellt, gemischt und verbrannt wird, kann auch der durch diese Verbrennung entwickelte Druck nicht kontinuierlich und mit höherer Drehzahl ständig steigend auf die Antriebswelle der Räder abgegeben werden, sondern benötigt einen "Drehmomentwandler" (Getriebe), der eine kontinuierliche Kraftentfaltung simuliert, aber auch nicht verhindert, daß mit höherer Drehzahl immer weniger "Druck" entwickelt wird. Das heißt, daß immer nur in einem sehr schmalen Drehzahlbereich maximale Leistungen bei optimalem Brennstoffverbrauch erreicht werden. Konstruktive Maßnahmen für eine optimierte Verbrennung, wie Aufladung oder günstigerer Ventilquerschnitt, sind in ihrer Wirkung auf diesen kleinen Bereich zugeschnitten und drohen, sich bei anderen Drehzahlberei-

reichen sogar negativ bemerkbar zu machen. Angesichts dieser grundlegenden Mängel "erscheinen alle Maßnahmen, die bislang - erfolgreich - für bessere Verbrennung und Kraftstoffnutzung getroffen wurden, fast wie Hilfsmittel, um das in ökologisch-sozialen Umweltdruck geratene Auto attraktiv zu halten" (G. Hack, 1987: 134).

Durch diese doch großen technischen Mängel der bislang gepflegten Entwicklungslinie und angesichts der komplexer werdenden Anforderungen an zukünftige Antriebssysteme steht die Automobilindustrie unter Legitimationsdruck, der aber offensichtlich noch nicht so groß ist, daß man bereit wäre, die bisherige Grundsatzentscheidung für den klassischen Verbrennungsmotor zu revidieren - und damit unkalkulierbare ökonomische Probleme einzugehen.

Diese Umstände bestimmen auch den regelrecht "gepflegten" Umgang mit alternativen Lösungsmöglichkeiten, über dessen Entwicklungspotential die Autoindustrie mit Argusaugen wacht, um wie bisher diese Optionen unter eigener Regie zu entwickeln und zu testen, um jederzeit über die technische "Definitionsmacht" bei der Beurteilung von Chancen und Marktreife zu verfügen. Elektromotor, Verbrennungsturbine, Stirlingmotor sind einige dieser unkonventionellen Antriebssysteme, die aber auch nach mehreren Entwicklungsgenerationen "das Experimentierstadium noch nicht verlassen (haben)" (Hütten, 1988: 470). Der Elektroantrieb scheint überhaupt dazu ausserkoren zu sein, als Dauer-Alternative zum Ottomotor in die Annalen einzugehen, nur um "richtige" Entscheidungen begründen zu helfen: "Das Elektrofahrzeug wird immer eine Sache für Marktnischen sein, was aber nicht bedeutet, daß man am Elektroauto nicht weiterentwickeln sollte. Denn es ist sicherlich eine interessante technische Option, die gepflegt werden sollte..."(!) (Legat, zit. nach SZ, 1989: 35). Der Umgang der Automobilindustrie mit alternativen Antriebskonzepten muß Verdacht erregen und provoziert zur Vermutung, daß die Unternehmen - wie v. Randow formulierte - "technische Alternativen nicht unbedingt deswegen (entwickeln), um sie bald einzuführen" (v. Randow, 1989: 54). Auch bei den jüngst wieder ins Gespräch gekommenen "Hybridmotoren", zumeist eine Kombination aus konventionellen Otto- oder Dieselmotoren und einem elektrischen Antriebssystem, hat man den Eindruck, daß beispielsweise der "Audi Duo", ein erster in geringer Stückzahl produzierter Testwagen, mehr aus Demonstrationszwecken für die Darstellung der technischen Probleme dieses neuen

Antriebskonzeptes als aus Interesse an der Einführung dieser konstruktiven Optionen in die Praxis gedacht ist. Aus Standardkomponenten zusammengebaut schleicht der Wagen mit Elektroantrieb eher durch den Stadtverkehr und wird mit einer maximalen Höchstgeschwindigkeit von 52 km/h bei zügiger Verkehrsführung eher zum Verkehrshindernis. Soll es auf die Autobahn gehen, muß erst der E-Motor ausgeschaltet und der konventionelle Verbrennungsmotor gezündet werden, umständlich und eher dazu angetan, die schon vorhandenen Vorbehalte weiter zu schüren. "Mechanische Orgien" werden da gefeiert, meinen zumindest die wenigen noch verbliebenen konzernunabhängigen Motorfachleute und verweisen auf andere Lösungsmöglichkeiten, die aber - wir kennen das Argument bereits - erst noch ausreifen müssen (vgl. v. Randow, 1990a: 82).

Eine solche Kultivierung traditioneller Technik mag überraschen, ging man doch wie selbstverständlich davon aus, daß gerade die Automobilindustrie angesichts der Eingebundenheit in den internationalen Wettbewerb von der Spitze des Fortschritts aus agiert und über entsprechend gut ausgestattete "interne Innovationsarsenale" verfügt (vgl. Jürgens/Malsch/Dose, 1989: 2). Die Automobilkonzerne gelten gemeinhin als Nutzer modernster Produktionstechniken, insbesondere der Einsatz der Mikroelektronik und der Handhabungstechnik wird gerne am Beispiel der Automobilindustrie illustriert (vgl. Revermann/Sonntag, 1987: 118ff.). Dies könnte immerhin zu der Schlußfolgerung verleiten, wenigstens alle rein technischen Probleme um den Pkw wären, wenn schon nicht gänzlich bereinigt, so doch in kompetenten Händen. "Die öffentliche Kritik macht deshalb abrupt dort halt, wo es um rein technische Belange geht". "Es gibt keinen anderen Industriezweig ähnlicher Bedeutung, der so weitgehend zu wirklichen Neuerungen unfähig ist und sich trotzdem selber oder über eine sogenannte Fachpresse als Wegbereiter modernster Technologie darzubieten versteht, wie die Pkw-Industrie" (Linser, 1977: 7; 15).

Politik der Sachzwänge: der Öko-Polo

Die der Automobilindustrie so gern zugeschriebene Innovationsfähigkeit ist daher möglicherweise mehr auf die produktionstechnischen und fabrikorganisatorischen Voraussetzungen als auf das Produkt Automobil selbst konzentriert. Die Münchner "Studiengruppe für

Biologie und Umwelt" kam in einer Forschungsarbeit zum Thema "Entwicklungsmöglichkeiten eines Unternehmens der Automobilindustrie unter einer funktionsorientierten Unternehmensstrategie" zu dem Ergebnis, daß es sich bei dem heutigen Automobil um ein "überaltertes Konzept" handelt, das durch "seine rein lineare Weiterentwicklung in einer Sackgasse gelandet" ist (vgl. FR/Beilage, 1989: 3). "Das Nachfolgemodell eines Autos ist immer größer, stärker und schneller", kritisierte der ehemalige Literaturwissenschaftler und Chef der deutschen Ford-Werke Goeudevert das Fortschrittsverständnis der Automobilbauer. "Es bietet mehr Technik, mehr Ventile und mehr PS, mehr von allem. Aber ist es wirklich automobiler Fortschritt, wenn wir heute Familienlimousinen auf die Straße schicken, die so schnell sind wie die Rennwagen der sechziger Jahre?" (Der Spiegel, 5/1989: 99). "Die Paradoxie der Automobilkonzerne besteht" darin, "mit Vollgas auf der Basis einer vorhandenen Produktstruktur die Produktion umstrukturieren zu müssen, ohne Zeitpunkt, Art und Qualität eines Richtungswechsels voraussehen zu können" und, daß daher dieser "Produktivitätssendspurt auf die Optimierung der alten Produkt- und Marktlogik" konzentriert bleibt (Muster, 1989: 59).

Blicken wir daher - so weit dies überhaupt möglich ist - einmal etwas genauer in die Forschungsarbeit der Automobilindustrie hinein und begleiten einige der Entstehungsetappen eines als allgemein sehr fortschrittlich geltenden Projektes: den mit Mitteln des Bundesministers für Forschung und Technologie (BMFT) und der Berliner Senatsverwaltung für Wissenschaft und Forschung geförderten "Öko-Polo" des Volkswagenkonzerns (vgl. SZ, 1989: 35f.), einem den ökologischen und ökonomischen Ansprüchen gleichermaßen genügenden Kompakt-Pkw der 90er Jahre. Wir lassen uns von den Projektmitarbeitern die ersten Planungsschritte erläutern (vgl. Wiedemann/Willmann/Scher, 1988: 137ff.) und verfolgen zunächst, wie die allgemeinen Zielformulierungen

- extrem niedriger Kraftstoffverbrauch
- schadstoffarm
- extrem niedriges Außengeräusch
- mit technische Anforderungen wie
- akzeptable Fahrleistung
- Einbau in ein Kompaktfahrzeug mit geeigneter Abmessung

kombiniert werden, die durchaus als anspruchsvolles Ziel gelten können und die auch noch keine Präjudizierung für eine bestimmte technische Entwicklungslinie vermuten lassen. Wir werden aber dennoch beobachten können, wie am Ende eine zwar neu kombinierte, aber in ihren Grundbausteinen dennoch sehr konventionelle Lösung herauskommen wird.

Eine erste Selektionsstufe entscheidet über die Auswahl des Antriebskonzeptes. Hierbei werden selbstverständlich auch unkonventionelle Antriebstechniken in Betracht gezogen, die sich beispielsweise in der Art der Erzeugung und Speicherung von Energie von den eingeführten Maschinentypen unterscheiden. Doch halten alle mechanischen, hydraulisch-pneumatischen und elektrischen Lösungsvarianten dem Selektionskriterium - "Restriktion I" genannt - nicht stand: Gefordert wird bei dieser ersten Hürde nämlich eine sogenannte Energiedichte des Brennstoffs von mindestens 30 Megajoule (MJ) pro Kilogramm, ein Wert, der offensichtlich von der überaus engen Orientierung am heutigen Standard der Serienautos diktiert wurde. Übrig bleibt da nur die mit solchen Meßwerten erfaßbare und in flüssigen, festen oder gasförmigen Medien gebundene chemische Energie, die durch Verbrennung in mechanische Energie umgewandelt werden muß (vgl. Gulia, 1986: 9ff.). Wir sind also schon wieder auf der Entwicklungsbahn der "klassischen" Wärmekraftmaschine angekommen. Ganz zufällig hat zudem das konventionelle Benzin eine Energiedichte von 31,17 MJ, während die zur Zeit der Projektierung sehr populären Alternativkraftstoffe wie Ethanol (21,08 MJ) oder Methanol (15,56 MJ) in ihrem Heizwert deutlich unter dem festgelegten Wert liegen.

Aber selbst nach dieser Entscheidung sind noch sehr unterschiedliche Typen von Wärmekraftmaschinen denkbar, bis mit der "Restriktion II" eine weitere Selektionsstufe zwischengeschaltet wird: Der "derzeitige Entwicklungsstand" muß eine serienmäßige Verfügbarkeit Ende der 80er Jahre gewährleisten. Legt man dieses Auswahlkriterium zugrunde, kommen ja überhaupt nur noch Antriebssysteme mit einem relativ hohen Entwicklungsstand in Frage. "Vom heutigen Stand der Technik können nur die Verdrängermaschinen mit innerer, zyklischer Verbrennung die Anforderungen für den Einsatz im Kompakt-Pkw befriedigend erfüllen", faßt eine betriebsinterne Studie des VW-Konzerns Ergebnisse aus dem Jahre 1976 zusammen, die als

Entscheidungsgrundlage für die Auswahl der Motoroption Verwendung findet. Bei diesem Typ von Verdrängermaschine handelt es sich - die Prognose der führenden Forschungsleiter der Automobilindustrie war richtig - um den klassischen Hubkolbenmotor. Diese überaus strenge Vorgabe der Wolfsburger Konzernzentrale verwundert nicht zuletzt deshalb, weil auch zu Beginn der 90er Jahre der "Öko-Polo" weit von einem Serieneinsatz entfernt ist und selbst bei VW auch weiterhin als Forschungsprojekt gehandelt wird (SZ, 1989: 34ff.). Die unkonventionellen Optionen, Motortypen mit innerer kontinuierlicher Verbrennung (Axialkolbenmotor) und Maschinen mit äußerer kontinuierlicher Verbrennung (Stirlingmotor), die schon seit langer Zeit als Alternativen zum heutigen Kolbenmotor gehandelt werden, fanden keine Berücksichtigung, weil "deren derzeitiger Entwicklungsstand eine serienmäßige Anwendbarkeit Ende der 80er Jahre fraglich erscheinen läßt" (Wiedemann/Willmann/Scher, 1988: 143). Die schließlich getroffene Entscheidung kann nicht mehr überraschen: "Somit stellt das konventionelle Hubkolben-Triebwerk, ausgeführt als Kurbelantrieb, auch künftig das aussichtsreichste System für Fahrzeug-Verbrennungsmotoren dar" (Wiedemann/Willmann/Scher, 1988: 143).

Ein mit öffentlichen Mitteln gefördertes Forschungsvorhaben für ein Automobilkonzept der Zukunft wird unter der Entwicklungsregie der Automobilindustrie mittels einer geschickt gewählten Begründungsfigur und einer sehr instrumentellen Verwendung von Zeithorizonten in ein konventionelles Konstruktionsprinzip übersetzt und im "Stand der Technik" abgesichert. Ein Zeitpunkt wird definiert, bis zu dem die Entwicklung einer den gestiegenen Umweltanforderungen gerecht werdenden Antriebslösung für Kompaktpersonenkraftwagen abgeschlossen sein soll. Daraufhin durchforstet man unkonventionelle Lösungen, vergleicht diese mit den Optionen bereits bewährter Techniken und kommt zu dem Entschluß, daß der Entwicklungsvorsprung, insbesondere die serienmäßige Verfügbarkeit zum gewünschten Zeitpunkt, von den konventionellen Techniken viel wahrscheinlicher anzunehmen ist. Für die Prognose, daß der ausgewählte konventionelle Typ nun auch für die weitere Zukunft die besten Entwicklungsaussichten bieten wird, braucht man in der Tat dann kein Prophet mehr zu sein. Die "Daumenschrauben", die man den verschiedenen Optionen zu Beginn des Auswahlprozesses angelegt hatte, können nach dem Eliminierungsprozeß wieder abgeschraubt und die strengen und zeit-

lich äußerst restriktiven Entwicklungsanforderungen gelockert werden. Damit war es gelungen, auch ein Forschungsprojekt mit solch anspruchsvollen Zielen in den sicheren Kontext bewährter technischer Entwicklungslinien zu stellen und den bisherigen "Konsolidierungskonsens" erneut zu bestätigen.

Allerdings blieb selbst auf dieser Ebene immer noch eine Entscheidung zu treffen und zwischen den zwei noch im "Stand der Technik" verfügbaren Arbeitsverfahren auszuwählen. Man entschied sich hier "besonders im Hinblick auf extrem niedrigen Kraftstoffverbrauch aus heutiger Sicht" für das Dieselpinzip (Wiedemann/Willmann/Scher, 1988: 140). Ist selbst diese Entscheidung nicht eben als besonders reformfreudig zu werten, denn die dieselmotorische Verbrennung ist nach einem langen Dornröschenschlaf in den Forschungsabteilungen der Automobilunternehmen mittlerweile populär (vgl. Hütten, 1988: 434ff.), bleibt letztlich die Auswahl des Brennverfahrens übrig. Wir hörten weiter oben bereits von dem Problem, daß im Unterschied zur ottomotorischen Verbrennung beim Dieselmotor die Gemischbildung und Verbrennung im Zylinder stattfindet, ein aus der Perspektive der Technischen Thermodynamik günstigerer Zustand, der Aussichten auf höhere thermische Wirkungsgrade verspricht, aber einige konstruktive Kunstgriffe erfordert, wenn man die von den verbreiteten Ottomotoren gesetzten Standards technischer Eigenschaften anerkennt und erreichen möchte. Der im "Stand der Technik" repräsentierte Konsolidierungskonsens gruppiert sich in den frühen 70er Jahren um die sogenannte "Wirbelkammer" (mit Ausnahme von Daimler-Benz, das als einziges Unternehmen nach wie vor eine etwas andere Konstruktionsform, eine "Vorkammer" nutzt), einen vom Hauptverbrennungsraum abgeteilten, gesonderten kleineren Brennraum, in dem bereits während des Verdichtungstaktes die Gemischbildung und der Verbrennungsprozeß mit der Konsequenz einsetzt, daß die Verbrennung schichtweise und damit "weicher" und den ottomotorischen Vorgaben gemäß angepaßter verläuft.

Doch die im "herrschenden Stand der Technik" festgeschriebenen Zuteilungen werden in dieser motortechnischen Konstruktionsfrage des "Öko-Polo" erstmals mißachtet und stattdessen wird auf ein bislang für den Schwerlastverkehr reserviertes Verfahren der Diesel-Verbrennung zurückgegriffen. Mit dieser Entscheidung haben wir einen "innovatorischen Kern" im Antriebskonzept des Öko-Polo frei-

gelegt, mit dem wir uns aber wieder mitten im Dilemma der modernen Verbrennungsmotorenforschung befinden. Das für den Einsatz letztendlich ausgewählte "luftverteilende DI-(direkt injection)Verfahren" ermöglicht zwar gegenüber den herkömmlichen Kammernmotoren einen Verbrauchsvorteil von ca. 15 % in den relevanten Testzyklen für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge, bei einem aber immerhin schon um ca. 3-5 dB(A) höheren Verbrennungsgeräuschpegel und deutlich höheren NO_x -Rohemissionen gegenüber dem Wirbelkammernverfahren. Dennoch wird entschieden, "trotz der genannten Nachteile" dieser technischen Lösung, daß hier die "besten Voraussetzungen zur Zielerfüllung" vorliegen, weil nämlich durch eine Kombination sogenannter Primär- und Sekundärmaßnahmen die Probleme gelöst werden könnten (Wiedemann/Willmann/Scher, 1988: 140). Das technische Ergebnis, ein 2-Zylinder-DI-Dieselmotor mit mechanischer Aufladung, zeigte darüber hinaus erstaunliche Ähnlichkeit mit einem schon 1981 vom gleichen Konzern vorgestellten Forschungsprojekt, dem "VW 2000" (vgl. Hütten, 1988: 254) und nährt den Verdacht, daß im Hause VW eine "Forschungs- und Entwicklungskultur" existiert, die über ein sehr stabiles Verständnis darüber verfügt, in welcher Kombination die Möglichkeiten des "Standes der Technik" für unternehmensspezifische Innovationsprojekte zu verwenden sind und aufwendige Begründungsverfahren lediglich als externe Rationalitätsnachweise betrieben werden.

Im Ergebnis jedenfalls bewegte man sich weiter in gesicherten Konstruktionsbahnen, griff lediglich auf ein bislang in Lastkraftwagen "überwintertes" Diesel-Verbrennungsverfahren zurück und mußte damit nicht um die grundsätzliche Funktionstüchtigkeit fürchten. Lediglich die bisherige "Zuordnungsregel" wurde mißachtet und ließ gewisse Passungsprobleme beim Transfer des DI-Verfahrens auf neue Nutzungsfelder erwarten. Offensichtlich sah man sich auch hier nicht in der Lage, gleichzeitig mehrere Parameter in der Entwicklungsarbeit zu "öffnen" und verschiedene Problempakete zu bearbeiten und favorisierte mehr das "serielle Problemverarbeitungsmuster", das möglicherweise aber auch in eine Sachzwangfalle führen kann. Die gewünschte konstruktive Sicherheit bedeutete nicht nur eine Verminderung des Risikos, sondern auch die Fortschreibung alter, vielleicht für neue Verwendungskontexte untauglicher Verfahren, die nunmehr durch ein ganzes Paket von "end-of-pipe"-Maßnahmen sozusagen "neu-

tralisiert" werden müssen. Mit der Abgasrückführung zur Absenkung des NO_x -Anteils sowie des Einbaus eines Partikelfilters war man daher erneut auf "technische Krücken" angewiesen, um letztlich wenigstens den "fortschrittlich" niedrigen Kraftstoffverbrauch zu erreichen.

Es muß vermutet werden, daß durch die Festschreibung von Entwicklungsparametern mittels einer überaus starken Orientierung an die im "Stand der Technik" institutionalisierten Wissensbestände und Konstruktionsrichtlinien - gerade angesichts der bereits existierenden und sich wahrscheinlich noch verschärfenden umweltpolitischen Auflagen - für die steigenden Erwartungen an eine "verträglichere" Entwicklung der Automobiltechnik der Satz an technischen Möglichkeiten zu klein geworden ist. Und vielleicht steht sich die Autoindustrie gerade mit dem akkumulierten und abgesicherten Wissensstand "selbst im Wege". "Trotz grundsätzlicher Vorteile kann sich eine vom Prinzip her bessere Lösung gegenüber anderen nicht behaupten, weil letztere mit großem Aufwand zu hoher Vervollkommenheit gebracht worden sind", mutmaßt man selbst in Ingenieurkreisen (Zima, 1987: 361). Man kann diese Überlegungen aber noch einen Schritt weiter treiben: Möglicherweise ist gar das bisherige "Erfolgsmodell" des Automobilbaus, das "serielle Problemverarbeitungsmuster", das externe Anforderungen immer nacheinander unter Sicherung und Wahrung erreichter Wissensbestände und Fabrikationsordnungen bearbeitet hat, durch komplexer werdende Anforderungsprofile in eine Krise geraten.

Wir befinden uns mit dieser Spekulation in guter Gesellschaft, denn die eingangs schon erwähnte Tagung zur "Zukunft des Dieselmotors" wurde mit einem Referat eines erfahrenen Entwicklungsingenieurs eingeleitet, der dafür plädierte, sich in der früheren "Gedankenwelt umzuschauen", um "interessante Ideen" aufzugreifen, die "heute vergessen worden sind" (Meurer, 1988: 2). Der ebenfalls schon erwähnte neue Forschungsverbund "IDEA" ist explizit als ein Grundlagenforschungsverbund gegründet worden, um sich, losgelöst von den alltäglichen Anschlußzwängen, ganz grundlegend neuen Wegen der motorischen Verbrennung widmen zu können. Damit deutet sich unzweifelhaft selbst in der Fahrzeug- und Motorenforschung ein Nachdenken darüber an, ob die heute verwendeten Wissensbestände, die ja in ihren charakteristischen Merkmalen mittlerweile gut 100 Jahre alt sind, trotz aller ihnen angediehenen Pflege und Hege nicht doch einen zu schmalen Optionsausschnitt repräsentieren und

vielleicht doch vielmehr die zur Zeit ihrer Entstehung optimalen technischen und ökonomischen Bedingungen in sich tragen und für die aktuellen Anforderungsprofile zwar Sicherheit, diese aber in einem nur noch sehr schmalen "technischen Korridor" bieten. Immerhin befindet sich eine für den Verbrennungsmotorenbau unentbehrliche Subdisziplin, die Technische Thermodynamik, bereits mitten in einem solchen erkenntnistheoretischen Läuterungsprozeß. "Klassische Wissenschaftszweige" wie die Thermodynamik "haben sich wieder verjüngt und entdecken jenseits der Grenzen, die ihnen durch die theoretischen und kulturellen Bedingungen ihrer Entstehungszeit gezogen wurden, eine Fülle von bislang unerforschten Problemen" (Prigogine/Stengers, 1986: III). Das an den Problemen zukünftiger motortechnischer Entwicklungsprojekte erläuterte Dilemma der heutigen Automobilindustrie, ein technisches Erkenntnis- und Wissensreservoir zu verwalten und über die Konstruktion vielfältiger Anschlußzwänge institutionell festgeschrieben zu haben, werden wir in den folgenden Kapiteln am Beispiel des dieselmotorischen Antriebssystems weitergehend und im historischen Kontext untersuchen und damit möglicherweise auch einen klärenden Beitrag zu der Frage leisten können, ob auch im Verbrennungsmotorenbau ein ähnlicher "Verjüngungsprozeß", wie er sich für die Technische Thermodynamik ankündigt, zu erwarten ist oder ob sich der ökonomische und konstruktive Geist des ausgehenden 19. Jahrhunderts nicht doch irreversibel im Denken und Handeln eingeschrieben hat. Denn "es scheint überhaupt, wenigstens auf einige Zeit hinaus, das Schicksal des 20. Jahrhunderts werden zu sollen", mutmaßte Wilhelm Bredow schon um die Jahrhundertwende, "die großen Ideen zum vollen Ausleben zu gestalten, die sein Vorgänger noch vor seinem Hinscheiden, man möchte sagen zuletzt in überstürzter Eile, aufgeworfen hat" (Bredow, 1900: 8).

5. Die Dampfmaschine im Kopf: Thermodynamische Modellbildung als kognitive Grundformatierung des Kraftmaschinenbaus (1824-1890)

Die zentrale Rolle des als "Stand der Technik" bezeichneten Bestandes gemeinsam genutzter, "legitimer" Wissensbestände, die für bestimmte technische Felder als Perzeptionsmuster die technische Neu- und Weiterentwicklung strukturieren, führt uns nun zur Erörterung der Entstehungszusammenhänge eines solchen Orientierungsrahmens. Hierbei wird die Kolben-Dampfmaschine als eine Konstruktionslinie im Mittelpunkt stehen, deren Bedeutung weniger in ihrem praktischen Beitrag zur Energieversorgung zu suchen ist, als vielmehr in dem Umstand begründet liegt, daß sich um diesen Maschinentyp zuerst ein technik-wissenschaftlicher Forschungskontext mit gravierenden Folgen konstituierte. Die theoretische Konsolidierung dieser Mechanischen Wärmelehre stützte sich dabei auf die grundlegenden Konstruktionsprinzipien und Maschinenelemente, machte die Dampfmaschine zum technischen Bezugspunkt der universell gültigen "Thermodynamischen Hauptsätze", etablierte und stabilisierte damit nicht nur grundsätzlich den Typ der Wärmekraftmaschine, sondern auch ganz bestimmte konstruktive Merkmale in den technik-wissenschaftlichen Diskursen. Diese angebotene kognitive Strukturierungsleistung übte auch für den im Kontext der Verwissenschaftlichung der technischen Arbeit entstehenden Theoretischen Maschinenbau eine so große Anziehungskraft aus, daß man die von praktischen Problemen abstrahierende und zum geschlossenen Lehrgebäude erwachsene Technische Thermodynamik zu einem Grundpfeiler der Ingenieurausbildung promovierte, um die gewonnene kognitive Grundformatierung in einen Konsolidierungskonsens über technische Verfahren des Kraftmaschinenbaus überführen zu können. "Thermodynamics made essential contributions to the art of engine design at all levels. The key idea that heat is a form of energy convertible into another form of energy, work, and that there is a relation of numerical equivalence between heat and work, gave the engineer a new way of judging an engine by the amount of work it can do with a bushel of coal" (Bryant, 1973: 158). Vor diesem Hintergrund, daß Wärmekraftmaschinen in Forschung, Lehre und Praxis in einer zwar kritischen Grundhaltung, aber eben auch in einem dauernden Bezug zur Dampfmaschinentechnik des 19. Jahr-

hunderts etabliert wurden, sind auch die grundlegenden Konstruktionsentscheidungen des dieselmotorischen Antriebs einzuordnen und zu deuten.

Die Dampfmaschine

Als künstliche Kraftquelle hatte sich seit Mitte des 19. Jahrhunderts in Deutschland tatsächlich im wesentlichen nur die Kolben-Dampfmaschine etablieren können, deren Bedeutung aber im Vergleich zu den natürlichen Energiequellen lange Zeit sehr gering blieb. Nach einer Zählung des Statistischen Reichsamtes von 1886 waren überhaupt nur 3,64 % der Betriebe im Deutschen Reich motorisiert (= 109.422), davon nutzten

18.901	Windkraft	= 17,27 %
53.319	Wasserkraft	= 48,73 %
31.923	Dampfkraft	= 29,17 %
2.746	Heißluft- bzw. Gasmaschinen	= 2,5 %

(zit. nach Mauel, 1967, Anhang: 9).

Die Motorisierung der Betriebe war auch keineswegs so schnell fortgeschritten wie es die Metapher der Industriellen Revolution suggeriert. Im einzelnen sind Zahlen für die folgenden Branchen nachweisbar:

	1875 (%)	1882 (%)
Bergbau, Hütten, Salinen	12	17
Steine und Erden	26	30
Metallverarbeitung	48	63
Maschinen und Instrumentenbau	11	17
Textilindustrie	21	29
Holzindustrie	60	66
Bekleidung, Reinigung	27	49
Buchdruck	7	17

(Angaben gerundet, zit. nach Mauel, 1967, Anhang: 13)

Die vom schottischen Instrumentenbauer James Watt schon 1769 eingeführte Trennung von Kondensator und Zylinder hatten der Kolben-Dampfmaschine zu einem akzeptablen Leistungsvermögen verholfen. Die enormen Temperaturschwankungen im Zylinder konnten damit vermieden werden, der Zylinder mußte nicht mehr erst erhitzt und dann wieder abgekühlt werden, was sich in einem erheblich besseren thermischen Wirkungsgrad ausdrückte. Die Konstruktionsweise der direkten Nutzung des Dampfes als Arbeitsmedium - im Gegensatz zum bis dahin vorherrschenden Prinzip, den Dampf zur Bildung eines Vakuums und zur Nutzung des äußeren atmosphärischen Drucks zu verwenden - konnte zu einer Art Grundbauweise konsolidiert werden und diente, nach Ablauf der letzten Patentansprüche im Jahre 1800, als Ausgangsbasis für die weitere technische Entwicklung dieser energetischen Linie (vgl. Braun, 1981: 82ff.). "Sobald der Bau dieser Maschine, vom hemmenden Monopol befreit, allen freistand, begann eine Hochflut neuer Erfindungsgedanken einzusetzen", die aber - so kommentierte Matschoß diese Phase - "alle an dem Wesen der Maschine, wie sie von Watt geschaffen war, wenig änderten" (Matschoß, 1908, Bd. 1: 374).

Der relativ geringe Anteil der Dampfmaschinen kann als Indiz dafür verwendet werden, daß diese Art der Energieerzeugung keineswegs allen betrieblichen Bedürfnissen entgegen kam. Der Unterhalt der aufwendigen Kessel- und Rohrleitungskonstruktion war teuer, die Wartung aufwendig und die Energie nicht flexibel abrufbar. Hinzu kamen enorme Rauch- und Geruchsbelästigungen sowie die permanente Gefahr von Kesselexplosionen, die für den Betrieb von Dampfmaschinen schon sehr früh eine staatliche Genehmigung voraussetzten. Ein profitabler Einsatz war zudem erst ab einer bestimmten betrieblichen Größe gewährleistet (vgl. E. Diesel/Goldbeck/Schildberger, 1957: 31f.; Reuleaux, 1875: 514ff.). Von Kleinbetrieben mit bis zu fünf Beschäftigten verwendeten nach einer Reichszählung von 1905 knapp 25 % (= 19.466) Dampfkraft, während immerhin noch 47 % die Energie aus Wasserkraft bezog. Bei den mittleren Betriebsstätten mit bis zu 20 Beschäftigten stieg der Anteil der Dampfkraftnutzer auf über 55 % (= 15.929), während Wasserkraft nur noch von 17 % (= 4.971) der Unternehmen eingesetzt wurde. Noch deutlicher verschob sich dieser Anteil bei Unternehmen mit über 20 Beschäftigten, denn hier stieg der Anteil der Dampfmaschinennutzer auf knapp 80 % und lediglich 9 %

der gezählten Betriebe nutzten vorhandene Wasserkräfte (vgl. Matschoß, 1908, Bd. 1: 207).

Zu diesem "technischen Zwang zur Größe" bei der Energieversorgung gesellte sich in den 80er und 90er Jahren auch noch ein "wirtschaftlicher Zwang", der zu einer erheblichen Verschiebung der Betriebsstrukturen führte. Im Zeitraum zwischen 1882 und 1895 stieg zwar die Zahl der Kleinbetriebe von 2,88 Mio. auf 2,93 Mio. Einheiten an, im Verhältnis zum Anwachsen der Bevölkerung bedeuteten die 4,77 Mio. Beschäftigten, die 1895 in diesen Betrieben gezählt wurden, aber gegenüber dem Wert von 1882 eine relative Abnahme. Hingegen konnten sich die Mittelbetriebe mit bis 50 Beschäftigten in einem Anstieg von 112.715 auf 119.301 Unternehmen behaupten, während insbesondere die Zahl der Unternehmen mit einer Betriebsgröße von über 50 Beschäftigten von 9.874 registrierten Betriebsstätten im Jahre 1882 auf 18.953 Einheiten in 1896 anstieg und die Beschäftigtenzahlen hier von 1,61 Mio. auf 3,04 Mio. fast verdoppelt wurden (vgl. H. Rosenberg, 1967: 55).

Sadi Carnot

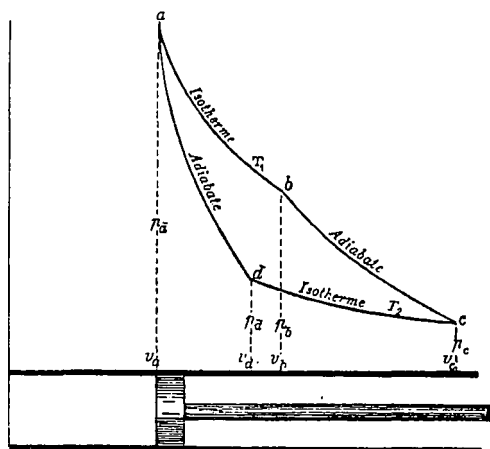
Mit dem Sohn des Kriegsministers und Onkel des Präsidenten der Republik Frankreich Sadi Carnot versuchte ein Gelehrter erstmals, mit wissenschaftlichen Methoden die wärmetechnischen Aspekte der Kolben-Dampfmaschine zu erfassen, analytisch zu deuten und darauf aufbauend konkrete Konstruktionsvorschläge für höhere Wirkungsgrade zu entwickeln. Seine 1824 geschriebenen, aber erst gut zehn Jahre später vom Franzosen Clapeyron wieder in Erinnerung gerufenen "Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres a développer cette puissance" wurden zu einem theoretischen Grundpfeiler der "klassischen" Thermodynamik, der Lehre von der Verwandlung der Wärme in Arbeit.

Carnot ging bei seinen Überlegungen davon aus, daß die Dampfmaschinen einen bereits beachtenswerten technischen Standard erreicht hätten und Wärmekraftmaschinen daher auch in Zukunft ein zentraler Stellenwert eingeräumt werden müsse. Er verwendete somit als theoretischen Bezugspunkt für seine Forschung einen bereits entwickelten Konstruktionstyp. Andere technische Möglichkeiten der Ener-

giegewinnung nahm er dagegen nicht ins Kalkül. Carnot deutete nun den Arbeitsprozeß dieser Maschine als einen Ausgleich unterschiedlicher "Wärmegefälle". "Überall wo ein Temperaturunterschied besteht, kann die Erzeugung von bewegender Kraft stattfinden" (Carnot, 1824: 11). Hinter diesen Überlegungen steckte freilich die Vorstellung von der Existenz eines "Wärmestoffes", ein denkökonomisches Hilfsmittel, um die chemisch-physikalischen Prozesse einer Wärmekraftmaschine mit Analogien zu Wasserkraftmaschinen erklären zu können. Kraft ist daher nach Carnot bei den Dampfmaschinen nicht "auf einen wirklichen Verbrauch des Wärmestoffes zurückzuführen, sondern auf seinen Übergang von einem heißen Körper zu einem kalten" (Carnot, 1824: 8). Wie die "Wassermenge, die den Untergraben verläßt, genau der Wassermenge gleich ist, die vom Obergraben aus das Wasserrad beaufschlagt" schloß Carnot, ist "auch die Wärmemenge, die vom Dampfe nach erfolgter Arbeitsleistung an den Kondensator abgegeben wird, genau gleich der vom Dampf im Kessel aufgenommenen Wärmemenge" (Carnot, hier zit. nach Schimank, 1930: 41).

Als "Grundsatz" bei der Konstruktion von Wärmekraftmaschinen formulierte er als notwendige Bedingung für einen hohen thermischen Wirkungsgrad, "daß an den zur Gewinnung von bewegender Kraft aus Wärme benutzten Körpern keine Temperaturänderung stattfindet, welche nicht durch Volumenänderung bedingt ist" (Carnot, 1824: 15). Ein von ihm entwickelter "idealer Kreisprozeß" gab Hinweise, wie in einem zylindrischen Gefäß ein theoretisch maximaler Wirkungsgrad durch einen Wechsel von adiabatischen, d.h. gegenüber Wärmeübergängen isolierten zu isothermischen, d.h. bei gleicher Temperatur verlaufenden Arbeitsphasen erreicht werden konnte, also unter weitgehender Fortschreibung des bisher erreichten Konsolidierungskonsenses. Technisch sollte dieser Prozeß so verlaufen, daß während des Einschiebens des Kolbens die Temperatur konstant blieb und sich nur Druck und Volumen änderten, um die bei der Verbrennung entstehende Wärme durch den ausschiebenen Kolben isothermisch in Arbeit umzusetzen. Nur unter diesen Bedingungen schien Carnot ein optimaler Wirkungsgrad einer Wärmekraftmaschine möglich (vgl. Varchmin/Radkau, 1981: 150/151).

Abb. 3: Graphische Darstellung des "idealen Kreisprozesses"



Quelle: Varchmin/Radkau, 1981: 151

Die isothermische Verbrennung praktisch umzusetzen, bildete auch für Rudolf Diesel die Ausgangsidee bei der Formulierung seiner "Theorie und Konstruktion eines rationalen Wärmemotors" (R. Diesel, 1893), wobei von Diesel später übersehen wurde, daß Carnots Überlegungen die typischen Merkmale einer wissenschaftlichen Arbeitsweise trugen, deren Prämissen sich für die praktische Konstruktionsarbeit noch als "Fallgrube" erweisen sollten. Carnots "Betrachtungen" waren nämlich davon ausgegangen, daß die Kolben-Dampfmaschine hinsichtlich der mechanischen Funktionsweise bereits in allen Einzelheiten gedeutet und erklärt sei, die für ihn daher weniger von Interesse waren. "Alle Fälle sind vorgesehen, alle möglichen Bewegungen sind allgemein festbegründeten Prinzipien unterworfen, welche unter allen Umständen Anwendung finden", während aber - so Carnot - "eine solche vollständige Theorie über die Wärme" noch fehlen würde (Carnot, 1824: 7). Der "ideale Kreisprozeß" war also aus einer sehr selektiven Problemsicht heraus entwickelt und auf eine wissenschaftliche Bearbeitung und Deutung der thermischen Prozesse von Wärmekraftmaschinen konzentriert worden. Fragen nach der Konstruktion der me-

chanischen Triebwerksteile behandelte Carnot nur insoweit, als seine Überlegungen an die Existenz eines zylindrischen Raumes und eines ein- und ausschiebenden Kolbens gebunden waren. Ihn interessieren mögliche Probleme mechanischer Reibungsverluste auch gar nicht, und er beschränkte sich auf allgemeine Anweisungen, daß man "darauf achten (müsse)", daß die "elastische Kraft der Luft grösser und somit die durch die Ausdehnungsbewegung hervorgebrachte bewegende Kraft beträchtlicher (ist) als die, welche zur Erzeugung der Compressionsbewegung verbraucht worden ist" (Carnot, 1824: 21). Sollten die Prozesse aber praktisch nicht unendlich langsam verlaufen, hätte man die mechanischen Reibungsverluste des ja notwendigen, aber im "idealen Kreisprozeß" nicht berücksichtigten mechanischen Triebwerks einkalkulieren müssen.

Thermodynamische Hauptsätze

Daß Carnots Überlegungen aber überhaupt auf dem Stundenplan Diesels und seiner Kommilitonen in den Technischen Hochschulen auftauchen und als eine Art theoretisch-konzeptionelle Leitschnur wirken konnten, lag daher auch nicht in der praktischen Brauchbarkeit seiner Vorschläge, sondern daran, weil sich hier zum ersten Mal "das technische Interesse mit dem Bedürfnisse nach wissenschaftlicher Klarheit" vereinigte (Mach, 1896: 192). Die zunächst zwar zögerliche, dann aber umso intensiver einsetzende Rezeption der Carnot-Schrift in den naturwissenschaftlichen Disziplinen ist aber auch dort vor allem dem Umstand zu verdanken, daß Carnots Überlegungen in eine Zeit genereller und sehr grundlegender Veränderungsprozesse hineinreichten, die zu Beginn des 19. Jahrhunderts eine disziplinübergreifende Suche nach neuen Denkstrukturen und ordnenden Theoriegebäuden einleitete. Carnots Interpretationen und konstruktive Handreichungen waren ja davon ausgegangen, daß hinter den einzelnen Umwandlungsschritten im Arbeitsprozeß einer Wärmekraftmaschine offensichtlich eine konstante Kraft stecke, die grundsätzlich weder vermehrt oder verbraucht werden könne und nur ihre Erscheinungsform verändert. Damit hatte der französische Gelehrte aber einen Punkt getroffen, den viele seiner Forscherkollegen beschäftigte: die Suche nach einer Grundkraft, auf die sich alle physikalischen und chemischen Prozesse zurückführen lassen. Die wissenschaftlichen Vertreter der Frühro-

mantik, Baader, Ritter und Schelling, hatten immer wieder von einem inneren Zusammenhang aller Erscheinungen gesprochen und gehofft, einmal alle Phänome in der organischen und anorganischen Welt im Rahmen der Naturphilosophie auf ein gemeinsames "Urphänomen" zurückzuführen. Eine Perspektive, die für die Naturforscher - wie Hans Schimank formulierte - "trotz allen spekulativen Charakters" doch in dieser Zeit "viel Bestechendes" hatte (Schimank, 1930: 39). "Die in den Laboratorien entdeckten neuen Prozesse bildeten nach und nach ein Netz, das schließlich die neuerdings entwickelten experimentellen Bereiche der Physik mit ihren älteren Zweigen wie der Mechanik verknüpfte". Die dabei sichtbar werdenden Zusammenhänge zwischen Chemie, Wärmelehre, Elektrizität und Magnetismus, 1847 von Joule als "Umwandlungen" gedeutet, inspirierten die zeitgenössischen Denker, den seit langem gehegten Wunsch, in einer Art "Grundgesetz", ein disziplinübergreifendes Deutungsmuster zur Hand zu haben, nun mit vereinten Kräften umzusetzen (vgl. Kuhn, 1959: 128; Prigogine/Stengers, 1986: 116). "Wenn alle elementaren Kräfte Bewegungskräfte, alle also gleicher Natur sind, so müssen sie alle nach dem gleichen Maße, nämlich dem Maße der mechanischen Kräfte, zu messen sein", faßte Helmholtz die Grundannahme zusammen. "Und daß dies der Fall sei, ist in der Tat schon als erwiesen zu betrachten. Das Gesetz, welches dies ausspricht, ist unter dem Namen des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft bekannt" (Helmholtz, 1869: 41). Für Helmholtz wie für viele seiner zeitgenössischen Forscher wie Colding, Liebig, Mayer, Mohr oder Séguin galt die Formulierung von "Gesetzen" und die Begründung kausaler Zusammenhänge überhaupt als Maßstab aller Dinge in den Naturwissenschaften. Die Suche nach möglichst allgemeingültigen Aussagen war so etwas wie eine "metaphysische Grundkraft" (Kuhn, 1959: 144), die Ordnung in die chaotischen Naturerscheinungen bringen sollte und eine Verständigung über Bedingungen der Beobachtung, des Messens und Deutens festlegte. "Es war klar, daß feste Gesetze der Erscheinung zu suchen waren", und der geniale Trick der modernen Naturwissenschaften ist ja schließlich der aufzuzeigen, daß es "Beispiele genug (gab), daß solche Gesetze sich finden ließen" (Helmholtz, 1869: 47). In ähnlicher Weise äußerte sich James Prescott Joule über die kognitive Funktion von "Gesetzen", einer der "Erfinder" des mechanischen Wärmeäquivalents. "Auf diese Weise wird Ordnung im Universum aufrechterhalten -

nichts wird gestört, nichts geht jemals verloren, sondern die ganz Maschinerie, so kompliziert sie auch ist, funktioniert reibungslos und harmonisch" (Joule, zit. nach Prigogine/Stengers, 1986: 117). Noch Ende der 80er Jahre betrachtete es der Physiker Ludwig Boltzmann als seine "Lebensaufgabe", durch eine möglichst klare, logisch geordnete Ausarbeitung der Resultate der alten klassischen Theorie, "so weit es in meiner Kraft steht, dazu beizutragen, daß das viele Gute und für immer Brauchbare, das meiner Überzeugung nach darin enthalten ist, nicht einst zum zweiten Mal entdeckt werden muß" (Boltzmann, 1889: 211).

Diese von Helmholtz und Joule gesuchte Ordnung und das nach Boltzmann für "immer Brauchbare" wurde als "Erster Hauptsatz der Thermodynamik" schließlich in den Annalen der Naturwissenschaft festgeschrieben: Die Gesamtenergie in einem geschlossenen System, die Summe aus mechanischer, chemischer, thermischer, elektrischer oder potentieller Energie ist immer konstant. Diese Vorstellung von der Erhaltung der Energie hatte nicht nur denkökonomische und diskurstechnische Vorteile, sondern entsprach sogar religiösen Bedürfnissen. Lord Kelvin, mit dem auch Diesel später des öfteren korrespondierte, sah durch die Formulierung des Gesetzes der Erhaltung der Energie nun auch streng wissenschaftlich bewiesen, was er immer schon glaubte, daß Gott die Welt bei der Schöpfung mit einem bestimmten Energievorrat ausgestattet habe, und daß dieses göttliche Geschenk ewig fortwähren würde (Atkins, 1984: 8).

Aber kaum war der in der Aussage etwas zu metaphysisch geratene Hauptsatz von der Erhaltung der Energie formuliert, bedurfte er der dringenden Ergänzung, sollte das bisherige Erfolgsmodell der Naturwissenschaften, die Übereinstimmung von Theorie und empirischer Beobachtung, weiterhin bestehen bleiben. Es stand ja ganz außer Frage - und die praktischen Probleme des Kraftmaschinenbaus zeigten dies überdeutlich -, daß bei den Umwandlungsprozessen der Energie offenbar doch etwas "verloren" ging und die eingesetzte Energiemenge immer nur zu einem geringeren Teil praktisch verwertet werden konnte. Für die Theoriebildung entstand damit das Problem, wie man aus der Gedankenwelt der mechanischen Gesetze, die immer von einer prinzipiellen Umkehrbarkeit aller Prozesse ausgingen, herauskommen und Erscheinungen der Irreversibilität integrieren konnte. "Wie läßt sich beschreiben, was in einer realen Maschine geschieht?"

Wie können die Verluste in die Energiebilanz einbezogen werden? Dies sind die Fragen, die dem Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik den Weg ebneten" (Prigogine/Stengers, 1986: 123). Anfang der 50er Jahre des 19. Jahrhunderts von William Thomson (dem späteren Lord Kelvin) zum ersten Mal formuliert, später um den Begriff der "Entropie" von Rudolf Clausius ergänzt, geriet dieser Zweite Hauptsatz kaum weniger allgemein und spiegelte gleichfalls eine deutliche Affinität zu kosmologischen Erklärungsbezügen des damaligen naturwissenschaftlichen Denkens wider. Clausius erinnerte zunächst an Carnots Problem, einen empirisch zweifelsfrei meßbaren "Verlust" an Arbeitskraft beim Übergang der Wärme von einem heißen auf einem kalten Körper in einen "idealen", d.h. verlustfreien, umkehrbaren Kreisprozeß zu integrieren. Aber er teilte dabei nicht die von anderen Zeitgenossen geäußerte Befürchtung einer Unvereinbarkeit mit dem geliebten Erhaltungssatz. "Denn wenn man auch in der bisher gebräuchlichen Vorstellungsweise einiges ändern muß, so kann ich doch mit erwiesenen Tatsachen nirgends einen Widerspruch finden", beruhigte Clausius seine Forscherkollegen. "Es ist nicht einmal nötig, die Carnot'sche Theorie dabei ganz zu verwerfen, wozu man sich gewiß schwer entschließen würde". Bei näherer Betrachtung schloß Clausius, daß nicht das eigentliche Grundprinzip von Carnot, sondern "nur der Zusatz, daß keine Wärme verloren gehe, der neuen Betrachtungsweise entgegenstehe", da ja offenkundig beides geschehe, Wärme würde verbraucht, aber auch überführt (Clausius, 1850: 424). Um die strukturstiftende Kraft der bisherigen Erklärungsfiguren nicht zu verlieren, integrierte Clausius die Beobachtungen in das alte Denkgebäude und bündelte damit die aufgetretenen Falten im Theoriegebäude wieder glatt: Erstens: Die Energie der Welt bleibt konstant, und zweitens: Die Entropie der Welt strebt einem Maximum zu. Dieser Zweite Hauptsatz besagte, daß die Wärmevorgänge stets nur in eine Richtung, von einem höheren zum niederen Niveau verlaufen, also Wärme nicht von einem Körper niedriger Temperatur in einen Zustand höherer Temperatur übergeht. "Der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik, der Entropiesatz, (ist) das alles beherrschende Weltgesetz. Was immer geschieht, der Zweite Hauptsatz regiert. Seine Aussage: Energie zerfällt zu Entropie, Gefälle werden ausgeglichen, Niveaus kommen einander näher, aus Konzentration wird Zerstreuung, aus Nutzbarem wird Unnützes, aus Ordnung Chaos" (Schütze, 1989: 19). Thermodynamisch

gesehen wird daher Energie auch gar nicht verbraucht, sondern zerstreut und ist damit nur technisch nicht mehr verfügbar. Während der Erste Hauptsatz also die grundsätzliche Erhaltung der Energie und den Wechsel der Erscheinungsform postuliert, wird im Zweiten Satz ergänzt, daß freilich die "Qualität" der Energie dabei immer schlechter wird. Die Mechanik Newtons interpretierte die Welt noch als eine riesige Uhr, in der exakt formulierte Gesetze eine vollständige Voraussage und Berechnung zukünftiger Zustände des Universums ermöglichten (Kanitscheider/Nitschke, 1990 (Bd. 2): 119). Die Thermodynamik betrat mit dem Zweiten Hauptsatz zum ersten Mal den Boden der Irreversibilität. Nur eine Richtung ist möglich. Das Weltall strebt unausweichlich dem "Wärmetod" zu! "Wenn nämlich die Rückverwandlung der Wärme in Arbeit oder, was dasselbe bedeutet, in die lebendige Kraft bewegter Massen gar nicht oder nur teilweise möglich ist, und wenn umgekehrt alle Vorgänge in der Natur sich so abspielen, daß ein mehr oder weniger großer Betrag von Arbeit sich in Wärme, also wie man es auch bezeichnen kann, in degradierte Energie umsetzt, so geht alles Geschehen im Weltall in der Richtung vor sich, daß eine derartige Degradation immer mehr um sich greift, und daraus folgt, daß alle Spannkkräfte, die noch Arbeit leisten könnten, verschwinden und somit alle sichtbaren Bewegungen im Weltall schließlich aufhören müßten" (Nernst, 1912: 345). Ernst Mach sah in solch gewagten Extrapolationen mehr Elemente der Scholastik und fragte nach den "wissenschaftlichen Zwecken eines solchermaßen aus den Fugen geratenen Energiebegriffs". Einen Sinn konnte er in den Hauptsätzen "höchstens in formalen Bedürfnissen" entdecken (Mach, 1896: 209; 215), wofür er gerade von Ingenieuren gescholten wurde, die um die Stabilität der für die technische Arbeit so notwendigen "kognitiven Grundformatierung" fürchten mußten (vgl. Stodola, 1922: 1092ff.). Auch der Chemiker und Nobelpreisträger Walter Nernst nahm den kosmologischen Gültigkeitsanspruch der beiden Hauptsätze der Thermodynamik - insbesondere hinsichtlich der technischen Bedingungen - sehr ernst: "Die Richtigkeit dieser Schlußweise ist unbestreitbar, und es muß von vornherein als ganz ausgeschlossen erklärt werden, daß etwas durch Kombination von Diffusion, Wärmeleitung, Attraktion von Massen, wobei stets sich etwas sichtbare lebendige Kraft in Wärme umsetzen muß, von elektrischen Prozessen, überhaupt von Vorgängen, die dem Zweiten Wärmesatz im einzelnen

sämtlich unterworfen sind, ein Resultat bei richtiger Rechnung sich ergeben kann, daß mit obiger Gesamtforderung des Zweiten Wärmesatzes in Widerspruch sich befände" (Nernst, 1912: 346; 343; 359).

Theoretischer Maschinenbau

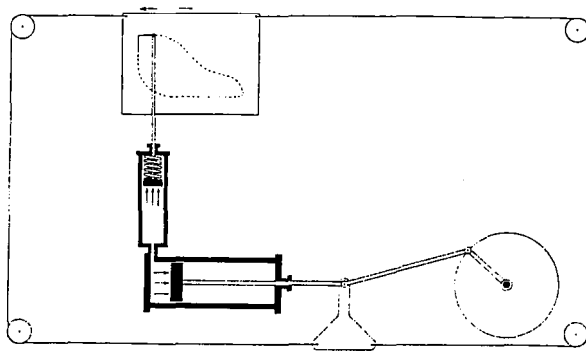
Die aus dem Bedürfnis nach strukturierter Problemsuche und theoretischer Ordnung formulierten Hauptsätze der Technischen Thermodynamik fielen im Prozeß der Verwissenschaftlichung und Akademisierung der technischen Arbeit auf sehr fruchtbaren Boden. Ein widerspruchsfreies und mit kosmologischen Erklärungsbezügen recht attraktives Deutungsmuster konnte sich sehr schnell als "kognitive Grundformatierung" in Lehre und Forschung des Theoretischen Maschinenbaus etablieren und gehörte zusammen mit der allgemeinen Thermodynamik spätestens seit Anfang der 70er Jahre des 19. Jahrhunderts zum festen Ausbildungskanon der Ingenieure und Techniker (vgl. Bryant, 1973: 157). Gustav Zeuners "Grundzüge der mechanischen Wärmetheorie" erschien erstmals 1860 und wurde später unter dem Titel "Technische Thermodynamik" noch mehrmals aufgelegt; der erste Band des umfangreichen Werks "Theoretischer Maschinenbau" von Franz Grashof mit viel Raum für die "mechanische Wärmetheorie" wurde 1875 veröffentlicht.

Die Bedeutung und die Tragweite der Thermodynamischen Hauptsätze gründete sich auch weiterhin weniger auf konkrete praktische Handreichungen für diese oder jene Konstruktionsform als vielmehr auf die Vermittlung eines ganz grundsätzlichen "Dampfmaschinen-Blicks" im Kraftmaschinenbau. Obwohl die Thermodynamik einen wesentlichen Teil ihrer Existenz ja gerade der Suche nach einer praktischen Verbesserung der Kolben-Dampfmaschine verdankte, wurden die grundlegenden Mängel und Widrigkeiten dieser zeitgenössischen Technik, angetrieben vom Bedürfnis nach strukturierten Interpretationsmustern und der Suche nach universeller Gültigkeit, in die Formulierung der Hauptsätze aufgenommen und "festgeschrieben". Damit war es schon fast ausgeschlossen, daß grundsätzlich über andere technische Verfahren der Energiegewinnung nachgedacht werden konnte. "Die Hauptsätze der Thermodynamik zerstören den Traum von einer besseren Technik" (Schütze, 1989: 7), denn die Suche nach Alternativen, nach Wegen, die nicht dem einzementierten Prinzip folgten, che-

misch gebundene in mechanisch verwertbare Energie zu verwandeln, wurde mit dem Verlust denökonomischer Vorteile bestraft. "The steam engine, by which I mean the old-fashioned piston engine, and I mean the whole power plant, including boiler and condenser", bemerkte der amerikanische Technikhistoriker Bryant, "this species dominated men's minds as well as the economy. It provided the experience that educated the engineer and the concepts that he used in thinking about other forms of engines" (Bryant, 1973: 152). Dabei war sich selbst Sadi Carnot über den mangelhaften technischen Referenzrahmen seines "idealen Kreisprozesses" durchaus bewußt gewesen und hatte einschränkend vermerkt, daß die "Phänomene der Erzeugung von Bewegung durch Wärme" noch gar nicht "unter einem hinlänglich allgemeinen Gesichtspunkt betrachtet" worden seien und an den damaligen Kolben-Dampfmaschinen "das Phänomen sozusagen, (nur) verstümmelt und unvollständig" gezeigt werden könne (Carnot, 1824: 6). So wurde "diese eine Kraftmaschine, die Dampfmaschine, die Mutter der Legion von Arbeitsmaschinen, damit aber auch zugleich Herrin der Situation", bemerkte der scharfzüngige Kritiker Franz Reuleaux schon Mitte der 80er Jahre des 19. Jahrhunderts (Reuleaux, 1885: 10).

Die weitere technische Entwicklung sollte sich auf der Basis dieser "kognitiven Grundformatierung" abspielen, die einen grundsätzlichen Wechsel der konstruktiven Prinzipien ausschloß, Voraussetzungen für eine hochselektive und damit produktive, aber eben auch eindimensionale technische Wissensgenerierung. Die Technische Thermodynamik, wie sie bis heute gelehrt wird, inkorporierte und pflegte damit ein Maschinenbild des ausgehenden 18. Jahrhunderts. Denn die im Rahmen dieser mechanischen Wärmelehre entwickelten theoretischen Grundlagen verlangen eine exakte Vorstellung von den physikalischen Objekten. Die der Forschungsarbeit vorausgehende Systemdefinition, ein Paket von Annahmen, ohne die überhaupt kein Gesetz formuliert werden kann, setzt des weiteren eine Reihe sogenannter makroskopischer Parameter wie Temperatur, Druck, Volumen usw. voraus, deren mechanische, thermische oder chemische Wirkungsweise immer an die Existenz ganz bestimmter Maschinenelemente wie Zylinder und Kolben gebunden ist (vgl. Prigogine/Stengers, 1986: 114). Noch heute hat die "klassische" oder "phänomenologische" Thermodynamik als eine Art "allgemeine Energielehre" grundlegende Bedeutung für alle Bereiche der Energietechnik, da sie die "ordnenden Beziehungen" zwischen

Abb. 4: Einrichtung und Wirkungsweise eines Indikators



Es kann nicht ausgeschlossen werden, daß auch außerhalb des weitgespannten Netzes der Technikwissenschaften und in Unkenntnis des Ersten und Zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik Überlegungen

zur Konstruktion von Kraftmaschinen angestellt wurden. Die Idee, als künstliche Energiequellen ausschließlich Wärmekraftmaschinen zu verwenden, ergab sich keineswegs von selbst, auch die Wahl des Dampfes als Arbeitsmedium war ebenfalls nur eine Option unter vielen anderen; die Konstruktionsform eines Zylinders mit ein- und ausschließenden Kolben, Pleuelstangen und Kurbelwellen war zwar bestechend einfach in Verständnis und Handhabung, aber unter kinematischen Gesichtspunkten kaum akzeptabel. Die wenigen Konstruktionsvorschläge, die heute überhaupt noch bekannt sind, der kolbenlose "Pulsometer", auch der als Alternative zum Otto- und Dieselmotor immer wieder gern zitierte "Stirlingmotor", konnten in den zeitgenössischen Diskursen nicht dauerhaft etabliert werden, da schon die Funktionsprinzipien nicht verstanden und das Leistungsvermögen dieser Techniken mit der herrschenden Meßtechnik nicht erfaßt werden konnte. Durch die Zusammenarbeit von Thermodynamik und der Lehre und Forschung des Maschinenbaus gelang die Formulierung und Institutionalisierung grundsätzlicher Regeln des Wärmekraftmaschinenbaus, denen mit dem Indikator und dem mechanischen Wärmeäquivalent Untersuchungsmethoden, Berechnungsmodelle und Bewertungskriterien zur Verfügung standen und auf deren Strukturierungsvorteile später selbst Verfechter eher unkonventioneller Methoden und Konstruktionsformen nicht verzichten wollten. "Die Thermodynamik zeigt in klarer und unanfechtbarer Weise den Weg an, wie man zu einer hohen Ausbeutung des Brennstoffs gelangt" (Junkers, 1912: 265), erklärte der Aachener Professor und spätere Dessauer Flugzeug- und Motorenbauer Hugo Junkers bei der Vorstellung eines vom "herrschenden Stand der Technik" abweichenden Konstruktionsvorschlags.

Eine dauerhafte Etablierung einer energietechnischen Linie außerhalb dieser "kognitiven Grundformatierung" gelang im Verlaufe des 19. Jahrhunderts nicht mehr und ist auch im 20. Jahrhundert undenkbar geworden, denn diese Strukturierungsleistung muß, wenn sie erhalten bleiben soll, auch verteidigt werden. Es ist daher kaum verwunderlich, daß die Thermodynamischen Hauptsätze - auch heute noch - von den Ingenieuren wie ein Augapfel gehütet werden, um das für die Arbeit funktionsnotwendige stabile theoretisch-konzeptionelle Fundament zu bewahren. Der kompromißlose Nachweis der Verträglichkeit mit dem aus dem 19. Jahrhundert stammenden Theoriege-

bäude dient immer noch als "Gretchen-Frage" für alle alternativen Lösungsvorschläge (vgl. beispielsweise die Auseinandersetzungen um das "Energie-Transformations-Gerät" in der Zeitschrift "Öko-Test", Heft 6/1989).

Theorie-Praxis-Dilemma im Kraftmaschinenbau

Eine konsequente Umsetzung dieser "kognitiven Grundformatierung" in einen einzigen Maschinentyp gelang allerdings nicht, und neben den Kolben-Dampfmaschinen etablierte sich mit den Verbrennungsmotoren eine weitere Konstruktionslinie im Feld der Wärmekraftmaschinen. Mit dem wachsenden Ausbau der überbetrieblichen technischen Ausbildungseinrichtungen - zunächst in Form polytechnischer Lehranstalten, später, seit Mitte des 19. Jahrhunderts, begleitet von einer langsam einsetzenden "Verwissenschaftlichung" der Ingenieurausbildung durch die Gründung von Technischen Hochschulen - multiplizierte und verfestigte sich auch die "kognitive Grundformatierung" als eine grundsätzliche Entscheidung für Wärmekraftmaschinen. Die Suche nach einer optimalen Konstruktionsform war aber zu dieser Zeit noch offen. Eine Ausdifferenzierung zwischen den Erkenntnis- und Erklärungsprozessen des Theoretischen Maschinenbaus und der praktischen, zumeist im betrieblichen Milieu organisierten Konstruktions- und Entwicklungsarbeit, ließ aber eine wachsende Diskrepanz zwischen den theoretisch gewonnenen Erkenntnissen auf der einen Seite und den empirischen, handwerklichen Erfahrungen auf der anderen Seite entstehen, die sich zu gegenseitigen Vorbehalten verfestigten und die über viele Jahre in den verschiedenen Professions- und Betriebskontexten noch gepflegt wurden.

Mit der beginnenden Akademisierung der Ingenieurausbildung, durchaus im Sinne der professionalen Emanzipations- und Geltungsbestrebungen, entstanden nicht nur Probleme einer Integration von Forschungs- und Lehrtätigkeiten, sondern auch unterschiedliche Auffassungen hinsichtlich des methodologischen Grundverständnisses technischer Arbeit (vgl. Manegold, 1989: 204ff.; Hertwig, 1950: 11ff.). Denn der zunehmend universitäre Ausbildungsstil stellte nun größere Anforderungen an eine Systematisierung, geordnete und in sich geschlossene Darstellungsform des Wissens. Mit der universitären Verfaßtheit der technischen Hochschulen, Amtsbezeichnungen und Gre-

mien, wie Rektor und Senat sowie die ja sehnlichst angestrebte Verleihung der Promotionsrechte 1899, fand diese stärkere Orientierung an die naturwissenschaftlichen Forschung auch ihren formalen und institutionellen Ausdruck (vgl. König, 1990: 44). Ingenieure wie Redtenbacher, Grashof, Zeuner oder Reuleaux, die durchweg auch engen Kontakt zur industriellen Praxis pflegten, entwickelten eine theoretisch-konzeptionelle Fundierung des Fachgebietes, formulierten auch für den Maschinenbau "Gesetze" und gaben strenge Regeln für die praktische Konstruktionsarbeit aus. "Während sich Franz Grashof in seiner analytischen Maschinentheorie bemühte, Maschinenkonstruktionen durch ein geschlossenes System von mathematisch formulierten, physikalischen und mechanischen Regeln und Gesetzen zu erfassen, wollte Reuleaux mit den Regeln der Logik ein allgemeines konsistentes Beschreibungssystem für Maschinen entwerfen" (König, 1990: 42). Eine stärkere Schematisierung des Stoffes, eine Bevorzugung deduktiver Problemlösungsmethoden und eine strenge Orientierung an vereinbarten theoretischen Grundannahmen schafften aber nicht nur eitle Freude, sondern trugen zur Formierung einer Gegenbewegung der "Praktiker" bei. Die Technischen Hochschulen, Träger und Ausdruck dieses wissenschaftlichen Selbstverständnisses entwickelten sich zu Beginn der 90er Jahre damit auch zu einem Forum, auf dem heftig darüber gestritten wurde, ob die Vermittlung eines geschlossenen Lehrgebäudes oder die Schulung problemorientierter praktischer Fähigkeiten im Mittelpunkt der Hochschulausbildung stehen sollte. Der einflußreiche Maschinenbauprofessor und spätere Rektor der TH Berlin, Alois Riedler (die "repräsentativste Erscheinung an der TH Berlins um die Jahrhundertwende", vgl. Siemens, 1946: 37), brandmarkte die Ergebnisse des Theoretischen Maschinenbaus als für die Praxis völlig untaugliche "Zunftmeinungen". "Das sinnwidrige Verfahren Zeuners, in seinen 'Schiebesteuern' eine geometrische Aufgabe in eine analytische umzudeuten, dann aber doch geometrisch zu lösen, unabhängig von der Wirkung der Steuerung, dieses schulmäßige Verfahren wurde dem Nachwuchs etwa 30 Jahre hindurch eingeübt. Und fast ebenso lange wurde der Dampfmaschinenbau von den Einseitigen in eine unsinnige Richtung gelenkt durch das Überschätzen der Steuerung, wodurch nutzlos Millionen verschleudert und der wirkliche Fortschritt aufgehalten wurde" (Riedler, 1921a: 46). Ganz besonders heftig kritisierte der streitbare Riedler einen grundsätzli-

chen Wechsel der Orientierung in der wissenschaftlichen Konstruktionsarbeit. Er sieht in der Welt seiner Professorenkollegen nur noch die "freie Wissenschaft herrschen", in der die "Zunft alles fern hält, was ihr nicht paßt. "Zunftseelen grüßen sich von Ferne und handeln nach ungeschriebenen Gesetzen". Möglich wurde dieses Gebaren nach Riedler erst durch das "Trennen aller Wissenschaft und Lehre in einen gemeinsamen 'angewandten' und einen 'schul- und zunftmäßigen' Teil", wobei der letztere aber als das einzig "Wissenschaftliche", als das "Höhere" hingestellt wird, und den man zugleich für das "Reine", "Strenge", "Exakte" ausgibt. "Die mathematisch betriebene Schulmechanik kann vielseitige Aufgaben mit 'ihren abstrahierenden' Lehrsätzen nie lösen. Sie ist eine Methode der technischen Wissenschaften, weil die Schulmechanik aus den gegebenen Bedingungen nur die ihr rechnungsmäßig passenden auswählt, schulmäßig und wirklichkeitswidrig" (Riedler, 1921a: 17). Aber nicht nur im Deutschland des ausgehenden 19. Jahrhunderts waren solche unterschiedlichen Auffassungen zu beobachten. "Technical education in the United States therefore, developed in struggle with the classical colleges, both inside and outside of them. One form of this development was the gradual growth of technological studies within the classical colleges, resulting from the reorientation of natural philosophy toward the empirical, experimental, scientific search for truth and from the pressures of some scientists and powerful industrialists for practical instruction: the other was the rise of technical colleges and institutes outside of the traditional colleges in response to the demands of internal improvement projects like canal-building, railroads, manufactures, and, eventually, science-based industry" (Noble, 1977: 20).

Eine für alle Gruppierungen akzeptable Gewichtung zwischen theoretisch-konzeptioneller Schulung und konstruktiv-praktischer Ausbildung, repräsentiert von den in diesen Fragen eher pragmatisch eingestellten Fachvertretern wie Carl Bach und Aurel Stodola, gelang erst in den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts, als diese Fragen zudem von wachsenden Problemen einer immer größeren Fachspezialisierung überlagert wurden.

Für die technische Entwicklung der Wärmekraftmaschinen spielten diese Auseinandersetzungen in den Hochschulen eine sehr wichtige Rolle, da sich hinter diesen verschiedenen methodologischen Grundverständnissen auch mitunter sehr voneinander abweichende

Einschätzungen und Bewertungsmuster der Ergebnisse des praktischen Maschinenbaus verbargen. Von Ferdinand Redtenbacher wußte einer seiner erfolgreichsten Studenten, der spätere Automobilbauer Carl Benz, eine überaus kritische Haltung gegenüber Entwicklungspotentialen der Kolben-Dampfmaschine zu berichten, wie im übrigen einige Jahre später auch Rudolf Diesel von Carl Linde in München über die katastrophal niedrigen Wirkungsgrade dieser Wärmekraftmaschinen aufgeklärt wurde. Redtenbacher gestand, daß ihn die "Steuerungsgeschichte" der Dampfmaschine und "die ganze Maschine selbst schon seit langer Zeit" gar nicht mehr interessiere. "Auf ein paar Prozent Brennstoff mehr oder weniger", die sich mit der einen oder anderen "Tüftelei" auch sicherlich noch gewinnen ließen, käme "es auch gar nicht mehr an". Er schlug vor, sich zunächst grundsätzlich über "die Wärme den Kopf zu zerbrechen" und hoffte, endlich einmal über das "Wesen und die Wirkung der Wärme allmählich Klarheit zu bekommen". Und obwohl es Redtenbachers erklärtes Ziel war, den "Dampfmaschinen den Garaus zu machen", blieben selbst seine Phantasien über wünschenswerte zukünftige Energietechniken noch deutlich von der Dampfmaschine beherrscht. Eine solche neue Maschine sollte selbstverständlich wieder eine kalorische Maschine sein, die mit Luft oder überhitztem Dampf arbeitet, mit oder ohne Regenerator ausgestattet ist, aber mit "mäßigem Volumen" auskommen sollte (zit. nach Benz, 1936: 30).

Die Idee, Dampf oder heiße Luft im Zylinder selbst - ohne das aufwendige und verlustreiche Rohrleitungssystem - zu erzeugen, bewegte schon seit langer Zeit die Köpfe der Konstrukteure. Eine wiederum durch und durch pragmatische Lösung, die ohne eine grundlegende Änderung der Maschinenteile bewerkstelligt werden konnte. Man orientierte sich "natürlich", wie Sass schreibt, an der damals bereits weit verbreiteten liegenden Konstruktionsform der Dampfmaschine. Auch Grundplatte, Zylinder, Kolben und Triebwerk kamen unmittelbar aus dem Dampfmaschinenbau (vgl. Sass, 1962: 11). Schon seit Beginn des 19. Jahrhunderts und insbesondere seit den 50er und 60er Jahren versuchte man mit verschiedenen Konstruktionsformen, Heißluftmaschinen genannt, Luft anzusaugen und in einem beheizten Zylinder ausdehnen zu lassen, um mit dem zurückgeschobenen Kolben Arbeit zu verrichten (vgl. Mauel, 1967: 9; 32a). Gleichfalls begann man zu Beginn der 60er Jahre des 19. Jahrhunderts das mittlerweile in

großen Städten verfügbare Stadtgas für einen Verbrennungsprozeß zu nutzen, bei dem alle Arbeitsphasen vollständig im Inneren des Zylinders abgewickelt wurden.

Führende Professoren des Maschinenbaus wie Redtenbacher, Grashof und Reuleaux motivierten und förderten die Entwicklung solcher Kleinkraftmaschinen. Reuleaux sprach von einer "hervorragenden Aufgabe des Maschinenbaus", der die Auflösung der zentralisierten Betriebsstrukturen in eine "große Anzahl kleiner industrieller Organisationen technisch unterstützen könnte, um damit einen "blühenden und zugleich sozial befriedigenden Zustand zu verwirklichen" (Reuleaux, 1885: 24). "Geben wir dem Kleinmeister Elementarkraft zu ebenso billigem Preise, wie dem Kapital die große Dampfmaschine zu Gebote steht" (Reuleaux, 1875: 527). Zur Verbesserung des auch bei diesen Verbrennungskraftmaschinen nur sehr niedrigen thermischen Wirkungsgrades empfahlen die Ingenieurwissenschaftler eine höhere Vorverdichtung der Ladung, also des Gas-Luft-Gemisches. Auf der Grundlage des von Carnot formulierten "idealen Kreisprozesses" mit einem anzustrebenden hohen "Wärmegefälle", ein durchaus sinnvoller Rat, der aber in keiner Weise auf den Erfahrungs- und Kenntnisstand der damaligen Maschinenbauer Rücksicht nahm (vgl. Mauel, 1967: 77ff.). Den Verbrennungsprozeß im Zylinder hatte man konstruktiv überhaupt noch kaum im Griff. Zur Gewährleistung der Materialfestigkeit mußten erst Erfahrungswerte gesammelt und ausgewertet werden, so daß Empfehlungen zur höheren Verdichtung, also einer noch stärkeren Belastung der Konstruktion und des Materials, kaum überzeugen konnten. Inwieweit man sich mit diesen neuen Motoren überhaupt auf ein völlig neues und unbekanntes Terrain vorgewagt hatte und wie wenig von den im Zylinder ablaufenden Prozessen überhaupt bekannt waren, beschrieb der damals als Konstrukteur in einer Maschinenbaufirma angestellte Max Eyth: "Im Frühjahr 1860 kamen die ersten Berichte über die Lenoir'sche Gasmaschine aus Paris und veranlaßten nicht wenige Maschinenfabrikanten, sich auf dieses Gebiet zu wagen". Eyth schildert die geheimnisvollen Vorarbeiten, die abseits des normalen Betriebsgeschehens in einer separaten Werkshalle schließlich soweit abgeschlossen werden konnten, daß nach "der Theorie" die Maschine durch ein- oder zweimaliges Drehen des Schwungrades hätte anlaufen sollen. "Dagegen waren wir völlig im Dunkeln darüber, ob bei der nun zu erwartenden Explosion der einge-

saugten Gase ein Druck von einer oder 50 Atmosphären entstehen, ob die Maschine sich wie eine tollgewordene Kanone oder wie ein toter Eisenklumpen benehmen würde. Dazu die knisternde elektrische Zündung, von der wir alle nichts verstanden. Es war dämonisch" (Eyth, 1904, zit. nach Varchmin/Radkau, 1981: 145f.). Nicolaus August Otto, dem später in der gemeinsam mit Eugen Langen gegründeten Gasmotorenfabrik Deutz entscheidende technische Verbesserungen an diesen Gasmotoren gelangen, war von der Wirkung des unmittelbar auf den Kolben schlagenden Verbrennungsdrucks so beeindruckt, daß er zunächst wieder zum alten Prinzip der "indirekten" Kraftübertragung zurückkehrte und sich für eine "atmosphärische" Gaskraftmaschine entschied (vgl. Sass, 1962: 26).

Die traditionsreichen Maschinenbauanstalten als Anbieter der Kolben-Dampfmaschinen zogen sich angesichts der massiven Kritik aus den Reihen des Theoretischen Maschinenbaus aber keineswegs aus diesem Geschäftsbereich zurück. Ganz im Gegenteil: Die Betriebsingenieure versuchten, mit den mittlerweile gewonnenen Erfahrungen in der Konstruktionsarbeit und dem erweiterten thermodynamischen Wissensstand im Rücken gerade durch eine Fortschreibung des "Konsolidierungskonsenses", den faktisch bestehenden Vorsprung gegenüber den Heiß- und Feuerluftmaschinen (so wurden Verbrennungsmotoren damals genannt) weiter auszubauen und auch für kleinere Unternehmen akzeptable Maschinentypen anzubieten, bei denen die spezifischen Nachteile der Dampfmaschine durch konstruktive Neuerungen ausgeglichen werden sollten. "Demgemäß streben die Konstrukteure dahin, den Kesselinhalt möglichst klein zu machen, um die Explosionsgefahr zu vermindern, die bei einer etwa eintretenden Zerstörung entstehende Wirkung abzuschwächen, die Aufstellung unter bewohnten Räumen den Bestimmungen des Gewerbes gemäß zu ermöglichen und schnelle Inbetriebsetzung zu erreichen". "Zur Erzielung besserer Ausnutzung vermeidet man größere Abkühlungsflächen, namentlich lange Rohrleitungen zwischen Dampferzeuger und Zylinder". "Ich will damit nicht sagen", faßt der Lehrbuchautor Schöttler seine Eindrücke damals zusammen, daß die Dampfmaschinen nun die "Gasmaschine verdrängen werden"; "es ist aber zu erwarten, daß sie bei Neubeschaffungen verhältnismäßig oft an ihre Stelle treten werden" (Schöttler, 1885: 28).

Maschinen- und Motorenbauer mit einer Präferenz für das Prinzip der inneren Verbrennung, die zunächst mit Gas, später auch mit flüssigen Brennstoffen, vor allen Dingen mit dem billigen und leicht flüchtigen, aber auch sehr gefährlichen Benzin experimentierten, orientierten sich ihrerseits bei den Planungen und Projektierungsarbeiten keineswegs - wie von der späteren Geschichtsschreibung gerne unterstellt - an den wenigen, vom "herrschenden Stand der Dampfmaschinenteknik" noch nicht beherrschten und daher freien Marktsegmenten mit vorwiegend kleineren Betrieben als Kunden. Ein früherer Mitarbeiter von Gottlieb Daimler, der spätere Direktor der Deutzer Gasmotorenfabrik Carl Stein, wußte davon zu berichten, daß Daimler "wie er immer sagte, vor allem das Feld belegen (wolle), er sah im Geiste schon die Eisenbahn und die Großschiffahrt mit Daimlermotoren betrieben; und so waren die kleinen Fahrzeuge einige Jahre nicht so wichtig" (zit. nach Sass, 1962: 248). Werner Siemens, der sich in der damaligen Zeit ebenfalls stark für Verbrennungsmotoren interessierte, wußte seinem Bruder nach London zu berichten, daß Eugen Langen, der Geschäftspartner von Otto in Köln "der festen Überzeugung" ist, mit den neuen Motoren die Dampfmaschine in Städten, die mit Gas ausgerüstet sind, "ganz (zu) verdrängen, da ihre Kraft billiger wie Kohlenkraft wäre" (Siemens, zit. nach Matschoß, 1919: 30).

Rudolf Diesel dachte in ganz ähnlichen Dimensionen. Sein rationeller Wärmemotor sollte nicht nur die Dampfmaschinen, sondern auch alle anderen Verbrennungsmotoren ersetzen und daher nicht nur für alle Industriebereiche, sondern auch für mobile Verwendungen in Lokomotiven, Straßenbahnen, Fuhrwerken und Schiffsmaschinen eine brauchbare und billige Lösung der Energieversorgung anbieten (R. Diesel, 1893: 89ff.). Daimler und Diesel gerieten mit solchen Plänen in Konflikt mit den jeweiligen industriellen Interessen, die zur Mobilisierung der erforderlichen Ressourcen aber maßgebend waren. Unternehmerisches Denken integrierte in einem viel stärkeren Maße als die Vorstellungen der "Erfinder" den bereits bestehenden "herrschenden Stand der Technik" sowie die Notwendigkeiten der Marktpflege in die Forschungs- und Entwicklungsüberlegungen. In Anerkennung solcher Anschlußzwänge wurden beide Motorenprojekte rigiden "Schließungsprozessen" unterzogen, die auf eine rasche Konsolidierung der Ergebnisse drängten und die Antriebssysteme mit techni-

schen Eigenschaften versahen, die den Einsatz nur noch für ausgewählte Absatzmärkte sinnvoll machten.

Die grundsätzlichen Entscheidungen im Kraftmaschinenbau waren im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts mit dem konsolidierten Erkenntnisstand der mechanischen Wärmelehre und den akkumulierten Kenntnissen des Maschinenbaus getroffen, das Entwicklungsfeld abgesteckt. Technische Alternativen zum Bau von Wärmekraftmaschinen schienen kaum noch vorstellbar, jedenfalls praktisch nicht mehr durchführbar. Die ordnende Kraft der Thermodynamischen Hauptsätze war viel zu attraktiv, der akkumulierte Wissensvorsprung der etablierten Konstruktionslinien viel zu groß, als daß man sich noch auf experimentelle Wege eingelassen hätte, denn grundlegende Vereinbarungen brauchten nun nicht immer wieder aufs Neue hinterfragt zu werden, Unsicherheit konnte vermieden und damit teure Versuchsarbeit eingespart werden. Ein "Revirement" dieser technischen Formationen im Wärmekraftmaschinenbereich wurde um die Jahrhundertwende daher auch nur durch massive externe Veränderungen möglich. Eine quantitativ und qualitativ veränderte Nachfrage nach Energie öffnete für eine kurze Zeitspanne die Suche nach neuen technischen Lösungsmöglichkeiten, in der auch Optionen außerhalb der kognitiven Grundformatierung und ohne den Strukturierungsvorteil der Technischen Thermodynamik ins Kalkül gezogen wurden. Nutzen konnten diese Chancen dann allerdings nur solche Projekte, die sich wie die Unternehmen der Elektrotechnik zu einem streng organisierten und machtpolitisch sehr aggressiven Verbund zusammenschlossen, die zwar durch die Zwischenschaltung eines neuen Mediums (Strom) völlig neue Nutzungsmöglichkeiten offerierten, dabei aber letztlich vom "Stand der Wärmekraftmaschinentechnik" aus operierten.

Die weitere technische Entwicklungsarbeit im Kraftmaschinenbau war unter den Voraussetzungen des konsolidierten Wissensstandes zum Ende des 19. Jahrhunderts bereits hochgradig bedingungs- und voraussetzungsvoll. Ein kognitives Orientierungsmuster hatte die Denkprozesse bereits einer Grundformatierung unterzogen und Selektionsmuster konstituiert, die nun für die richtige "Passung" neuer Ideen und Überlegungen mit dem bereits etablierten Wissensstand sorgten. Mit der Technischen Thermodynamik blieben damit Regelwerke über das "Verfallsdatum" hinaus erhalten und die maschinellen

und konstruktiven Zwänge des 19. Jahrhunderts wurden zu Lehrformeln des 20. Jahrhunderts. Hans Schimank hat in seiner Abhandlung zur Geschichte des Energieprinzips darauf hingewiesen, daß naturwissenschaftliche Begriffe und Denkformen eigentlich einem Wandel unterliegen sollten. "Geschaffen, um dem Menschen zu dienen", werden sie aber "zu Tyrannen, wenn eine Zeit mehr in ihnen erblickt als bloße Werkzeuge und Behelfe". Denn "sobald sich im Laufe der geistigen Entwicklung die Notwendigkeit ergibt, Begriffe zu stürzen", schrieb Schimank, "diese aber zu wahren 'Idolen' erhoben, gepflegt und geschützt werden, droht (der) Modernisierungsprozeß zu blockieren" (Schimank, 1930: 46). Die für technische Entstehungsprozesse so wichtigen "Umstände", einer von allen Beteiligten akzeptierten und anerkannten Sicht der Dinge, konstituierten sich also bereits sehr früh im 19. Jahrhundert und blieben offenbar - so muß in der Tat vermutet werden - bis weit ins 20. Jahrhundert prägend für technische Neuentwicklungen. Auch für die im folgenden Kapitel näher zu untersuchenden Entstehungsprozesse des dieselmotorischen Antriebs bildeten diese Kontexte den Referenzrahmen.

6. Einbruch in die Phalanx des herrschenden Technikverständnisses: Design-Entwicklung, Unterstützer-Netzwerk und die Formierung der "Diesel-Gruppe" (1888-1893)

Wir konzentrieren den Blick zunächst auf den Beginn der 90er Jahre des 19. Jahrhunderts, als Rudolf Diesel - wie so viele andere Techniker und Ingenieure auch - an Vorstudien für einen neuen Motor arbeitete: Einer Zeit, in der vom Berliner Polizeipräsidenten gerade die Aufführung von Hauptmanns Drama "Die Weber" verboten wurde; in der Bismarck seinen Abschied einreichte und sich verbittert aufs Land zurückzog; in der sich die Sozialistische Arbeiterpartei in Sozialdemokratische Partei Deutschlands umbenannte und nach Abschaffung des "Sozialistengesetzes" mit 35 Abgeordneten im Reichstag vertreten war; einer Zeit, in der Otto Lilienthal vom Windmühlenberg Derwitz bei Potsdam einen Gleitflug von 40 Metern schaffte und in Hamburg eine Cholera-Epidemie über 8600 Tote forderte.

Diesels Arbeiten fielen in eine Periode, die der Historiker Hans Rosenberg als "Große Depression" kennzeichnete und die in etwa den Zeitraum zwischen 1873 und 1896 umfaßte. Eine Reihe ökonomischer Indikatoren, aber auch manche zeitgenössischen Aussagen lassen in der Tat darauf schließen, daß nach dem "Gründerboom" zu Beginn der 70er Jahre das Gefühl vorherrschend gewesen sein muß, "in einer Zeit der Flaute, des Ungewissen, der ständigen Spannung und Bedrohung, in einer Krisenzeit zu leben". "Ein nahezu chronisches, zu starken Übertreibungen neigendes Klagen und Stöhnen über die kurzen Aufschwünge und die langen Niedergangs- und Stockungsspannungen, die geschäftliche Lähmung, den jämmerlichen Zustand des Handels, die schlechten Preise, den unlauteren Wettbewerb und die unverschämten Arbeiter war nicht nur für die Kleingewerbetreibenden und die Landwirte, die großen wie die kleinen typisch, sondern vielfach auch für die zu Selbstmitleid neigenden industriellen Großproduzenten..." (H. Rosenberg, 1967: 51). Wir werden später erkennen, inwieweit auch Diesels Motorenprojekt in einer sehr entscheidenden Phase von dieser Stimmungslage tangiert wird. Wir werden aber auch entdecken, daß in den Betrieben dennoch unterschiedliche Interpretationsmuster der konjunkturellen Situation existierten, die sich in ent-

sprechend unterschiedlichen Reaktionen und Strategien kondensierten.

In diesem Kapitel stehen zunächst Prozesse der "Designbildung" einer geplanten neuen Technik im Vordergrund, bei der durch den Rückgriff auf nicht legitime Wissensbestände der Anspruch erhoben wird, eine wirklich neuartige Kraftmaschine zu konstruieren, die nicht zum "Stand der Technik" gehört, die aber dennoch durch die kognitive Grundformatierung der Technischen Thermodynamik geprägt wird. In einer Orientierung am Wissensstand des Wärmekraftmaschinenbaus wird die Entwicklung an den zeitgenössischen technischen Konsens zurückgebunden, um eine für die Realisierung so wichtige "Anschlußfähigkeit" zu den herrschenden Perzeptionsmustern der Maschinenbauanstalten sicherzustellen. Welche organisatorischen und bündnispolitischen Maßnahmen aber trotzdem noch erforderlich waren, um zumindest eine befristete Realisierungschance für eine "technische Option" eingeräumt zu bekommen und in welchem Maße soziale und gar politische Bedingungen für einen - dem technischen Erzeugungsprozeß vorausgehenden - Aufbau einer stabilen Definitionsmacht eine Rolle spielten, soll uns ebenfalls in diesem Abschnitt beschäftigen.

Zunächst wird nochmals an die Diskussionen im letzten Kapitel angeknüpft und die zum Ende des 19. Jahrhunderts begonnene energietechnische Debatte zur Illustration einer "produktiven Unruhe" verwandt, in der über die Einschätzung der Perspektiven bisheriger Konstruktionslinien Unsicherheit herrschte und alle auf diesem Terrain beschäftigten Akteure in erhöhte Aufmerksamkeit versetzte. In diesem Kontext geriet auch der bisher konsolidierte Stand des Wissens auf dem Gebiet der Verbrennungskraftmaschinen, ein technischer Zweig, der gerade erst aus dem "Schatten" der Kolben-Dampfmaschine herausgetreten war, in eine erste Bewährungsprobe. In unterschiedlichen organisatorischen und institutionellen Zusammenhängen begaben sich Techniker, Ingenieure und Konstrukteure auf die Suche nach einer Verbesserung der Verbrennungsmotorentechnik, um auf der Basis des bisherigen Konsolidierungskonsenses einzelne konstruktive Optionen, wie z.B. die Vorverdichtung des Gemisches oder Fragen geeigneter und allgemein akzeptierter Kraftstoffe, zu untersuchen. Vor diesem zeitgenössischen Hintergrund ordneten sich die technik-wissenschaftlichen Leistungen und konstruktiven Vorschläge

Rudolf Diesels zu einem Beitrag unter vielen anderen ein. Wir werden deshalb die Phase von Anfang 1892 bis zum Frühling 1893 sehr detailliert rekonstruieren, weil es in diesem Zeitraum gerade Diesel gelingt, mit einem äußerst gewagten Projektvorhaben im Rahmen einer neu formierten "Diesel-Gruppe" umfangreiche Ressourcen zu mobilisieren und der "rationelle Wärmemotor" von den führenden Dampfmaschinenbauanstalten auf die "Entwicklungs-Schiene" gesetzt wurde.

Produktive Unruhe: Die Suche nach neuen Wegen in der Energietechnik

Während zwischen 1866 bis 1872 sowie im Zeitraum ab Mitte der 90er Jahre bis zum ersten Weltkrieg die jährliche Zuwachsrate der gesamten Industrieerzeugung etwa 4,5 % betrug, erreichte die wirtschaftliche Entwicklung zwischen 1872 und 1890 aufs Jahr bezogen "nur" noch ein Wachstum von 3 %. Deutlicher spiegelte sich der in diesen Jahren herrschende Stimmungstrend in der nachlassenden Bereitschaft zu Investitionen wider. Zwischen 1871 und 1873 wurden im Deutschen Reich, also in nur drei Jahren, 2,9 Mio. RM in neu gegründeten Aktiengesellschaften angelegt, eine Größenordnung, die erst wieder nach mehr als zwanzig Jahren erreicht wurde (vgl. H. Rosenberg, 1967: 38ff).

In dieser Zeit arbeitete Rudolf Diesel als angestellter Ingenieur in der "Gesellschaft für Lindes Eismaschinen" und vertrat die Firma als Direktor in Berlin. Im Januar 1880 hatte er mit einem hervorragenden Zeugnis sein Abschlußexamen an der Technischen Hochschule München bestanden und war bereits ein Jahr zuvor von seinem Lehrer, dem Professor für Theoretische Maschinenlehre und Kühlmaschinen-Unternehmer Carl Linde, als Volontär zur Maschinenfabrik der Gebr. Sulzer in Winterthur/Schweiz vermittelt worden. Linde förderte Diesels berufliche Laufbahn auch weiterhin und beauftragte seinen Schüler bald mit der Wahrnehmung seiner Firmeninteressen in Paris, wo Diesel 1858 geboren war und die ersten 12 Jahre seines Lebens verbracht hatte. Nach Schließung der Pariser Vertretung nahm Diesel im Jahre 1889 das Angebot Lindes an, eine leitende Funktion in der Berliner Geschäftsstelle zu übernehmen (vgl. Linde, 1916: 53f.).

Im Laufe seiner technik-wissenschaftlichen Ausbildung war Diesel selbstverständlich mit den energietechnischen Problemen seiner Zeit

konfrontiert worden. Der junge Ingenieur dachte daher schon während seines Studiums über die Konstruktion einer Kraftmaschine nach, die nicht nur einen höheren Wirkungsgrad als die üblichen Dampfmaschinen, sondern auch einen betriebssicheren und rauchlosen Betrieb ermöglichen sollte (Thomas, 1987: 68ff.; E. Diesel, 1937: 64ff.).

In der rasanten Industrialisierungsphase des letzten Drittels des 19. Jahrhunderts stellte die Bereitstellung großer und vor allem auch dezentral verfügbarer Energiemengen die im "Stand der Technik" befindlichen Wärmekraftmaschinen offensichtlich vor so große Probleme, daß vielerorts Projekte zur Suche nach neuen technischen Lösungen für eine optimierte Energieversorgung initiiert wurden. Mit welcher großer Aufmerksamkeit diese Versuche in den frühen 90er Jahren auch in der Öffentlichkeit verfolgt wurden, läßt sich beispielsweise an den steilen Anstiegen der Aktienkurse führender Maschinenbauanstalten nur auf vage Gerüchte über eine bald erscheinende, völlig neue Kraftmaschine ablesen. Als 1897 tatsächlich die Maschinenfabrik Augsburg erstmals über einen solchen neuen Maschinentyp öffentlich berichtete, konnte man - nur auf einige wenige Gutachten gestützt und noch ohne jeden Nachweis einer tatsächlichen Marktreife - Lizenzverträge in Höhe mehrerer Millionen Reichsmark abschließen (Johanning, 1901: 30f.; E. Diesel, 1937: 232ff.).

In dieser Zeit der Unruhe und der Suche nach neuen Wegen der Energieerzeugung blieb zwar das theoretische Gebäude der Technischen Thermodynamik als ordnungstiftende und strukturbildende Grundorientierung unangetastet, aber die darauf aufbauenden technischen Projekte kündigten den bisherigen "Konsolidierungskonsens" weitgehend auf. Während die führenden Theoretiker des Maschinenbaus kleine dezentrale Kraftanlagen propagierten und die nachfolgenden Generationen der Maschinenbauingenieure mit dieser Idee "infizierten", planten andere die Realisierung hiervon völlig abweichender "technischer Visionen": Von wenigen Großkraftwerken aus sollte die erzeugte Elektrizität überall hingeführt werden und am Verbrauchsort als saubere und bequeme Kraftquelle verfügbar sein (vgl. Riedler, 1916: 37, 74). Solche Ideen fanden beispielsweise auch ihren Ausdruck in Überlegungen, die Wasserkräfte Ost-Norwegens über eine 1.000 km lange Freileitung nach Deutschland zu bringen, oder aber mit einer langen Ost-West-Strom-Sammelschiene den Zeitunterschied durch einen Ausgleich der Belastungen auszunutzen (vgl. Braun, 1980: 43).

Freilich waren für solche Ideen noch eine Reihe technischer, aber vor allem auch politischer Voraussetzungen zu schaffen.

Selbst über die Verwertung der Sonnenenergie zur Stromproduktion wurde in dieser Zeit bereits nachgedacht. Der Präsident der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt Friedrich-Wilhelm Kohlrausch empfahl "den Nationen", sich jetzt schon "einen Anteil an solchen Gegenden zu sichern", die für das Aufstellen von "Sonnenstrahlenfallen" geeignet seien. "Sehr große Flächen sind nicht einmal nötig; einige Quadratmeilen in Nordafrika würden für den Bedarf eines Landes wie (dem) Deutsche Reich genügen. Durch Konzentration der Sonnenwärme läßt sich eine hohe Temperatur erzeugen und hiermit dann alles übrige, transportable mechanische Arbeit, Akkumulatorenladung, Licht und Wärme, oder durch Elektrolyse auch direkt Brennmaterial" (zit. nach Bebel, 1909: 428).

Wie offen selbst für die später so mächtige elektrotechnische Industrie die Frage nach den zukünftigen energietechnischen Entwicklungspfadern gewesen ist, läßt sich an einem Brief Werner Siemens' ("Die Elektrotechnik bin ich") an einen seiner Brüder aus dem Jahre 1882 ablesen. Hierin berichtete der Firmenchef von Arbeiten an einer "neuen Sorte von Gas- und Petroleummotoren", von denen er "viel erwartete", denn "im Falle völligen Gelingens wird es wohl mit Kraftübertragung und elektrischen Bahnen zu Ende sein" (W. Siemens, zit. nach Matschoß, 1916: 734).

Zeitlich parallel zu Diesels ersten Projektierungsarbeiten markierte dann die elektrotechnische Ausstellung in Frankfurt (1891) den Wechsel von einer mit Gleichstrom und Niederspannung arbeitenden Elektrotechnik und Feinmechanik zu einer Energiewirtschaft, die mit Wechsel- und Drehstrom, Hochspannung und Fernübertragung technische und organisatorische Voraussetzungen für die später so erfolgreiche Expansion schuf. Zwei Jahren nach der Frankfurter Ausstellung präsentierte die Firma Otis bereits den ersten elektrisch betriebenen Aufzug, wiederum zwei Jahre später zeigte das Stuttgarter Unternehmen C & F. Fein die erste elektrische Handbohrmaschine. In einer Statistik für die Stadt Wien wurden für 1898 schon 220 elektrisch betriebene Motoren ausgewiesen, von denen 50 Ventilatoren, 26 Aufzüge, 2 das Riesenrad, 15 Werkzeugmaschinen und 19 Bohrmaschinen in Zahnarztpraxen antrieben (Zängl, 1989: 28). Dennoch sollte die Bedeutung des Elektromotors zur Lösung der dezentralen Ener-

gieprobleme noch lange Zeit eher gering bleiben. Sein Anteil als gewerbliche Kraftquelle betrug selbst 1907 erst 20 %, steigerte sich 1925 auf 66,3 % und erreichte erst 1933 mit 72,3 % eine überragende Bedeutung (vgl. Zängl, 1989: 76). In dezentralen Anwendungsgebieten löste die Politik der energietechnischen Betriebe damit aber einen erfolgreichen Verdrängungsprozeß aus, in dessen Folge die "Zuständigkeiten" der bis dahin dominierenden Dampfmaschinentechnik eingeschränkt wurde.

Von der Kältetechnik zum Wärmekraftmaschinenbau: Rudolf Diesel und der "ideale Kreisprozeß"

Die "Vision einer Kleinmaschine", die "segensbringende Kraft in alle arbeitende Kreise des Volkes" verteilt, hatte auch Rudolf Diesel vor Augen, als er die ersten Konstruktionsideen konkretisierte (E. Diesel, 1937: 119). Es kann dabei kaum verwundern, daß der von Carl Linde bestens in Technischer Thermodynamik geschulte Diesel seine Bauvorschläge in eine "Theorie und Konstruktion eines rationellen Wärmemotors" übersetzte. Aber er orientierte sich dabei nicht am allgemeinen und gemeinhin "herrschenden Stand der Technik", sondern griff auf eine "technische Option" zurück, dem zwar populären, aber bis dahin im praktischen Maschinenbau ohne Bedeutung gebliebenen "idealen Kreisprozeß" von Sadi Carnot. Dieser Entschluß zog bereits eine Reihe grundlegender konstruktiver Auswahlentscheidungen zwangsläufig nach sich: Carnot hatte seine Vorschläge immer mit dem Indikatoren-Diagramm erläutert. Der Einsatz dieses Meßinstrumentes - wie Carnots Theorie überhaupt - war damit an eine bestimmte Auswahl von Maschinenelementen gebunden, an einen zylindrigen Verbrennungsraum und einen aus- und einschiebenden Kolben. Schon während seiner Zeit in Paris (1881-1890) dachte Diesel darüber nach, wie die isothermische Zustandsveränderung des Carnot-Prozesses - der eigentliche "Trick" des "idealen Kreisprozesses" - technisch realisiert werden könnte. Diesels Sohn Eugen beschrieb in seiner Biographie, in welchem geistigen Milieu sein Vater die ersten Überlegungen entwickelte: "Er stand dabei unter dem Einfluß seiner Umwelt und seiner Tätigkeit als Eismaschinen-Ingenieur. Da er es mit Ammoniak und Ammoniakdämpfen und hohen Drücken zu tun hatte, geriet er zunächst auf den Gedanken, durch die Anwendung von Ammoniak-

dampf statt Wasserdampf den Wirkungsgrad der Dampfmaschine verbessern zu können". Als Orientierungspunkt diente ihm die Dampfmaschine als schlechthin klassische Wärmekraftmaschine und es "gelang (ihm) damals noch nicht, sich von diesem gewaltigen Vorbilde zu lösen", obwohl er ja ausdrücklich mit dem Ziel der Abschaffung dieser Konstruktionslinie angetreten war (E. Diesel, 1937: 141).

Diesel strebte einen Kleinmotor an, der "stets marschbereit", "nur durch ein kurzes Heizen nach je 10-12 Stunden Betrieb gleichsam wieder aufgezogen" werden konnte. Nach der zunächst getroffenen Entscheidung für flüssiges Ammoniak als Arbeitsmedium und der Konstruktion eines kleinen Ammoniak-Absorptions-Versuchsmotors, "stellte (er) eine vollständige Theorie einer Dampfmaschine mit hoch überhitzten Ammoniak-Dämpfen" auf und fand rein rechnerisch "nicht unbedeutende Vorteile vor den heutigen Dampfmaschinen heraus". Um bei seinen Überlegungen "aber nicht irre" zu gehen, berechnete Diesel auch die Werte für überhitzte Wasserdämpfe, was ihn schließlich auf die Idee brachte, "die Dämpfe als Gase zu betrachten, nur um ihnen rechnerisch näher zu kommen" und die überraschende Entdeckung auslöste, "daß praktisch kein Unterschied zwischen Dampf und Gas bestehe", daß sich also auch Dampf oder Gas als Arbeitsmedium unter diesen Voraussetzungen eignen mußten. Diesel behielt bei den konstruktiven Schlußfolgerungen seiner Berechnungen "die von den vorhergehenden Untersuchungen stammenden hohen Drücke und hohen Temperaturen bei", die ihm allerdings - den gewöhnlichen Verbrennungsprozeß vor Augen - erhebliche Probleme bei der technischen Umsetzung bereiteten, bis er schließlich auf den Gedanken kam, "die Verbrennung in der hoch gespannten Luft selbst vorzunehmen".

Diesel war über die konkreten Erfahrungen des praktischen Maschinenbaus nicht informiert und konnte durch die damals bei Technikern, Konstrukteuren und Monteuren herrschende Angst vor hoher Kompression im Zylinder nicht irritiert werden. Sein Eingeständnis, daß er "noch niemals in (seinem) Leben eine Theorie der Feuerluft- und Gasmotoren studiert habe" und dies "erst nachträglich zur Kontrolle (seiner) Untersuchungen unternahm", mag angesichts seiner umfassenden technischen Ausbildung vielleicht nicht unbedingt der Realität entsprechen, verdeutlicht aber dennoch die ausschließliche technik-wissenschaftliche Orientierung der "Designbildung": originel-

ler Konstruktionsentwurf mit zumindest rein rechnerisch sehr hohen Wirkungsgraden (R. Diesel (1892), zit. nach Thomas, 1987: 217f.).

Bis Diesel den "Sprung" zu einem im Zylinder verlaufenden Verbrennungsprozeß schaffte und einen Arbeitsprozeß angeben konnte, der überhaupt Aussicht auf eine technische Funktionsfähigkeit hatte, dauerte es daher noch einige Jahre. Selbst für seinen Sohn Eugen war es "seltsam", daß Diesel zunächst ausnahmslos auf die Kolben-Dampfmaschine fixiert blieb und nicht schon früher Heißluft- oder Gasmaschinen mit ins Kalkül einbezog (vgl. E. Diesel, 1937: 142).

Um die angestrebten hohen Wirkungsgrade des Motors zu erreichen und die recht komplexen wärmetechnischen Voraussetzungen mechanisch umzusetzen - Carnot war in diesen Fragen wenig hilfreich, da er ja von einem bereits existierenden Arbeitsmedium ausgegangen war -, griff Diesel schließlich auf das nicht mehr patentgeschützte Viertakt-Arbeitsverfahren zurück. Damit verfügte er über Elemente und Baumuster, die als fester Bestandteil des "herrschenden Standes der Technik" mit einer Funktionsgarantie versehen waren und daher zumindest für wichtige Teilbereiche einen betriebstauglichen Lösungsweg versprachen. Er mußte deshalb auch eingestehen, daß mit dieser pragmatischen Entscheidung sein neuer Motor "eine gewisse Ähnlichkeit mit Feuerluft- oder Gasmotoren" habe, die aber "jedoch nur scheinbar" sei, wenn man den "vollkommen" anderen Verbrennungsprozeß in den Vergleich mit einbeziehen würde (R. Diesel, 1893: 1).

Obwohl Diesel seine "technische Option" damit mehr und mehr mit Elementen aus dem "Stand der Technik" der Wärmekraftmaschinen untermauerte, entgingen ihm doch in seiner technik-wissenschaftlichen Orientierung die Diskussionsbeiträge der Praktiker oder der in enger Tuchfühlung mit dem praktischen Maschinenbau stehenden Ingenieure, die ja auch durchaus über die Vorschläge von Carnot orientiert waren. Otto Köhler, Ingenieur und Lehrer an einer Kölner Fachschule, hatte bereits fünf Jahre vor Diesel seine Überlegungen in einer Broschüre zusammengefaßt und konkrete Vorschläge zur Konstruktion einer Wärmekraftmaschine formuliert, die die Überlegungen Carnots einer abwechselnd adiabatisch und isothermisch verlaufenden Kompression und Expansion mit den im "Stand der Technik" verfügbaren Bauelementen durchdeklinierte. Köhler nahm auch den von Diesel später zum Patent angemeldeten Konstruktionsentwurf bereits

vorweg: "Erster Hub, Ansaugen von Luft. Zweiter Hub, Kompression derselben, und zwar im Anfang mit Kühlung, etwa durch Einspritzen von etwas Wasser" (dieser Gedankengang mag heute etwas befremden, aber auch Köhler folgte hier der von Carnot angegebenen isothermischen Kompressionsphase als einer Voraussetzung für die Erzielung eines optimalen thermischen Wirkungsgrades). Ist das Wasser verdampft, "so erfolgt Kompression nach der Adiabate, wobei die Temperatur steigt". Dritter Hub, Zuführung von Gas und Entzündung desselben, "wobei nur soviel Gas eingeführt werden muß, daß die Temperatur constant bleibt. Nach einiger Zeit Absperren des Gases und daher Expansion nach der Adiabate bis zum Anfangszustand. Vierter Hub, Herausschaffen der gebrauchten Luft bis auf den zurückbleibenden Teil" (Köhler, 1887: 41). Abgesehen davon, daß Diesel später nicht Gas, sondern mit Kohlenstaub und Petroleum feste und flüssige Brennstoffvarianten bevorzugte, lag damit bereits sein späterer Vorschlag vollständig veröffentlicht und mit Kommentaren versehen vor. (Die Verwendung von Kohlenstaub als Brennstoff klingt aus heutiger Sicht ebenfalls etwas sonderbar, aber auch hier war Diesel nur einer von mehreren Ingenieuren, die in den 80er und 90er Jahren des 19. Jahrhunderts an der Verwertung des vergleichsweise recht preisgünstigen Energieträgers experimentierten (vgl. Bielefeld, 1928: 5ff.)) Köhler blieb aber hinsichtlich der Gesamtbilanz einer solchen, dem idealen Kreisprozeß angenäherten Maschine skeptisch. In einem 1893 - nach der Veröffentlichung von Diesels Vorschlag - gehaltenen Vortrag, äußerte er sich zwar anerkennend über Diesels "elegante" rechnerische Darstellung, fügte aber unmißverständlich hinzu, daß, angesichts eines notwendigen Kompressionsdruckes von 256 at (den Diesel aus seinen Berechnungen als optimalen Wert herausdestilliert hatte) und eines mittleren Kolbendruckes von 116 at, solche Vorschläge doch "ein gewisses Mißverhältnis" zum herrschenden Stand der Technik darstellen (würden), welche eine praktische Ausführung von vornherein verbieten" (Köhler, 1893: 1107). Ganz anders Diesel: Im Unterschied zum vorsichtigen Köhler machte er sich hinsichtlich der praktischen Probleme weitaus weniger Sorgen. "Dass unsere Metalle Drücke von einigen hundert Atmosphären aushalten, ist zweifellos", meinte er, "da dieselben ja in Geschütze, bei Drücken von 3.000-6.000 Atmosphären, sich als gasdicht erweisen, und da es sich in unserem Motor nicht um ständige hohe Drucke handelt, sondern um Druckwir-

kungen, die durch den Kolben ungemein rasch hervorgebracht werden, um dann sofort, in ganz geringen Bruchteilen von Sekunden, wieder zu verschwinden". Diesel schloß aus seinen Überlegungen, "daß es nicht übertrieben ist", "zunächst als obere Druckgrenze"... "200-300 Atmosphären festzusetzen" (R. Diesel, 1893: 49), während im damaligen Kraftmaschinenbau die "Schallgrenze" für die Projektierung des Verdichtungsdrucks im Zylinder auf maximal 6 at festgelegt war. (Zum Vergleich: Der "Diesel" des Verfassers, Baujahr 1976, verdichtet die eingesaugte Luft in den Zylindern etwa auf 18 at.) Der Konstruktionsvorschlag für eine solche Maschine sah drei Zylinder vor, einen Expansions- und zwei Kompressionszylinder, in denen die Luft etwa auf 250 at verdichtet und der Verbrennungsprozeß nach dem Einführen von Kohlenstaub, Petroleum u.ä. in etwa bei 800 Grad Celsius ablaufen sollte. Diesem "Idealtypus müssen wir bemüht sein", schrieb Diesel, "uns so weit als möglich zu nähern". Er war also durchaus nicht so naiv anzunehmen, daß ein solcher Motor so gebaut und auch so funktionieren würde. Durch erste kritische Stimmen gewarnt, formulierte er später in einem für die Drucklegung gedachten Manuskript eine "erste Abweichung vom vollkommenen Verbrennungsprozeß" und baute eine Art "Sollbruchstelle" ein, die er in den nachfolgenden Verhandlungen mit potentiellen industriellen Kooperationspartnern als Beitrag zum Kompromiß geschickt einzusetzen wußte. "Es ist anzunehmen", prognostizierte er, daß "die sehr hohen, bisher noch nicht realisierten Luftkompressionen einige Schwierigkeiten in der Ausführung ergeben werden, und daß der mechanische Wirkungsgrad solch hoher Kompressionen anfangs nicht befriedigen wird". Die später tatsächlich eingetretenen Schwierigkeiten bereits vorausahnend schlug er daher vor, "für den Anfang die Forderung weniger hochzustellen". In dieser Frage ging er also nicht den konventionellen Weg, die Höhe der Verdichtung ausgehend von der Frage "was ist konstruktiv noch beherrschbar" zu kalkulieren, sondern ihn - den Technikwissenschaftler Diesel - interessierte nur, welche Opfer an "thermischen Wirkungsgraden" gerade noch akzeptabel waren, um einen maschinellen Funktionsmodus sicherzustellen (R. Diesel, 1893: 64f.). Ausgerechnet Alois Riedler, der später zu den schärfsten, aber auch profiliertesten Kritikern Diesels gehören sollte, maß dieser Distanz zur Praxis eine große Bedeutung bei. "Wenn Diesel und seine Mitarbeiter" - Riedler bezog sich hier schon auf die spätere industrielle

Entwicklungsphase des Projektes in Augsburg - "Spezialisten auf dem Gebiete der Verbrennungsmaschinen gewesen wären, dann hätten sie den Hochdruckölmotor vielleicht nicht geschaffen. Ich bin vielmehr der Meinung, daß gerade deshalb, weil die Zusammenarbeitenden nur Erfahrungen in Eismaschinen und Hochdruckkompressoren hatten, (...) sie vor hohen Drücken nicht zurückgeschreckt (sind) und (...) den Hochdruckölmotor verwirklicht (haben), was Spezialisten im Motorenbau damals kaum gewagt oder wahrscheinlich nach ersten Versuchen aufgegeben haben würden". So blieb der "sorglos Unerfahrene vor ausgetretenen Wegen bewahrt, die nicht zum Ziel führten, vor Wegen, aus denen die damaligen Motorspezialisten nicht heraus konnten" (Riedler, 1914: 119; 194).

Entwicklungsprojekte im Verbrennungsmotorenbau der 90er Jahre

Aber auch dieser zentrale Gedanke Diesels, die Nutzung einer hohen Vorverdichtung zur Minimierung von Wärmeverlusten, stellte genauso wenig ein Privileg dar, wie die Verwendung von Petroleum, daß später - man sprach dann von "Öl" - zum charakteristischen Kraftstoff des Dieselmotors werden sollte. Wir zitierten bereits Otto Köhler und werden noch auf eine Anzahl weiterer Konstruktionsüberlegungen zu sprechen kommen, aus denen ersichtlich wird, daß Diesels technische Leistungen im zeitlichen Kontext gesehen keineswegs von einer herausragenden Bedeutung waren: Weder besonders originell noch von besonders hoher konstruktiver Qualität. Für fast alle Maschinen- und Motorenbauunternehmen gehörte die Suche nach geeigneteren Brennstoffen als das teure Stadtgas oder das gefährliche Benzin zum betrieblichen Entwicklungsalltag, wobei insbesondere auch Petroleum eine herausragende Rolle spielte. Es war aber auch nicht Diesels Ignoranz gegenüber den "Realitäten", den Möglichkeiten und Grenzen des Maschinen- und Motorenbaus, die ihn auszeichnete, sondern - im Gegensatz beispielsweise zu Köhler - die Fähigkeit, aus dieser Ignoranz heraus ein industrielles Entwicklungsprojekt zu schmieden und Ressourcen zu mobilisieren; Eigenschaften, die also vielmehr organisatorischer als technischer Natur sind und damit auch der sozialwissenschaftlichen Forschung einen legitimen Platz im unmittelbaren Prozeß

der Technikentwicklung zuweisen, was bislang ja eher als genuin ingenieurwissenschaftliches Terrain galt.

Wir hatten bereits mehrmals die am Ende des 19. Jahrhunderts zu beobachtende Unruhe erwähnt, in der nicht abschätzbar war, inwieweit mit dem bisher erreichten "Stand der Technik" auch die veränderten und erweiterten industriellen und privaten Bedürfnisse nach Energie befriedigt werden konnten. Nicht nur einzelne Ingenieure und Techniker bastelten und werkten daher an Ideen und Konstruktionen für neue Kleinkraftmaschinen, auch in der Motoren- und Maschinenbaubranche wurde sehr organisiert über technische Verbesserungen und Erweiterungen des bisher erreichten Wissens nachgedacht. Die Gasmaschine der Deutzer Gasmotorenfabrik, seit 1886 in den zentralen Funktionsprinzipien ohne Schutzrechte, erfreute sich als Baumuster sehr großer Beliebtheit. Die Maschine hatte sogar "laufen" gelernt, aber nur um den Preis eines gravierenden technischen Nachteils: der Verwendung des hochgefährlichen Brennstoffs Benzin. Dieses flüssige und bekanntlich sehr leicht siedende Destillat war bis 1900 ein nur schwer absetzbares Nebenprodukt der Petroleumherstellung gewesen. Billig und ohne große Probleme überall verfügbar, war es unter pragmatischen Gesichtspunkten in der Motorenkonstruktion gegenüber allen anderen Brennstoffoptionen zunächst einmal im Vorteil (Seidel, 1986: 546ff.; Polster, 1982: 18f.). Für Motoren, die mit diesem Kraftstoff betrieben wurden, blieben aber einige Verwendungsbereiche von vornherein ausgeschlossen. Die Gasmotorenfabrik Deutz konnte sich aus diesen Gründen auch nur sehr zögerlich für die Entwicklung und Fertigung solcher Verbrennungskraftmaschinen entscheiden. Von rund 24.000 Motoren, die in der Fabrik im Zeitraum zwischen 1876 und 1900 gebaut wurden, kamen daher über 80 % als stationäre Gasmotoren in den Betrieb. Seit Beginn der 90er Jahre konzentrierte man sich auch hier deshalb auf Forschungen zur Verwendung anderer, weniger gefährlicher Brennstoffe. Petroleum, das zwar weitaus schwerer entflammbar war, dafür über einen höheren Heizwert verfügte und ebenfalls überall verfügbar war, galt als eine Alternative, stellte aber ungleich höhere konstruktive Anforderungen. Das flüssige Mitteldestillat konnte nicht wie Benzin einfach vergast werden, sondern wurde mit großem technischen Aufwand verdampft, um ein für den Verbrennungsprozeß notwendiges zündfähiges Gemisch zu erhalten. Während Diesel seine ersten, noch sehr vagen

Überlegungen zur Verwendung flüssiger Brennstoffe zu Papier brachte, experimentierten die Deutzer Werkstätten bereits an Verfahren, diese flüssigen Brennstoffe nicht zu verdampfen, sondern direkt in die vorverdichtete Luft einzuspritzen (was später den "technischen Kern" des Dieselpinzips darstellen sollte). Bis zur Jahrhundertwende konnten die Deutzer etwa 1.700 solcher Petroleummotoren, die freilich noch mit einer Glührohrzündung zur Unterstützung des Verbrennungsprozesses ausgerüstet wurden, verkaufen (vgl. Sass, 1962: 256f.) und damit, nach der Gewerbezahlung des Deutschen Reiches aus dem Jahre 1895, einen recht beachtlichen Marktanteil erreichen.

	Zahl der Betriebe	PS/Maschine
Gasmotoren	14.760	3,65
Petroleummotoren	2.083	3,48
Benzinmotoren	1.254	2,79

(Berechnung nach Goldbeck, 1964: 63)

Ebenfalls zu Beginn der 90er Jahre, als sich die beiden ehemaligen leitenden technischen Angestellten der Gasmotorenfabrik Deutz, Daimler und Maybach, mit Vertretern des Finanzkapitals zur Gründung der "Daimler-Motoren-Gesellschaft" (DMG) zusammenfanden, kam es hier über die Frage des richtigen Brennstoffs sogar zu einem Streit, der das Unternehmen nur kurze Zeit nach der Gründung an den Rand des Konkurses bringen sollte. "Selbst im Gründungsjahr der DMG war es nicht klar, welchem Motorenprinzip und welchem Antriebsstoff die Zukunft gehörte: dem langsam- oder schnellaufenden Gas-, Petroleum-, Spiritus- oder Benzinmotor" (Hanf, 1980: 16). Während insbesondere die Kapitalgeber an der Bedienung und Absicherung eines bereits existierenden Marktes interessiert waren und daher den Bau und den Vertrieb von Motoren für den Einsatz im Boots- und Schiffsbau favorisierten, dachte Gottlieb Daimler an einen umfassenden Einsatz benzinbetriebener Motoren (Sass, 1962: 201). Das billige und in seiner niedrigen Verdampfungstemperatur technisch wesentlich einfacher für den Verbrennungsprozeß im Zylinder aufzubereitende Benzin wurde dabei von den Konstrukteuren billigend in Kauf genommen, während die Finanzgeber im Vorstand gerade in der "Furcht vor dem Benzin" die hauptsächlichen Gründe für die "Unbeliebtheit der

schnellaufenden Motoren" vermuteten. "Solange wir keine stationären Petroleum-Motoren und namentlich keine langsam laufenden Maschinen bringen, werden unsere Erfolge auf diesem Gebiet, trotz aller Anstrengungen und Reklamen, nur mäßig sein", hieß es im Geschäftsbericht für das Jahr 1892/93 (zit. nach Mauersberg, 1966: 179). Der bisherige Chef-Konstrukteur Maybach schied wegen dieser Differenzen aus dem gerade erst gegründeten Unternehmen sofort wieder aus, Daimler verharrte in trotziger Distanz, und mit einem neuen Chef-Konstrukteur startete die Geschäftsleitung ein Entwicklungsprogramm für Verbrennungsmotoren, die mit Lampenpetroleum betrieben werden konnten. Die dramatisch zugespitzte Finanzkrise 1895 verhinderte allerdings den Fortgang der technischen Arbeiten auf diesem Gebiet, da sich der neue Gesellschafter, der englische Vertreter der Daimler-Motoren-Gesellschaft Frederick Simms nur unter der Auflage des Wiedereintritts von Maybach zu einer umfangreichen finanziellen Stützungsaktion bereit fand. Mit dieser Personalentscheidung war aber gleichfalls eine technische verknüpft: das Ende des Petroleummotors und die Fortführung der Arbeiten an Benzinmotoren (vgl. Sass, 1962: 211ff.).

Im Jahre 1890 meldeten in Großbritannien die Maschinenbauer Herbert Akroyd Stuart und Charles Richard Binney ein Patent auf einen Motor an, der ebenfalls die nur sehr schwer siedenden Öle durch eine hohe Vorverdichtung der eingesaugten Luft, allerdings mit Hilfe einer Fremdzündung, zur Verbrennung nutzen sollte. In Deutschland arbeitete Emil Capitaine zusammen mit der Leipziger Firma Swiderski an einer "Ölmaschine", die eine optimale Wärmeausnutzung durch das Einspritzen von Petroleum in vorverdichtete Luft verfolgte. Während der ersten Versuche konnte der Verdichtungsdruck immerhin auf 16 at erhöht und ein sehr günstiger Brennstoffverbrauch gemessen werden. "Daß Capitaine nicht einen Schritt weiter gegangen (ist) und durch gesteigerte Verdichtung die Lufttemperatur über die Selbstzündungsgrenze des Brennstoffs erhöht hat, erklärt sich wahrscheinlich aus der Besorgnis vor der damit verbundenen Erhöhung des Zünddruckes, welche Schwierigkeiten in bezug auf das Pleuellager, die Kolbendichtungen usw. erwarten ließ" (Hausfelder, 1928: 15). Bei der Leipziger Maschinenbauanstalt Grob & Co. arbeiteten zu dieser Zeit sogar mehr als zwanzig Ingenieure an einer 800 PS starken Hochdruck-Ölmaschine, die für bereits für den Einsatz als Schiffsantrieb

bestimmt war (Horch, 1940: 38f.). Auch im Siemenskonzern dachte man - wie schon erwähnt - in den 80er und selbst noch in den 90er Jahren weiterhin intensiv über Gas- und Petroleumverbrennungsmaschinen nach und unterhielt enge Kontakte mit verschiedenen "Erfindern" (vgl. Nägel, 1913: 361; Matschoß, 1916: 120ff.).

Eine Reihe von weiteren Patentanmeldungen sowie Prototypen lassen sich finden, deren Konstrukteure zu Beginn der 90er Jahre durchaus darüber orientiert waren, daß eine höhere Verdichtung des Gemisches eine Voraussetzung für einen besseren Wirkungsgrad war und die auch mit anderen Brennstoffen als Benzin experimentierten. Während Diesels zeitgenössische Erfinderkollegen aber mit einem im "herrschenden Stand der Technik" abgesicherten Satz an Elementen, Erfahrungen und Konstruktionsprinzipien operierten und deshalb auch von "abergläubischer Furcht vor den hohen Verdichtungs- und Verbrennungsdrücken" befallen waren, optimierte Diesel seinen Konstruktionsvorschlag - von praktischen Erfahrungen im wahrsten Sinne des Wortes befreit - nach technik-wissenschaftlichen Gesichtspunkten. Die Idee, diesen Motor mittels Gründung eines eigenen Unternehmens und in eigener Regie selbst zu konstruieren und zu vermarkten, ist Diesel zu keiner Zeit gekommen. Neben fehlenden finanziellen Möglichkeiten war es offenbar die Vorahnung auf einen sehr schwierigen Entwicklungsprozeß, um die angestrebten chemisch-physikalischen Prozesse konstruktiv zu beherrschen. Wohl aber auch die Überlegung, daß ein solches Projekt nur dann eine Akzeptanz-Chance haben würde, wenn die führenden Maschinenbauanstalten daran beteiligt waren.

Patentschutz für die Theorie, Ablehnung in der Industrie

Anfang Februar 1892 hatte Diesel seine Berechnungen soweit abschließen können, um erste Schritte zur Patentanmeldung einzuleiten. Ohne einen rechtlichen Schutz seiner Ideen war nicht darauf zu hoffen, daß sich ein Unternehmen mit einem solchen Projekt überhaupt beschäftigen würde. Erstmals 1877 reichseinheitlich formuliert, gewährte das 1891 nochmals modifizierte Patentgesetz (vgl. Nirk, 1977: 361ff.) einen Schutzanspruch auf 15 Jahre, wobei die Einspruchsfrist auf die ersten 5 Jahre begrenzt blieb. Die zu entrichtende Gebühr erhöhte sich jährlich und erreichte zum Ende der gewährten Frist den

stattlichen Betrag von 700 Mark (vgl. Thomas, 1987: 99; zum Vergleich: das durchschnittliche Jahreseinkommen eines Facharbeiters betrug im Jahre 1898 etwa 1200 Mark, vgl. Rupieper, 1982: 279). Patentschutz war in erster Linie Ideenschutz, ein Nachweis der praktischen Funktionstüchtigkeit wurde nicht verlangt. Der dafür umso strenger geprüfte Beweis der Neuartigkeit des eingereichten Konstruktionsentwurfes zwang die Antragssteller daher häufig zu einer inszenierten Originalität, die oftmals zu Lasten der Funktionstauglichkeit ging und Praktikern oft als Kritik am Patenterteilungsverfahren diente, den technik-wissenschaftlichen Orientierungen Diesels aber sehr entgegen kam (vgl. Riedler, 1914: 233ff.). Die Verhandlungen mit dem Patentamt bestärkten Diesel in der Fixierung auf eine kleine Auswahl "reputierlicher" Entwicklungsparameter, ohne mit der notwendigen Sorgfalt die technischen Funktionszusammenhänge zu beachten. Obwohl er die bekanntesten Patentanwälte Berlins konsultierte - offenbar ahnte Diesel die kommenden Probleme voraus -, standen der Anmeldung seines Motors eine Vielzahl bereits erteilter Patente auf vergleichbare Vorschläge entgegen und verzögerten die Prozedur. Erst im Dezember 1892 gewährte das Amt ihm die Schutzrechte für ein "Arbeitsverfahren und Ausführungsart für Verbrennungskraftmaschinen", bei dem in einem "Zylinder vom Arbeitskolben reine Luft oder anderes indifferente Gas (bzw. Dampf) mit reiner Luft so stark verdicht wird, daß die hierdurch entstandene Temperatur weit über der Entzündungstemperatur des zu benutzenden Brennstoffes liegt (...), worauf die Brennstoffzufuhr vom toten Punkte ab so allmählich stattfindet, daß die Verbrennung wegen des ausschiebenden Kolbens und der dadurch bewirkten Expansion der verdichteten Luft (bzw. Gases) ohne wesentliche Druck- und Temperaturerhöhung erfolgt (...) (und) nach Abschluß der Brennstoffzuführung die weitere Expansion der im Arbeitszylinder befindlichen Gasmasse stattfindet" (Patentanspruch, zit. nach Schnauffer, 1958: 312). Um den geforderten originellen Beitrag zum bereits bekannten technischen Wissensstand liefern zu können, entschied sich Diesel - offenbar in Abstimmung mit seinen Anwälten und dem Patentamt -, den zwar etwas modifizierten, im Kern aber erhalten gebliebenen "isothermischen Verbrennungsprozeß" im Patentanspruch festzuschreiben. Es sollte sich später rächen, daß mit dieser auf die Frage der thermischen Wirkungsgrade verengten Perspektive völlig übersehen wurde, daß ein solcher Arbeitsprozeß,

wie ihn Diesel aus Carnots "idealem Kreisprozeß" interpretiert hatte, diese hohe Brennstoffausbeute nur dann gewährleistete, wenn der im Zylinder entwickelte Verbrennungsdruck so gering blieb, daß keine wesentliche Temperatursteigerung eintreten konnte. Dabei mußte aber die gewonnene mechanische Arbeitskraft so niedrig bleiben, daß nicht einmal die Reibungswiderstände überwunden werden konnten (vgl. Meyer, 1913: 7f.). Dem jungen Ingenieur Rudolf Diesel wurde somit als Preis für die geforderte Neuheit ein exklusives Nutzungsrecht für ein Verfahren eingeräumt, das theoretisch sicherlich die angestrebten 85 % Wirkungsgrad erreichte, aber praktisch - wie einige Kritiker recht schnell herausfanden - gar nicht funktionieren konnte. "Man bedenke, als kleiner, armer Ingenieur mit schwächsten Patenten, höchst anfechtbar und sogar nichtig, einmal wegen der Veröffentlichung Köhlers und des inneren Widerspruches untereinander" - Diesel meldete später noch zwei weitere Patente an - und selbst für den Fall, daß die zu Recht bestanden, niemals den wirklich ausgeführten gangbaren Motor schützen konnten, der auch durch neue Patente nicht mehr geschützt werden konnte" (Thiemann, 1929: 19). Dennoch sollte es Diesel gelingen, auf dieser labilen rechtlichen Grundlage ein Unterstützer-Netzwerk für sein Vorhaben aufzuziehen, seine Konstruktionsvorschläge mit den Segnungen professoraler Autorität versehen zu lassen und sich auf diese Weise eine Eintrittskarte für die industrielle Welt des Maschinenbaus zu verschaffen. Wir werden dabei verfolgen können, mit welcher Ausdauer, Zähigkeit und auch mit welchem Geschick der junge Ingenieur die jeweiligen Eigeninteressen auslotete, für sein Projekt zu nutzen versuchte und sich in diesen organisatorischen Fähigkeiten von seinen Ingenieur-Kollegen unterschied. Obwohl alle Welt an neuen motorischen Antriebssystemen interessiert war, stellt sich sehr schnell heraus, welche große Mühe es kostete, in die Phalanx der herrschenden Vorstellungen, Konventionen, Überzeugungen und Verständnisse einzubrechen und neue konstruktive Optionen zu eröffnen, Ressourcen zu mobilisieren und genügend Machtpotentiale zu sammeln, um einmal die herrschenden Eliminierungskriterien außer Kraft zu setzen und dann die gewonnenen Erfahrungen gegen den herrschenden Konsolidierungskonsens zu verteidigen. Voraussetzungen, so sollte sich noch zeigen, die für eine erfolgreiche Genese wichtiger, aber auch schwerer zu bewerkstelligen waren, als die scheinbar "rein technischen" Arbeiten.

Wir bleiben zunächst noch im Februar des Jahres 1892: Diesel hatte sein Patent angemeldet und Kontakt zu seinem Chef Carl Linde aufgenommen. Von Berlin aus bat er darum, Linde möge sein hohes "Ansehen" und seine "Autorität einsetzen, um sein "System wissenschaftlich zu vertreten und einige Fabriken zu veranlassen", seine "Vorschläge auf deren Rechnung auszuführen". Er hoffte, eine stationäre Maschine bei der Maschinenfabrik Augsburg und eine Lokomotive bei der Firma Krauß in Auftrag geben zu können. Darüber hinaus bat er Linde noch, ihm "verhältnismäßig geringe Mittel an die Hand zu geben", um die weiteren Entwicklungsschritte finanzieren zu können und stellte seinem Chef einen Anteil an dem zu "erwartenden bedeutenden Gewinn" in Aussicht (Diesel, zit. nach Schnauffer 1958: 312). Doch Linde lehnte eine unternehmerische Beteiligung an dem Motorenprojekt ab. Aus einem Brief von Ende März 1892 geht hervor, daß Linde zwar die von Diesel eingeschlagene "Richtung, scharf und richtig auf das Ziel" loszusteuern, durchaus begrüßte, daß er den Versuch, eine bessere Brennstoffauswertung zur Gewinnung mechanischer Arbeit zu erreichen, unterstützte und den "konstruktiven Anteil" der Arbeit als fehlerfrei betrachtete, aber "weit davon entfernt" war, dem von Diesel kalkulierten Wirkungsgrad von 75 % zuzustimmen. "Die Gesellschaft für Linde's Eismaschinen kann sich aber jedenfalls nicht mit dieser Sache befassen", schrieb Linde seinem Angestellten und fügte unmißverständlich hinzu, daß in dem "Momente, in welchem Sie sich entschließen", dieses Projekt "wirklich zu verfolgen, keine andere Möglichkeit als ihr Austritt aus den Diensten der Gesellschaft" in Frage kommt (Linde, zit. nach Stößner, 1958: 83). Obwohl Linde das Risiko offensichtlich zu hoch war und er Diesels Engagement für seinen Motor aus Sicht des Unternehmensdirektors eher skeptisch gegenüber stand, ermutigte er Diesel - wohl aus der Perspektive des ehemaligen Lehrstuhlinhabers - dennoch "am Ball zu bleiben" und unterstützte ihn zunächst damit, daß er die mittlerweile zu einem Manuskript zusammengefaßten Berechnungen und Überlegungen an den Münchener Professor Moritz Schröter weiterleitete. Schröter war 1879 zum Nachfolger Lindes berufen worden und arbeitete eng mit dem Eismaschinenunternehmen zusammen. Er übernahm einige Jahre später auch die Aufgabe, auf der Hauptversammlung des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) in Aachen, Lindes Verfahren zur Sauerstoffgewinnung mittels flüssiger Luft erstmals

einer wissenschaftlich-technischen Fachöffentlichkeit zu präsentieren (vgl. Linde, 1916: 89f.) - eine Aufgabe, die Schröter im übrigen auch bei Diesels Projekt übernehmen sollte.

Ende März antwortete Schröter Diesel, lobte ebenfalls dessen Berechnungen als auf "theoretisch gesunder Basis" stehend, erwartete aber praktische Schwierigkeiten, insbesondere in Fragen des Zündzeitpunktes, der Bewältigung hoher Spannungen und der hohen Temperaturen und prognostizierte "mühevoll und kostspielige Experimente" im Falle einer Entwicklungsaufnahme. Auch Schröter war von Diesels rationellem Wärmemotor keineswegs begeistert und entschuldigte sein letztlich geringes Interesse an dem Projekt mit einer augenblicklich starken beruflichen Überlastung (Schröter, zit. nach Sass, 1962: 392).

Damit sah es für Diesels ambitionierte Pläne sehr schlecht aus. Zwei anerkannte Vertreter des Theoretischen Maschinenbaus, beide instruiert in der Lehre der Technischen Thermodynamik, sahen in Diesels Konstruktionsvorschlag keineswegs den originellen Beitrag zur Lösung der energietechnischen Probleme und waren zudem gegenüber den praktischen Realisierungschancen dieser "technischen Option" mehr als skeptisch eingestellt.

Dennoch begann Diesel Anfang März unbeirrt mit der Kontaktaufnahme zu einigen Industrieunternehmen. Keineswegs zufällig wählte er dabei die Maschinenfabrik Augsburg (die 1898 mit der Nürnberger Maschinenbau AG zur Maschinenfabrik Augsburg Nürnberg (MAN) fusionierte), die Krupp AG sowie die Gebr. Sulzer aus. Bei diesen Firmen handelte es sich vielmehr um Unternehmen, mit denen auch Linde die ersten erfolgreichen Projekte begonnen hatte und deren gemeinsame Zusammenarbeit Diesel offenbar als eine Art "Innovationsmuster" diente. Unternehmen wie die Gasmotorenfabrik Deutz, immerhin die älteste und im Verbrennungsmotorenbau erfahrenste Firma, kontaktierte er erst später und auch nur deshalb, weil er sich bei seinen Wunschartnern zunächst Absagen einhandelte. Andere Unternehmen des Verbrennungsmotorenbaus wie die schon sehr erfolgreiche Rheinische Gasmotorenfabrik Benz & Co oder die kurz zuvor gegründete Daimler-Motoren-Gesellschaft bezog er überhaupt nicht in seine Planungen mit ein. Die Beantwortung der Frage, in welchem Branchenmilieu und mit Bezug auf welchen "herrschenden Stand der Technik" - dem Dampfmaschinen- oder dem Verbrennungs-

motorenbau - der "rationelle Wärmemotor" projiziert und die ersten Konstruktionsetappen durchlaufen sollte, entpuppte sich hinsichtlich der Konfiguration der Maschine, der Ausbildung der technischen Eigenschaften und damit auch der Verwendungsmöglichkeit, als eine grundlegende und mit irreversiblen Folgen belastete Entscheidung; denn einmal mit signifikanten Elementen und Konstruktionsprinzipien eines "Standes der Technik" versehen, war ein neues motortech-nisches Prinzip für die weitere Karriere "geprägt", ein "Transfer" in andere Nutzungsbereiche damit bis auf weiteres ausgeschlossen.

Einem ersten Brief an die Geschäftsleitung der Maschinenfabrik Augsburg legte Diesel sein umfangreiches Manuskript bei und erklärte in einem Begleitschreiben, daß möglicherweise auch schon mit 150 at (statt der angegebenen 250 at) befriedigende Resultate möglich seien. Diesel verfaßte seinen Brief recht selbstbewußt und begann bereits die vagen und recht oberflächigen Einschätzungen Lindes und Schröters zur Stützung seiner Verhandlungsposition zu gebrauchen. Er wies die Geschäftsleitung in Augsburg nämlich darauf hin, daß "die Theorie bereits als richtig anerkannt" sei und man sich daher "das Durchsehen derselben ersparen könne". Er empfahl, daß "Augenmerk mehr auf die Konstruktion und die praktische Seite des Problems (zu) richten" (Diesel, zit. nach Stößner, 1958: 85). Unterdessen hatte Carl Linde seinen Geschäftspartner Heinrich Buz, den Direktor der Maschinenfabrik, über Diesels Projekt informiert. Auch Diesel selbst verfügte über gute Kontakte zur Augsburger Maschinenfabrik. Von seinem Studienfreund aus Münchener Tagen Lucian Vogel, der nicht nur zum Oberingenieur und Leiter der Eismaschinenabteilung aufgestiegen, sondern auch der Schwiegersohn des Direktors geworden war, durfte Diesel Unterstützung erhoffen (vgl. Rupieper, 1982: 39).

Diesels Distanz zur herrschenden Praxis, die ja auf der einen Seite eine Voraussetzung für den Entwurf unkonventioneller Lösungsschritte war, machte sich auf der anderen Seite aber sofort als gravierender Nachteil bemerkbar, als von den Erzeugern, Trägern und Verwalten des bisherigen "Standes der Technik", den führenden Maschinenbauunternehmen, die Umsetzung eines solchen Projektes gefordert wurde. Anfang April erhielt Diesel aus Augsburg einen Brief, in dem die Geschäftsleitung bedauerte, den von Diesel vorgeschlagenen Wärmemotor nicht bauen zu können. "Wir haben die Sache reiflich nach allen Richtungen überlegt", hieß es in dem Ablehnungsschreiben, "und

erachten die Schwierigkeiten der Ausführungen derart groß, daß wir uns an die Sache nicht wagen können" (zit. nach Sass, 1962: 425). Damit war Diesel, wie vielen anderen seiner zeitgenössischen Kollegen, mit seinem Motorenprojekt - trotz guter Referenzen - der Zugang zur industriellen Praxis verwehrt worden.

Der Vorschlag Diesels traf in Augsburg zu einer Zeit ein, als die Maschinenfabrik erstmals von der rezessiven Wirtschaftslage betroffen wurde. Über die gesamte Periode der "Großen Depression" hatte das Unternehmen zwar mäßige, aber doch stabile Wachstumsraten erwirtschaften können und mußte erst zu Beginn der 90er Jahre, dann allerdings auch im gesamten Verkaufssortiment, zum Teil recht erhebliche Einbrüche verzeichnen. Gegenüber dem Geschäftsjahr 1890/91 war der Umsatz im Zeitraum 1892/92 von 6,8 Mio. Mark auf 5,2 Mio. Mark gefallen. Der Absatz von Dampfmaschinen ging von 106 Einheiten im Vorjahreszeitraum auf 78 Maschinen zurück, der von Dampfkesseln von 24 auf 16 Stück. Selbst der Verkauf von Buchdruckmaschinen, ansonsten ein echter "Renner" im Augsburger Angebot, reduzierte sich von 275 auf 206 Maschinen. Von den Kühlanlagen "System Linde" konnten mit 41 Einheiten noch nicht einmal die Hälfte der Vorjahresproduktion abgesetzt werden (84 Anlagen). Noch deutlicher spiegelte sich die wirtschaftliche Abwärtsbewegung im sinkenden Beschäftigungsstand wider, der von 2.053 Arbeitern und Angestellten (1890/91) auf 1.629 zurückging (vgl. Bitterauf, 1924: 97). Vermutlich trug diese überaus ungünstige wirtschaftliche Entwicklung dazu bei, daß die Unternehmensleitung in dieser Situation - wir werden in den nächsten Kapiteln näher auf die Motive und Handlungsstrategien der Geschäftsleitung eingehen - mehr auf einer konsequenten Beharrung der bisherigen Produktpolitik bedacht war, als sich mit riskanten Entwicklungsprojekten auseinanderzusetzen.

Bündnispolitik

Nach Erhalt des Ablehnungsschreibens von der Augsburger Maschinenfabrik begann Diesel darüber nachzudenken, wie weit er von seinem angestrebten thermischen Wirkungsgrad heruntergehen sollte, um eine für die Industrie akzeptable und maschinell beherrschbar erscheinende Kompressionshöhe angeben zu können. In einem weiteren Brief an Heinrich Buz bot er erstmals einen nunmehr deutlich redu-

zierten thermischen Wirkungsgrad von 55-66 % an und gab sich auch in der Frage der Brennstoffoption moderater als in seinem ersten Schreiben, worin er noch vehement für Kohlenstaub eingetreten war. Noch am gleichen Tag verfaßte er ein weiteres Schreiben an Carl Linde mit der Bitte, bei der Bildung eines Konsortiums zur Entwicklung seines Motors helfend zur Seite zu stehen. Offensichtlich rechnete Diesel nicht mehr mit einer Unterstützung aus Augsburg. Nur drei Tage später erläuterte er aber Buz nochmals schriftlich sein Kompromißangebot mit den entsprechenden Zahlenwerten und vergaß diesmal nicht, auf die geschäftlichen Aspekte eines rationellen Wärmemotors hinzuweisen: "Noch möchte ich betonen, daß es sich hier nicht etwa darum handelt, ein neues System von Gas- oder Petroleummotoren zu bauen; in diesem Falle wäre Ihre Weigerung, sich der Sache anzunehmen, vollkommen erklärlich". In Anspielung auf die tragenden Säulen des Augsburger Produktionsprogramms fügte er hinzu, daß es sich vielmehr "um Ersatz der jetzt gebauten Dampfmaschinen nebst Dampfkessel durch etwas viel einfacheres und vollkommeneres (handelt); von diesem Standpunkt aus betrachtet", gab Diesel Buz zu Bedenken, müsse eine solche Angelegenheit gerade für eine Firma von "Weltruf" wie der Augsburger Maschinenfabrik schon aus "geschäftlichem Interesse" erwägenswert sein (Diesel, zit nach Sass, 1962: 426).

Am gleichen Tag versuchte er die Kontaktaufnahme zu weiteren Industriefirmen vorzubereiten. In einem Brief an Gustave Richard, einem einflußreichen Pariser Professor, bat er nun auch um Hilfestellung für einen Zugang zur Gasmotorenfabrik Deutz. In diesem Schreiben ging er nur noch von einem "praktischen Ausnutzungsgrad des Kraftstoffes von 40-50 %" aus - Überlegungen, die er auch dem Direktor der damals noch in Berlin ansässigen Mannesmann-Werke erläuterte (vgl. Schnauffer, 1958: 314).

Die erhoffte schnelle Antwort aus Augsburg blieb aber aus, die Erteilung des Patents verursachte große Schwierigkeiten und Carl Lindes Unterstützungsleistungen blieben eher symbolischer Natur. Vor allen Dingen die Ablehnung der Augsburger Geschäftsleitung mußte Diesel sehr enttäuschen, denn immerhin arbeitete die Linde-Gesellschaft sehr eng mit der Maschinenfabrik Augsburg zusammen. Diesel selbst war bereits 1881 mit Heinrich Buz persönlich zusammengetroffen, als er, noch während seiner Tätigkeit in Paris, ein Verfahren zur

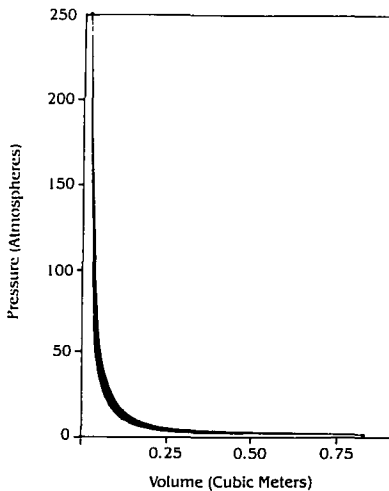
Herstellung von Klareis zum Patent angemeldet hatte, die deutsche Linde-Gesellschaft aber an einer Verwertung kein Interesse zeigte und er deshalb über eine direkte Zusammenarbeit mit der Augsburger Maschinenfabrik verhandeln mußte (vgl. E. Diesel, 1937: 121f.).

Mitte April wandte sich Diesel zunächst in schriftlicher Form wieder an Schröter. Hierbei erneuerte er seine Bereitschaft, Abstriche vom thermischen Wirkungsgrad einzukalkulieren, etwa 67-68 % schienen ihm diesmal akzeptabel, wenn dafür nur eine Minimierung der maximalen Luftkompression auf nur noch 80-90 at zu erreichen wäre. Der eigentliche Adressat des Briefes scheint aber wieder Heinrich Buz gewesen zu sein. Diesel konnte nach einem abschlägigen Antwortschreiben und zwei weiteren unbeantwortet gebliebenen Erläuterungsschreiben nicht noch ein viertes Mal innerhalb nur weniger Wochen direkt an Augsburg schreiben und ließ deshalb nachrichtlich eine Abschrift seines Briefes an Schröter der Augsburger Geschäftsleitung zukommen. In diesem Brief wies er erneut daraufhin, daß in anderen technischen Bereichen die in seinen Berechnungen auftauchenden Maximalwerte durchaus ohne Probleme konstruktiv beherrscht würden. "Ich komme demnach in Verhältnisse", erläuterte der Eismaschineningenieur Diesel, "wie sie die heutigen Kohlensäurekompressoren ohne merklliche Schwierigkeiten und mit bedeutenden Nutzeffekten in hundert von Ausführungen besitzen; desgl. arbeiten eine Menge anderer Gaskompressoren, z.B. für Sauerstoff usw. unter ähnlichen Drücken; die Luftkompressoren der Torpedos erzeugen ebenfalls ganz geläufig Luftdrucke von 80-100 at, welche noch Tage, Wochen und Monate lang in Gefäßen, die durch Ventile abgeschlossen sind, ohne merklliche Verluste erhalten (bleiben)" (Diesel, zit. nach Sass, 1962: 393). Diesel erreichte mit seiner Zähigkeit immerhin, daß sich nun Schröter etwas genauer mit dem Motorenprojekt beschäftigte, aber auch nur wieder den Rat geben konnte, zunächst einmal mit niedrigeren Kompressionsspannungen zu beginnen. Zudem wies er Diesel darauf hin, daß auf der beigelegten graphischen Darstellung des gedachten Verbrennungsprozesses, zwischen der Verdichtungs- und der Verbrennungslinie, kaum mehr Raum ausgewiesen sei und dies deshalb Anlaß für Probleme geben könnte.

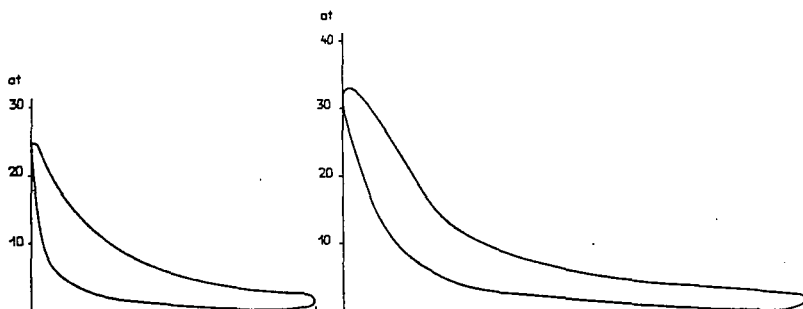
Diese Diagrammfläche, für jeden Maschinenbauer der graphische Ausdruck des Arbeitsvermögens einer Verbrennungsmaschine, war nämlich bei den von Diesel angegebenen Konstruktionen äußerst

"dünn" (vgl. Abb. 5), die zu erwartende Arbeitsleistung mußte also gering ausfallen, während aber der enorme Druckanstieg auf weit über 100 at eine hohe mechanische Beanspruchung des Triebwerkes verursachte. Dem auf thermische Wirkungsgrade fixierten Diesel war offenbar nicht aufgefallen, daß eine Maschine mit einem solchen Diagramm nicht einmal die Eigenreibung überwinden würde. Erst nach der Korrespondenz mit Schröter begann er die oben bereits erwähnten "Abweichungen" von seinem Idealfall zu formulieren, in das Manuskript einzuarbeiten und damit noch vor der Patenterteilung den der Anmeldung zugrunde liegenden Anspruch aufzugeben.

Abb. 5: Indikatoren-Diagramme



Diesels "rationeller Wärmemotor"



Otto-Gasmotor

Dieselmotor (1897)

Erläuterung: Ottomotorischer Verbrennungsprozeß: geringe Kompression (untere Linie) während der Verdichtung; rasche und hohe Druckentfaltung bei der Verbrennung (Spitze), schnelles Absinken des Drucks (obere Linie). Dieselmotorische Verbrennung: hoher Kompressionsdruck, kaum merklicher Druckanstieg bei der Verbrennung, langsamer Druckabfall.

Quelle: Thomas, 1987: 96; Diesel/Goldbeck/Schildberger, 1957: 81

Hoffnungen setzte Diesel auf die Gebr. Mannesmann in Berlin, da die Geschäftsleitung um weitere detaillierte Beschreibungen und Erläuterungen gebeten hatte. Doch bei Mannesmann wollte man alleine - ein für die damalige Maschinenbaubranche durchaus typisches Verhalten - keine Entscheidung treffen und bezog weitere Unternehmen in den Willensbildungsprozeß mit ein. In diesem Fall sollte das Votum der Gasmotorenfabrik Deutz die Orientierungshilfe liefern. Als man sich dort gegenüber dem neuen Motorenprojekt äußerst reserviert verhielt - die Deutzer hatten wenige Jahre zuvor den bis dahin spektakulärsten Patentrechtsprozeß verloren - und eine Zusammenarbeit mit Projekten auf zweifelhafter rechtlicher Basis eher scheute, nahm auch Mannesmann wieder Abstand von einer Zusammenarbeit und Diesel blieb weiter ohne industriellen Zugang (Schnauffer, 1958: 314).

Das intensive Werben und die von Diesel geschickt plazierten lobenden Worte der Professoren Linde und Schröter führten Ende April doch zu einer ersten positiven Reaktion beim industriellen Wunschartner. Die Direktion der Maschinenfabrik Augsburg erklärte sich nun bereit, "unter Umständen die Ausführung einer Versuchsmaschine zu übernehmen, welche aber von solcher Konstruktion sein (sollte), daß alle Ausführungs-Schwierigkeiten möglichst vermieden" würden. In einem Schreiben erläuterte die Geschäftsleitung die Bedingungen: "Es soll zuerst nur der erste Schritt gemacht werden, um zu erheben, ob das System überhaupt praktisch ausführbar ist, ohne vorläufig auf eine bedeutende Erhöhung des Nutz-Erfolges gegenüber anderen Motoren zu sehen" (Buz, zit. nach Sass, 1962: 427). Diese überaus vorsichtige Zusage, die mit unübersehbarer Kritik an Diesels Wirkungsgradberechnungen versehen war, stellte den jungen Ingenieur überraschenderweise nicht zufrieden. Die mit Hilfe Carl Lindes eingeleiteten Bemühungen zur Bildung eines Konsortiums zur Entwicklung des Motors wurden fortgesetzt. Aber Ende Juni mußte Linde Diesel mitteilen, daß er keine Unternehmen für ein solches Projekt gefunden habe und daß er sich überhaupt an keine Zeit erinnern könne, "in welcher eine solche Abneigung gegen jedes neue industrielle Unternehmen" bestanden habe und vielmehr das "Bestreben" vorherrschend sei, "seine Mittel aus industriellen Werken herauszuziehen und dieselben in 'sicheren' Werten anzulegen" (Linde, zit. nach Sass, 1962: 427). Diesels ambitionierte motortechnische Forschungsvorhaben fiel in die Zeit eines veränderten Anlageverhaltens des Finanzkapitals. Die nur noch spärlichen Dividenden der Industriewerte konnten kaum gegen die hohen Zinserträge konkurrieren, die in den 90er Jahren von den staatlichen Anleihen zum Aufbau der Verkehrsinfrastruktur offeriert wurden und die daher erheblich zu einem ungünstigen "Investitionsklima" für private gewerbliche Projekte beitrugen (vgl. H. Rosenberg, 1967: 42).

Im Sommer 1882 begann Diesel noch von Berlin aus mit der Geschäftsführung in Augsburg zu verhandeln. Es stellte sich dabei sehr schnell heraus, daß die Maschinenfabrik keineswegs dazu bereit war, Diesels euphorische Prognosen zu teilen und der Forderung nach einem umfangreichen, aufwendigen und teuren Entwicklungsprogramm zuzustimmen. Ein Vertragsabschluß sollte auch erst im Frühjahr des darauffolgenden Jahres (1883) zustande kommen (vgl.

E. Diesel, 1937: 169f.). Es ist erstaunlich, daß Diesel die Suche nach weiteren Kooperationspartnern fortsetzte und sich keineswegs auf die Augsburger Option versteifte. Obwohl durchaus eine "technologische Aufbruchstimmung" fühlbar gewesen sein mußte, blieb für eine Abschätzung der Realisierungschancen doch die herrschende wirtschaftliche Stagnation entscheidend und einige der führenden Industrieunternehmen hatten sich ja bereits gegenüber dem Projekt "rationeller Wärmemotor" sehr ablehnend geäußert. Möglicherweise ahnte er, daß ihm als "Erfinder" in der Zusammenarbeit mit einer so großen Maschinenbauanstalt sehr bald die Fäden der Entwicklungsarbeit aus der Hand genommen würden. Wir werden später erläutern, daß Diesel tatsächlich trotz seiner Vorsichtsmaßnahmen die Definitionsmacht über den Konfigurationsprozeß des Motors verliert, daß aber durch die breite Bündnissuche die neue Maschine zu einem zentralen Projekt führender Unternehmen des Maschinen- und Motorenbaus wird. Damit waren von vornherein wesentlich günstigere Voraussetzungen für eine erfolgreiche Absicherung im "Stand der Technik" geschaffen als beispielsweise beim NSU/Wankelmotor, wo die Akteure - nur beseelt vom Glauben an die "bessere" Technik - auf den Aufbau und die politische Absicherung einer "Definitionsmacht" verzichteten und der Motor deshalb sehr schnell wieder aus der Angebotsstruktur herausgenommen werden konnte.

Diesels Planungs- und Projektierungsarbeiten waren im Kontext einer wachsenden Akademisierung der technischen Arbeit entstanden und verkörperten die Merkmale einer mehr analytischen Herangehensweise. Im technik-wissenschaftlichen Milieu konnte er Resonanz seiner Ideen erwarten, die in einem Unterstützer-Netzwerk eingebunden, seine Verhandlungsposition gegenüber der Industrie stärken und zu günstigeren Konditionen führen konnten. Voraussetzung war aber, daß Diesel zu den Diskursen des Theoretischen Maschinenbaus sowie der Technischen Thermodynamik Anschluß hielt und vielleicht als Referenzprojekt für die Darstellung der industriellen Brauchbarkeit technik-wissenschaftlicher Forschungsansätze dienen konnte. Im Oktober 1892 nahm er daher Kontakt zum angesehenen Berliner Verlag Julius Springer auf, um sein mittlerweile leicht modifiziertes Manuskript in Buchform veröffentlichen zu lassen. Er verwies auf die positiven Stellungnahmen von Carl Linde und Moritz Schröter und fügte dreisterweise hinzu, daß in Augsburg gerade an der Ausführung der

Maschine gearbeitet werde. Schon im Januar 1893 konnte das Buch unter dem Titel "Theorie und Konstruktion eines rationellen Wärmemotors zum Ersatz der Dampfmaschine und der heute bekannten Verbrennungsmotoren" mit einer Auflage von 1.000 Exemplaren erscheinen, die nach etwas mehr als einem Jahr bereits vergriffen war. Ein weiteres Indiz dafür, daß die Suche nach neuen Wegen in der Energietechnik zu dieser Zeit auf lebhaftes Interesse stieß. Eine englische Übersetzung erschien 1894, eine vom Verlag gewünschte Neuauflage kam aber nicht zustande, da zwischenzeitlich tatsächlich die Entwicklungsarbeiten aufgenommen worden waren und sofort und in kompromißloser Härte die Untauglichkeit der Berechnungsgrundlagen bewiesen hatten.

Unmittelbar nach Erscheinen des Buches sandte Diesel sofort Exemplare an bekannte Natur- und Technikwissenschaftler wie Grasshof, Radinger, Zeuner, Reuleaux, Helmholtz und Bach. In einem Begleitschreiben wies er auf die "leichte Ausführbarkeit" seiner Konstruktion hin und unterstrich nochmals den von ihm für möglich gehaltenen Wirkungsgrad, der nunmehr - für die Lehrstuhlverwalter - wieder auf 75-85 % heraufgesetzt war und forderte die Professoren zu Kommentaren auf. An Industrieunternehmen wie Siemens & Halske, AEG, Körting und die Deutzer Gasmotorenfabrik verschickte Diesel Exemplare mit ausführlicheren Begleitschreiben, selbst einige der führenden Geschäftsbanken wurden mit der Diesel-Schrift beglückt. In einem gesondert formulierten Brief an die Firma Krupp erwähnte Diesel, daß durch die "bedeutenden Druckwirkungen" es geboten erscheine, den ganzen Motor aus Stahl zu bauen" und er daher hoffe, daß sein Motorenprojekt "auch in dieser Hinsicht von Interesse" sein könnte (vgl. E. Diesel, 1937: 169; Sass, 1962: 394; Thomas, 1987: 108ff.).

In dieser Periode, in der sich auch die technik-wissenschaftliche Forschung in der Frage energietechnischer Lösungen neu orientierte, war das Echo auf Diesels Schrift entsprechend lebhaft, aber in der Bewertung keineswegs einheitlich. Die Begutachtung der theoretischen Überlegungen und Konstruktionsvorschläge sowie die Einschätzung der Erfolgsmöglichkeiten verlief dabei ganz unterschiedlich, je nach dem, welche Elemente des Projektes herausgegriffen wurden. Vertreter des Theoretischen Maschinenbaus waren in ihrer Einschätzung durchweg sehr optimistisch, vermuteten sie doch in Diesels

"rationellem Wärmemotor" - es war ja bekannt, daß zumindest die Augsburger Maschinenfabrik interessiert war - endlich einmal ein erfolgreiches Beispiel für einen theoretisch angeleiteten Innovationsprozeß und konnten das "Diesel-Projekt" den Anfeindungen der "Praktiker" entgegenhalten. Die Professoren Busley (Kiel) und Bunte (Karlsruhe), denen Diesel ebenfalls sein Buch zugesandt hatte, schrieben noch im Januar zurück und lobten die ihrer Meinung nach beachtenswerten Berechnungen Diesels. Selbst Reuleaux meldete sich im März und glaubte, eine "lückenlose" und "beweiskräftige" theoretische Durcharbeitung vorliegen zu haben (vgl. Schnauffer, 1958: 316). Gustav Zeuner "freute sich außerordentlich" über Diesels Vorhaben, stellte sich "theoretisch" ganz auf Diesels Seite und verglich die Vorschläge mit seinen eigenen Beiträgen zur Verbesserung des Wirkungsgrades von Wärmekraftmaschinen. "Es entspricht dies vollständig meinem Vorschlage, bei Dampfmaschinen das Speisewasser nicht durch Erwärmung, sondern durch Kompression von Dampf und Wasser auf die Kesseltemperatur zu bringen". Zeuner hatte aber wie einige seiner Kollegen auch, offenbar nur den thermodynamischen Berechnungsteil einer genauen Untersuchung unterzogen, das angegebene und jeden erfahrenen Motorenbauer in Schrecken versetzende Indikatoren-Diagramm nur aus einer theoretischen Perspektive betrachtet. "So radikal und kühn ist noch keiner von denen, welche Dampfmaschinen den Untergang prophezeien, vorgegangen wie Sie und solchem Mut gebürt auch der Sieg" (Zeuner, zit. nach Sass, 1962: 395).

Besonders heftig rührte nun Moritz Schröter die Werbetrommel für Diesels Motorenprojekt. Auf Sitzungen des Bayerischen Bezirksvereins des VDI oder in einer Buchbesprechung im "Bayerisches Industrie- und Gewerbeblatt" blieb er zwar seinen ursprünglichen Befürchtungen treu, daß die Vorkompression auf 40 at reduziert werden mußte, aber auch er glaubte selbst unter diesen Umständen an einen Wirkungsgrad von 60 %. Bemerkenswert und erhellend für das damalige Selbstverständnis der Professoren gegenüber der industriellen Praxis war Schröters abschließende Bemerkung: "Wir haben somit hier das erfreuliche Beispiel, daß die Theorie vorausseilt und mit aller Schärfe die zum Ziel führende Methode angibt; an unserer Maschinentechnik ist es nun zu zeigen, was sie vermag, um die theoretischen Ergebnisse zu verwirklichen; möchten wir bald von einschlägigen Versu-

chen berichten können" (Schröter, zit. nach Sass, 1962: 397). Schröter konnte fünf Jahre später in der Tat von solchen Versuchen berichten, wobei der Professor aus Freude über die gelungene praktische Verwirklichung der theoretischen Überlegungen es bei der Begutachtung aber an Sorgfaltspflicht vermissen ließ und das gesamte Dieselpjekt damit in eine tiefe Krise stürzen sollte.

Professor Gutermuth von der TH Darmstadt wollte in Diesels Berechnungen ebenfalls keinen Fehler sehen. Er gab zwar zu bedenken, daß für den Bau einer solchen Maschine "noch keine genügenden Erfahrungen" vorliegen, aber Befürchtungen über praktische Schwierigkeiten seien völlig unbegründet. "Für den erforderlichen hohen Arbeitsdruck, der übrigens nur für kurze Strecken des Kolbenweges wirksam ist, lassen sich nach anderweitigen Erfahrungen Material wie Stopfbüchsen vollständig dicht herstellen. Auch die hohen Verbrennungstemperaturen erscheinen ohne Bedenken für Material und Stopfbüchsen zulässig; denn sie treten bei jedem Kolbenhub nur vorübergehend auf, da infolge der adiabatischen Expansion der Verbrennungsluft deren Temperatur rasch (...) herabsinkt", referierte der Professor brav die Argumente Diesels (Gutermuth, 1893: 292).

Der Konstruktionsvorschlag eines "rationellen Wärmemotors", mit dem Diesel ja keineswegs einen völlig ungewöhnlichen Weg verfolgte, sondern in der kognitiven Grundformatierung eine bisher liegengebliebene und in den verschiedenen Konsolidierungsbemühungen nicht berücksichtigte "technische Option" in einer zeitgemäßen konstruktiven Form präsentierte, munterte aber Teile der Ingenieurprofession vor dem Hintergrund veränderter Nutzungsbedingungen zu einer Überprüfung ihrer bisherigen Beiträge zum "Stand der Technik" auf. Die Aussagen der Technikwissenschaftler, von Diesel allerdings auch mobilisiert und wirkungsvoll in Szene gesetzt, waren dabei von einer sehr selektiven Bewertung. Eine - wie sich noch herausstellen sollte - den komplexen technischen Gesamtzusammenhängen nicht angemessene Betrachtungsweise, doch ließen sich diese Aussagen zu einer "Gegenmacht" formen, die den bisher im "Stand der Technik" zusammengefaßten Wissens- und Erkenntnisgrundlagen den konsolidierten und hermetisch abgeschlossenen Charakter nahmen und damit eine wesentliche Vorbedingung für die Resonanzfähigkeit unkonventioneller Konstruktionsvorschläge schafften.

Es gab selbstverständlich auch Vertreter in der "Zunft" der Motoren- und Maschinenbauingenieure - Weyrauch (Stuttgart), Brauer (Karlsruhe) und Fliegner (Zürich) (vgl. Schnauffer, 1958: 316) -, die zu anderen, wesentlich skeptischeren Einschätzungen über mögliche Perspektiven eines solchen Wärmemotors gelangten. Köhler meldete sich im April zu Wort und verwies auf seine eigenen Berechnungen und Konstruktionsvorschläge und bestritt in einem Brief an Diesel die Möglichkeit, daß eine nach Carnots "idealem Kreisprozeß" gebaute Maschine funktionieren könne. Die riesigen Kolbendrücke würden ein starkes Getriebe mit enormen mechanischen Reibungen entstehen lassen. Auch eine isothermische Expansion war nach Köhler durch die zwangsläufig auftretenden hohen Verbrennungsgeschwindigkeiten überhaupt nicht zu erreichen. Ein von ihm bereits im Frühjahr gehaltenen, aber erst im September 1893 in der Zeitschrift des VDI veröffentlichter und damit einem breiteren Publikum zugänglicher Vortrag, sollte einige Mitglieder der gerade gegründeten "Diesel-Gruppe" daher auch in erhebliche Unruhe versetzen (vgl. Sass, 1962: 400).

Sehr viel reservierter, bisweilen sogar offen ablehnend, reagierte die Industrie auf Diesels Vorschläge. Zu den vielen angeschriebenen und mit einem Buchexemplar bedachten Unternehmen gehörte auch - vermittelt durch Diesels Freund Venator und dem Berliner Professor Slaby - Wilhelm Öchelhäuser, Direktor der Deutschen Continental Gas-Gesellschaft in Dessau. Um der wachsenden Konkurrenz der Elektrizitätswirtschaft etwas entgegenzusetzen, war man hier auf die Idee gekommen, mit der Konstruktion einer Groß-Gasmaschine auch einen neuen Absatzmarkt für Gas zu schaffen (vgl. Öchelhäuser, 1914: 126). Auf dem Werksgelände der Gesellschaft arbeitete zu diesem Zweck eine kleine Entwicklungsfirma, "Versuchsstation für Gasmotoren von Öchelhäuser und Junkers", die für dieses Verbrennungsmotorenprojekt ebenfalls mit einer "technischen Option", dem Triebwerkskonzept eines "Gegen-Kolbens" operierte. Diesel hoffte, daß in Dessau, wo mit Unterstützung einer großen Gasgesellschaft und noch dazu abseits vom "herrschenden Stand" nach neuen Wegen motorischer Verbrennung gesucht wurde, auch seinem Projekt ein größeres Verständnis entgegengebracht würde. Öchelhäuser legte zudem sehr viel Wert auf wissenschaftlich-technischen Sachverstand und arbeitete sehr eng mit den Professoren Slaby, Junkers, Lynen und Wagner zusammen. Doch selbst ihm blieben Diesels theoretisch orientierte Er-

läuterungen eher suspekt. "Autoritäten auf dem Gebiete der Wärmemotoren erklärte er überhaupt nicht anzuerkennen und selbst seinen Freund Slaby nehme er nicht aus, denn auf keinem Gebiete spiele die Praxis der Theorie so viele Streiche wie auf dem der Wärmemotoren und der reine Theoretiker sei ihm deshalb auf diesem Gebiete achtenswert aber im Übrigen ohne Bedeutung. Erst eine durch die Praxis bestätigte Theorie habe Wert für ihn" (Sass, 1962: 395). Später erläuterte Öchelhäuser, daß ihm Diesels starkes Eintreten für den Kohlestaub als Brennstoff, was nun seinen Interessen zur Vergrößerung des Gasabsatzes überhaupt nicht entgegen kam, besonders mißfallen habe (vgl. Öchelhäuser, 1914: 142). Die für andere Industrievertreter so erschreckend hohen Kompressionsdrücke dürften Öchelhäuser hingegen kaum beunruhigt haben, da man sich in den Dessauer Versuchswerkstätten bereits in ganz ähnlicher Weise über die herrschenden Konventionen im Verbrennungsmotorenbau hinweggesetzt hatte. Während Diesel seine theoretischen Ausführungen noch zu begründen versuchte, erreichte eine Doppelkolben-Gasmaschine schon den Kompressionsdruck von 19 at und einen Verbrennungsdruck von 68 at (vgl. Öchelhäuser, 1914: 123). In der später konstituierten "Diesel-Gruppe" nahm man von den in ganz ähnlicher Richtung verlaufenden Dessauer Versuchen aber keine Notiz. Öchelhäusers Interesse an der Entwicklung schwand in dem Moment wieder, wo die Gas-Industrie Preise und Absatzmengen unter "Kontrolle" bekam. Ohne institutionelle Absicherung sollten aber die Versuche, die mit Betriebsresultaten aufwarten konnten wie sie der Dieselmotor in der gesamten ersten Augsburger Entwicklungszeit nicht erreichen sollte, alsbald eingestellt werden. Das Projekt geriet in Vergessenheit und der Gegen-Kolbenmotor blieb auch weiterhin nur eine "technische Option".

Der Vorstandschef der Deutzer Gasmotorenfabrik Eugen Langen meldete sich ebenfalls auf Diesels Anschreiben. In der Zwischenzeit war die Patenterteilungsprozedur erfolgreich abgeschlossen worden und eine Zusammenarbeit mit Deutschlands führender Motorenbaufabrik hätte beginnen können, zumal Diesels Vorschläge ja mittlerweile deutlich moderater abgefaßt waren. In einem Antwortschreiben vom Januar 1893 äußerte Langen daher auch, daß die von Diesel eingereichten Bauvorschläge seine "ganze Aufmerksamkeit" gefunden hätten und er zusammen mit seinen Kollegen aus der Direktion von der

theoretischen Korrektheit der Berechnungen vollkommen überzeugt sei. "Sie werden es mir aber nicht verargen", schränkte er ein, "wenn ich als erfahrener Praktiker erhebliche Bedenken bezüglich der Ausführungs- und Durchführungsfähigkeit diese Anschauung habe; Erfahrungen mit Maschinen, welche 300 Touren machen, über 200 Atmosphären Spannung beherbergen, dabei in kaum meßbar kurzer Zeit festes Brennmaterial aufnehmen und konsumieren sollen, sind überhaupt noch nicht gemacht, und ich glaube nicht zu irren, wenn ich annehme, daß diese Erfahrungen mit einer ganz gewaltigen Enttäuschung verknüpft sein werden" (Langen, zit. nach Goldbeck, 1964: 108).

Diesels Vorschläge waren für die führende Motorenfabrik zuweit vom "Stand der Technik" entfernt, mit einem zu hohen Risiko behaftet und hätten zur Realisierung eine Handlungsbreitschaft erfordert, zu der die Firma in dieser Zeit nicht der Lage war. Das 1872 in eine Aktiengesellschaft umgewandelte Unternehmen befand sich zu Beginn der 90er Jahre als Folge eines sehr schlecht vorbereiteten Generationswechsels in einer Führungskrise. Mit Emil Pfeiffer, Aktionär und Aufsichtsratsvorsitzender, Nikolaus Otto, Unternehmensgründer und Chef-Entwickler sowie kurze Zeit später Eugen Langen, verstarben innerhalb nur weniger Jahre die prägendsten Figuren der Gründerzeit, ohne daß geeignete Nachfolger zur Verfügung gestanden hätten. Nicht nur aus dieser Perspektive hatte sich deshalb das ursprüngliche Erfolgskonzept, die Zahl der Kapitalgeber sehr klein zu halten und eng in die unternehmerische Arbeit einzubinden, als unzeitgemäß erwiesen. Mit den wenigen Anteilseignern konnte das für den verschärften Wettbewerb dringend notwendige Kapital nicht beschafft werden und auch die seit dem verlorenen Patentprozeß 1886 im ganzen Betrieb herrschende Agonie nicht bekämpft werden. Bis in die späten 90er Jahre mußten die Deutzer in den Schlüsselpositionen daher mit Interimslösungen zurechtkommen. "Wilhelm Andreä war kurz nach seiner Wahl gestorben, die Berufung des bekannten Ingenieurs Pfarr aus Heidenheim scheiterte an dessen Forderungen und Wünschen". "Hermann Schumm hatte sich wegen eines schweren Leidens 1898 nach Bonn zurückziehen müssen und konnte dem Vorstand nur noch beratend helfen. Die technische Leitung übernahm Bela Wolf, schon mehrere Jahre Chef der Konstruktion. Es traten Unstimmigkeiten ein, der Vorstand legte ihm den Austritt nahe. Sein Nachfolger Münzel

war nur wenige Jahre im Vorstand, er wurde 1901 ersetzt durch Carl Stein und Adolf Langen" (Goldbeck, 1964: 101). Erst ab der Jahrhundertwende konnte sich in Deutz die personalpolitische Situation wieder so weit konsolidieren, mit den Brüdern Adolf und Arnold Langen sowie dem 1906 in den Aufsichtsrat berufenen Peter Klöckner die notwendigen Maßnahmen zur Neufassung des Produktionsprogramms und zur Reorganisation und Modernisierung der arbeitstechnischen und fabrikorganisatorischen Bedingungen eingeleitet werden (vgl. Goldbeck, 1964: 116).

Bei der Absage des Deutzer Unternehmens blieb es nicht. Eine weitere sehr renommierte Maschinenbauanstalt, die Gebr. Körting AG in Hannover, die sich vor allen Dingen als Zulieferer für Dampfmaschinen einen guten Namen erworben hatte, zeigte zunächst großes Interesse an Diesels Ideen. Die letztlich aber dennoch erteilte Absage (Sass, 1962: 396) ließ deutlich die für den damaligen Maschinenbau typische Arbeitsweise eines "seriellen Verarbeitungsmusters" erkennen. In Hannover teilte man durchaus Diesels Auffassung, daß nur über eine erhöhte Kompression eine bessere Brennstoffausnutzung erreicht werden konnte, aber man entschied sich bei der Realisierung für einen anderen Weg. "Verhältnismäßig leicht vorzunehmende Versuche", die "rein praktischer Natur" waren, sollten an konventionellen Gasmotoren unter der Fragestellung vorgenommen werden, "wie weit man, ohne (...) erheblichen Schwierigkeiten beim Bau und Betrieb zu begegnen, die Kompression führen kann" (Körting, zit. nach R. Diesel, 1913: 125). Bei einer Kooperation mit Diesel wären zu viele Entwicklungsparameter gleichzeitig "geöffnet" worden und ein unter ökonomischen Gesichtspunkten dringend erwünschter schneller Erfolg damit nicht mehr gewährleistet gewesen. Körting entschied deshalb, mit den im "Stand der Technik" befindlichen und mit "Funktionsgarantie" versehenen Bauformen zu experimentieren und damit unter weitaus besser kontrollierbaren Bedingungen neue Erkenntnisse zu sammeln.

Als Anfang Februar in Berlin schließlich noch ein Oberingenieur der Gebr. Sulzer erschien und die mangelnde Berücksichtigung des mechanischen Wirkungsgrades bei der Konstruktionsplanung kritisierte, spitzte sich die Lage für Diesel langsam zu. Obwohl Diesel mittlerweile seine Berechnungen noch weiter an den in der Industrie gängigen Größenordnungen orientiert hatte, blieben die Verhandlungen ohne Ergebnis. In seiner Not telegraphierte er nach Dresden, um

Zeuner zu bitten, den Schweizer Ingenieur auf seiner Rückreise nach Winterthur in Dresden zu empfangen und umzustimmen. Doch reichte Zeuners Autorität hierfür nicht aus und die Gebr. Sulzer blieben dem Diesel Vorhaben gegenüber zunächst sehr reserviert.

"Diesel-Gruppe"

Immerhin waren die Verhandlungen mit Augsburg weitergelaufen. Aber mit dem von Augsburg vorbereiteten Vertragsentwurf zeigte sich Diesel keineswegs einverstanden. Zu diesem Zeitpunkt (Dezember 1892) war er zwar noch nicht im Besitz aller Ablehnungsschreiben der von ihm angeschriebenen Industrieunternehmen, doch mußte er aus den bisherigen Verhandlungen große Probleme bei der Realisierung befürchten. Seine kritische Reaktion auf das Augsburger Angebot, daß der einzige Vorteil, den er aus dem Vertragswerk ziehen könne, die "Garantie" sei, "daß der Motor auch wirklich innerhalb einer gegebenen Zeit ausgeführt wird, und daß nicht Gründe wie Mangel an Zeit oder andere die Fertigstellung hinausschieben", war unter diesen Umständen hoch gepokert. "Im übrigen" - fügte er hinzu - "sind alle Vorteile nur auf ihrer Seite" (Diesel, zit. nach Sass, 1962: 428). Immerhin hatte Diesel mit einem solchen Vertragswerk schon erreicht, daß Augsburg das Interesse am "rationellen Wärmemotor" nicht nur vortäuschen konnte, um nach Abschluß eines exklusiven Nutzungsvertrages das Vorhaben langsam wieder in der Schublade verschwinden zu lassen und damit eine drohende Substitution der Dampfmaschinenteknik durch Verweis auf die Undurchführbarkeit des Projektes verhindern zu können. Möglicherweise ahnte Diesel auch die kommenden Projektions- und Entwicklungsprobleme voraus, die ein einzelnes Industrieunternehmen sehr schnell zur Aufgabe bewegen konnte und ein ebenso elegantes Verschwinden seines Motors bedeutet hätte.

Mit dem Augsburger Vertragsangebot war aber immerhin ein Fuß in die Tür der Industrie gesetzt. Eine weitere sehr renommierte Unternehmensgruppe meldete sich im Januar auf Diesels Rundschreiben. Der Essener Krupp-Konzern hatte gerade (Ende 1892) das in Magdeburg-Buckau ansässige Gruson-Werk gekauft, das kurz zuvor von Buss, Sombart & Co die gesamte Abteilung Verbrennungsmotorenbau übernommen hatte. Den Hintergrund dieser Transaktion des Eisen- und Stahlkonzerns bildeten die erstmals 1886 von dem Hütteninge-

nieur Fritz Lürmann skizzierten Gedanken, für Verbrennungsmotoren nicht nur auf das in den Gasanstalten fabrizierte teure Leuchtgas zurückzugreifen, sondern die beim Verhüttungsprozeß der Eisenerze anfallenden Gichtgase als Brennstoffe zu nutzen (vgl. Lürmann, 1886: 702). Solche Ideen waren Ende der 80er Jahre erstmals vom Hörder Bergwerks- und Hüttenverein aufgegriffen worden, der in Zusammenarbeit mit der schon erwähnten "Versuchsstation für Gasmotoren von Öchelhäuser und Junkers" die Installierung von Großgasmaschinen zu Versuchszwecke unmittelbar auf dem Gelände der Hütte plante (vgl. Sass, 1962: 305).

Die Krupp-Werke gaben Diesel sogar Gelegenheit, sein Projekt ausführlich in Essen vorzustellen. In den Augen Diesels verlief diese Begegnung so vielversprechend, daß er sofort nach Rückkehr in Berlin einen Vertragsentwurf ausarbeitete und nach Essen zurücksandte. Die Essener Geschäftsführung hingegen kam zu einer ganz anderen Einschätzung und äußerte sich in einem Brief an den Konzernchef Friedrich Alfred Krupp dahingehend, daß "die Wahrscheinlichkeit eines Erfolges noch nicht zu übersehen ist, und die Sache doch mehr oder weniger einen Sprung ins Dunkle darstellt, wobei von Anfang an bedeutende Kräfte und Mittel aufzuwenden sind" (zit. nach Schnauffer, 1958: 316). Die bereits angelaufenen Entwicklungs- und Versuchsarbeiten anderer Montankonzerne und der möglicherweise bevorstehende Vertragsabschluß mit der Augsburger Maschinenfabrik, immerhin einem der renommiertesten Unternehmen in der Maschinenbaubranche, ließen es aber nicht geraten erscheinen, sich sofort und definitiv gegen das Projekt zu entscheiden. Zwei Direktoren wurden im Februar 1893 nach Augsburg beauftragt, um den Stand der Verhandlungen zwischen Diesel und der Maschinenfabrik zu recherchieren. Diesen Besuch nutzte Diesel erneut für seine bündnispolitischen Bemühungen aus. Denn mit dem Erscheinen zweier so hochrangiger Vertreter eines ökonomisch so starken Konzerns wie Krupp, setzte er die Augsburger Maschinenfabrik unter Druck, sich nun doch etwas intensiver mit seinen Anliegen und Forderungen auseinanderzusetzen. Das Risiko, daß möglicherweise ein den bisherigen "Stand der Technik" revolutionierendes Motorenkonzept in die Hände eines potentiellen Konkurrenten geriet, war nun nicht mehr vollständig auszuschließen. Hinzu kam, daß mehr und mehr die positiv gestimmten Gutachten der verschiedenen Hochschullehrer eintrafen, die Diesels

Projekt wissenschaftlich aufwerteten. Die Maschinenfabrik Augsburg, die bislang sehr viel Geld mit dem Bau von Kolben-Dampfmaschinen verdient hatte und die um die Suche nach neuen technischen Optionen wußte, konnte sich damit Diesels "rationellem Wärmemotor" noch schwerer entziehen. War aber erst einmal eines der führenden Industrieunternehmen bereit, "ins Boot" einzusteigen, mußten auch andere Fabriken das Geschehen aufmerksamer verfolgen. Als die Verhandlungen zwischen Diesel und Augsburg nun endlich in ein konkretes Stadium getreten waren, zeigte sich auch die Essener Geschäftsleitung geneigt, unter diesen Bedingungen das Projekt aufzugreifen. "Gegen die Übernahme der Sache spricht", so hieß es zwar in einem erneuten Vorstandsbericht, "daß es sich um einen vollständig neuen Geschäftszweig handelt - auch im Grusonwerk sind für den Motorenbau in Form von Gasmotoren bis jetzt nur kleine Anfänge gemacht. Sodann kommt in Betracht, daß trotz der günstigen Beurteilung unserer Herren Techniker, der allerdings die gleich günstige Beurteilung verschiedener Theoretiker von Ruf und die von der Maschinenfabrik Augsburg an den Tag gelegte gute Meinung von der Sache zur Seite steht", die "recht hohen Forderungen des Herrn Diesel" und die im Vergleich zur Maschinenfabrik Augsburg ungünstigeren Verwertungsaussichten zu bedenken sind. Aus dieser von Diesel geschickt in ein Vertragsangebot überführten Interessenkonstellation konnten sich die Essener aber schließlich nicht entziehen, denn es könnte "immer noch so viel übrig (bleiben), daß für uns die Sache doch sehr der Überlegung wert ist" (zit. nach Sass, 1962: 248f.).

Mitte April 1893 war das umfangreiche Vertragswerk zwischen Diesel, Krupp und der Maschinenfabrik Augsburg unter Dach und Fach: Diesel trat die Verwertungsrechte seines Patenten für die süddeutschen Länder an die Maschinenfabrik Augsburg, für alle anderen deutschen Länder sowie für Österreich-Ungarn an Krupp ab. Essen und Augsburg bildeten ein Konsortium, um die Versuche nicht getrennt, sondern in einem gemeinsamen Laboratorium durchzuführen und die Erfindung gemeinsam auszuwerten. Diesel selbst sollte von nun an keiner anderen Tätigkeit mehr nachgehen, sondern die Versuchsarbeiten so lange leiten, bis eine marktreife Maschine entwickelt war. Während dieser Zeit erhielt er ein jährliches Gehalt von 30.000 Mark, das von der Firma Krupp allein gezahlt werden mußte, während an den anderen Kosten beide Firmen beteiligt waren. Das Labo-

ratorium wurde nach Augsburg gelegt. Lediglich die Sonderversuche, insbesondere die Verwendung von Gas, sollten in Essen durchgeführt werden (E. Diesel, 1937: 178).

Kurze Zeit später, im Mai 1893, gelang es Diesel, sogar noch die Firma Sulzer umzustimmen und ebenfalls in die nun damit formierte "Diesel-Gruppe" einzubinden. Bei einer Beteiligung eines faktischen (Augsburg) und eines potentiellen (Essen) Konkurrenten auf dem zukunftssträchtigen Motorenmarkt konnte auch das Schweizer Unternehmen kaum abseits stehen. Der Vertrag war freilich vergleichsweise vorsichtig und unverbindlich abgefaßt, gleichwohl für Diesel ein Erfolg, denn die von ihm dem Schweizer Unternehmen eingeräumten Konditionen lagen sicherlich nicht unbedingt im Interesse der anderen Partner. Diesel überließ Sulzer gegen Gebühr die Exklusivnutzungsrechte seines Patenten für die Schweiz, aber auch die Verfügung über die in der Entwicklungsarbeit mit Krupp und der Maschinenfabrik Augsburg erzielten Resultate, während sich Sulzer in Winterthur vorbehält, erst nach sorgfältiger Abwägung der technischen und wirtschaftlichen Risiken in die Fabrikation des Motors einzutreten (Humm, 1958: 88).

Damit gelang dem jungen Eismaschinen-Ingenieur Diesel, im Bau von Verbrennungsmotoren völlig unerfahren und mit einem äußerst "wackeligen" Patent, auf der Grundlage zwar eleganter, aber praktisch untauglicher Berechnungen, nicht nur drei der renommiertesten Maschinenbauunternehmen zu einem Konsortium zu formen und eine Reihe wissenschaftlicher Autoritäten in ein "Unterstützer-Netzwerk" einzubinden, sondern für sich selbst auch optimale materielle Bedingungen auszuhandeln. Er hatte es in einer hervorragenden Weise verstanden, die Bedingungen seiner Zeit - die Profilierungsbestrebungen des Theoretischen Maschinenbaus gegenüber den Empirikern, die Angst der Dampfmaschinenbauer vor neuen technischen Entwicklungsschüben im Verbrennungsmotorenbau und die Suche nach einer besseren, verbraucherfreundlicheren und ungefährlicheren Kraftmaschine - für sein eigenes Projekt auszunutzen. Mit der Formierung der "Diesel-Gruppe" waren nicht nur umfangreiche Ressourcen für das Entwicklungsprogramm gesichert, durch die Einbindung von drei Unternehmen und das aufgezugene "Unterstützer-Netzwerk" konnte Diesel auch darauf hoffen, daß sich kein einzelnes Unternehmen seiner Idee bemächtigte und in eigener Regie und unter Ausschluß externer

Akteure die alleinige Definitionsmacht über die Durchführungs- und Machbarkeitskriterien erhalten konnte. Damit waren Voraussetzungen geschaffen, um in die Phalanx der herrschenden Entwicklungslinien - Dampfmaschinenbau auf der einen, Verbrennungskraftmaschinenbau auf der anderen Seite - einzubrechen und wichtige Vorbereitungen zur Etablierung einer neuen motortechnischen Entwicklungslinie zu realisieren, deren Generierung und Absicherung als anerkannter "Stand der Technik" aber noch weiterer "flankierender Maßnahmen" bedurfte. Freilich war damit auch - und dies dürfte Diesel zu diesem Zeitpunkt nicht bewußt gewesen sein - das "Entstehungsmilieu" seines Motors definiert. Mit der "Diesel-Gruppe" hatte sich eine Definitionsmacht formiert, die ausschließlich von Unternehmen des Schwermaschinenbaus gebildet wurde und die nicht nur die Perzeptionen und Erfahrungen des Dampfmaschinenbaus einbrachten, sondern auch zu den tragenden Akteuren und Verteidigern des "herrschenden Standes der Technik" gehörten; einer energietechnischen Linie, deren Abschaffung ja immer ein erklärtes Ziel von Diesels Plänen gewesen war.

Rudolf Diesel unterschied sich hinsichtlich seiner technischen Leistungen kaum von seinen zeitgenössischen Kollegen. Seine Berechnungen und Konstruktionen waren zwar "gewagt", aber oft auch unsolid und mangelhaft durchdacht. Die Differenzen beispielsweise zu einem Otto Köhler, der schon fünf Jahre früher viel detailliertere und konstruktiv ausgreifere Überlegungen veröffentlicht hatte, lagen vielmehr in den - wenn man so will - "technologiepolitischen" Leistungen: der Fähigkeit, Netzwerke zu knüpfen, Unterstützerguppen zusammenzuzimmern und Eigeninteressen industrieller und technikwissenschaftlicher Akteure auszunutzen und damit Gespür für die sozialen und ökonomischen "Bindekräfte" eines "herrschenden Standes der Technik" zu demonstrieren. Leistungen also, die vielmehr im sozialen als im technisch-konstruktiven Bereich anzusiedeln sind, die aber von der traditionellen Technikgeschichtsschreibung bislang völlig ausgeklammert und regelrecht herausoperiert, allein der technischen und ingenieurwissenschaftlichen Genialität zugeschrieben wurden.

7. "Schließung" und "Konsolidierung": Die Transformation der universellen Kraftmaschine zur Dampfmaschine des 20. Jahrhunderts (1893-1907)

Die Befürchtungen Diesels, daß seine Möglichkeiten nach Aufnahme der Entwicklungsarbeiten in Augsburg eher begrenzt sein würden, sollten sich alsbald bestätigen. Obwohl er mit der Formierung der "Diesel-Gruppe" eine im Rahmen seiner Möglichkeiten optimale Vorsorge zur Wahrung seiner Interessen getroffen hatte, setzten sich die industriellen Interessen sofort und unmißverständlich in den Planungen und Projektierungen durch. Wir werden im ersten Teil dieses Kapitels zunächst die Blickrichtung wechseln und uns mit den Motiven, Plänen, aber auch Konflikten der Maschinenfabrik Augsburg auseinandersetzen. Denn die Geschäftsleitung hatte sich ja hier in ungewöhnlicher Weise über die Bedenken der eigenen Konstrukteure hinweggesetzt, deren Eliminierungskriterien suspendiert und dem neuen Projekt einen für die ersten und sehr schwierigen Entwicklungsetappen unbedingt notwendigen Freiraum verschafft. Obwohl dem "rationalen Wärmemotor" damit Entwicklungsterrain zur Verfügung gestellt wurde, blieben die Grenzen zwischen den Interessen Diesels und der "Diesel-Gruppe" scharf gezogen. Schon sehr bald sollten zwischen dem ambitionierten "Erfinder", der nicht nur sehr stark von der theoretisch interessanten Frage der Wirkungsgrade gefesselt war, sondern auch eine universelle Einsatzfähigkeit seines Antriebskonzeptes anstrebte, und den Geschäftsleitungen in Augsburg und Essen unüberbrückbare Meinungsverschiedenheiten deutlich werden. Sobald eine erste stabile Erkenntnisgrundlage erreicht war - in den Augen Diesels eher ein Provisorium -, setzte gegenüber Diesels weiteren Plänen ein "Schließungsprozeß" ein, der ganz auf eine "Konsolidierung" der gewonnenen Ergebnisse setzte. Mit der Übernahme einer ganzen Reihe von Konstruktionsmerkmalen aus dem Schwermaschinenbau konnte der Entwicklungsprozeß zwar beschleunigt werden, dafür zwängte man den neuen Motor aber in ein weithin sichtbares Korsett einer stationären Dampfmaschine.

In diesem Abschnitt werden die Auswirkungen dieser Strategie der "Diesel-Gruppe", zu einem frühestmöglichen Zeitpunkt einen "Konsolidierungskonsens" herzustellen, behandelt, im Hinblick auf weitere technische Entwicklungen des Motors erörtert und durch eine Rekon-

struktion gekappter Entwicklungsoptionen ergänzt. Die heute hochaktuelle Frage nach Einsatzmöglichkeiten alternativer Brennstoffe, vor allen Dingen aus der alkoholischen Gärung heimischer Rohstoffe, stand damals bereits zur Diskussion. Ein erstes Versuchsprogramm, mit ermutigenden Ergebnissen abgeschlossen, von der Geschäftsleitung aber als "Mode-Erscheinung" abqualifiziert, fiel den Konsolidierungsbemühungen "zum Opfer". Ein Schicksal, das auch dem ersten Projekt zur Entwicklung eines Fahrzeug-Dieselmotors beschieden war, einem Vorhaben, dem Überlegungen zugrunde lagen, den nach der Jahrhundertwende als veraltet angesehenen Ottomotor mit Hubkolbentriebwerk und Drehmomentwandler durch ein völlig anderes Antriebskonzept zu ersetzen. Wir werden im letzten Teil dieses Abschnitts auf die vergeblichen Versuche Diesels zu sprechen kommen, für dieses Projekt eine neue industrielle Gruppe aufzubauen, dessen Scheitern ein Teil des Dilemmas ausdrückt, in dem sich der rührige "Erfinder" zu Beginn des 20. Jahrhunderts befand. Denn zusätzliche Entwicklungsprogramme gefährdeten den ja nur provisorischen und noch nicht "gehärteten" Konsolidierungskonsens des stationären Motorentyps. Wie wichtig eine unbedingte Bündelung der Ressourcen und eine schnelle Übereinkunft der konstruktiven Entwicklungsrichtung waren, zeigte sich in der kurz nach der Jahrhundertwende einsetzenden "Krise" des gesamten Projektes. Obwohl die "soziale Härtung" der neuen Technik optimal vorbereitet war, führende Unternehmen des Maschinenbaus in einer "Diesel-Gruppe" formiert waren, zwischenzeitlich noch um einige international hochrangige Mitglieder ergänzt, das Entwicklungsprogramm mit Blick auf ein eng begrenztes Marktsegment disziplinierten, erste Zwischenergebnisse von Professoren des Theoretischen Maschinenbaus emphatisch aufgenommen und als Beweis für die praktische Relevanz theoretisch gewonnener Erkenntnisse gefeiert, stand das ganze Dieselmotorenprojekt um die Jahrhundertwende "auf der Kippe". Fast alle Akteure brachen die begonnenen Arbeiten nach kurzer Zeit wieder ab und zogen sich ganz aus der Entwicklung zurück, der neue Motor drohte gar nach seinem fulminanten Start in der Fachöffentlichkeit ganz in Vergessenheit zu geraten. Die "Diesel-Gruppe" konnte unter den veränderten Umständen auf keine neue tragfähige Grundlage gestellt werden und brach auseinander, während der neue Motor nur in der "Augsburger Intensiv-Station" in einer Rund-um-die-Uhr-Betreuung erfahrener Techni-

ker "lebensfähig" blieb und den gewünschten Programmablauf reproduzierte. Die Vorstellung zweier "Rettungsanker", dem Aufrüstungsprogramm des Deutschen Reiches und dem Interesse des erdölreichen Rußlands an einer Ölmaschine, beschließen dieses Kapitel.

Neues Denken in traditionellen Kontexten: Verhandlungspoker in Augsburg

Diesel hatte bereits in den ersten Gesprächen während des Sommers 1892, aber vor allem während der konkreten Vertragsverhandlungen im Frühjahr 1893 erkennen müssen, daß seinem Projektvorhaben in der Maschinenfabrik Augsburg erhebliche Vorbehalte entgegen gebracht wurden. Zwar konnte er auf bereits bestehende private und berufliche Beziehungen zum Chef der Eismaschinenabteilung Vogel zurückgreifen und darauf hoffen, daß mit dem Direktor Heinrich Buz, der die "Zusammenarbeit mit Männern des schwäbischen Stammes" schätzte (Bitterauf, 1924: 86) - Diesel hatte viele Jahre in Augsburg gelebt und dort dasselbe Polytechnikum wie Buz besucht -, eine solide Arbeitsbeziehung zustande kommen würde. Auf weit weniger Sympathien trafen Diesels Projektvorschläge aber bei den leitenden Ingenieuren und Betriebsleitern des Unternehmens. Zuständig für die Prüfung eingereichter Ideen und Projektvorschläge war der Chef der Abteilung "Dampfmaschinen, Wasserturbinen - und Pumpenbau", Oberingenieur Josef Krumper, ein Vertreter des traditionellen Ingenieurdenkens. In dieser Konstellation trafen somit zwei vollkommen unterschiedliche technische Vorstellungswelten zur Lösung energietechnischer Zukunftsprobleme aufeinander. Diesels Kontrahent, der sich als Konstrukteur langsam empor gearbeitet und noch einige Semester am Eidgenössischen Züricher Polytechnikum studiert hatte, wußte mit den in erster Linie aus theoretischen Überlegungen entsprungenen Plänen Diesels, bar jeden praktischen Konstruktionsverständnisses, kaum etwas anzufangen. Sein negatives Votum war im übrigen auch für das erste Augsburger Ablehnungsschreiben ausschlaggebend gewesen (E. Diesel, 1937: 168). Krumper mußte aber nicht nur mit der Tatsache fertig werden, daß Diesel seine Projektarbeit dennoch hatte beginnen können, sondern darüber hinaus als junger Ingenieur mit einem Jahresgehalt von 30.000 Mark belohnt wurde, während Krumper 750 Mark Monatsgehalt mit allen Zulagen und Sonderprämien

kaum 10.000 Mark im Jahr überschritten (vgl. Rupieper, 1982: 39, 259; E. Diesel, 1937: 200). Aber nicht nur Krumper mußte den Vertragsabschluß mit Diesel als einen Einbruch in die bisherige Entscheidungspraxis der Maschinenbauanstalt empfunden haben. Gegen die Aufstellung des ersten Versuchsmotors gab es zum Teil recht deutlich artikuliertte Vorbehalte anderer Mitarbeiter des Dampfmaschinenbaus, die dazu führten, daß für das neue Projekt ein eigener, abgetrennter Raum geschaffen werden mußte (E. Diesel, 1937: 180; 184). Diesels Berechnungen und Konstruktionsvorschläge, die in Kreisen der Technischen Thermodynamik und des Theoretischen Maschinenbaus durchaus wohlwollend zur Kenntnis genommen worden waren, wirkten auf die im Dampfmaschinenbau erfahrenen Ingenieure, Techniker und Monteure der Maschinenfabrik Augsburg völlig fremd und unverständlich. Dabei hatte man auch in Augsburg durchaus die erweiterten Nutzungswünsche im Energiebereich zur Kenntnis genommen, der Bedarf an kleinen, bequemen und billigen Kraftmaschinen wurde aber auf der Basis der vorhandenen Konstruktionserfahrungen interpretiert; das im Dampfmaschinenbau generierte, formalisierte Wissen strukturierte und filterte dabei selbstverständlich auch die Suche nach neuen technischen Lösungen und war zu einer sehr selektiven Problemsicht "geronnen" (vgl. auch Constant, 1980: 18), die selbst den an einer weiteren professionellen Expansion interessierten Ingenieuren später noch oft Sorge bereitete. "Wir haben Dampfmaschinentechniker, wir haben sehr erfahrene Gasmaschinentechniker, wir haben sehr erfahrene Männer im Wasserturbinenbau, aber wir haben diesen Sonder-Fachleuten gegenüber nur eine winzige Zahl von Energie-Ingenieuren" (Hartmann, 1929: 93).

Diesels Distanz von praktischen Alltagserfahrungen und die Befreiung von den Zwängen der alltäglichen Konstruktionsarbeit, auf der einen Seite eine Voraussetzung für das Aufspüren neuer Lösungswege, mußte auf der anderen Seite in den betrieblichen Kontexten erhebliche Akzeptanzprobleme nach sich ziehen. Immerhin waren hier technische Entwicklungsmöglichkeiten angegeben, die nicht im "herrschenden Stand der Technik" abgesichert waren, deren Funktionsfähigkeit man daher mit großer Skepsis betrachtete.

Üblicherweise übten die Perzeptionsmuster der Werkstatt auch einen sehr starken Einfluß auf die unternehmerischen Planungsprozesse aus (vgl. Kocka, 1969: 332ff.). Die Deutzer Entscheidung gegen

den Dieselmotor war ebenfalls auf die ablehnende Haltung der dortigen Ingenieure zurückzuführen und selbst in der Daimler-Motoren-Gesellschaft konnten sich die Kapitalgeber zu dieser Zeit noch nicht gegen die herrschenden Konstruktors- und Werkstattsinteressen durchsetzen (vgl. Hanf, 1980: 5ff.). In der Maschinenfabrik Augsburg drückte sich diese Dominanz auch in der "überragenden Stellung der Meister" (Rupieper) aus, die erst nach der Jahrhundertwende mit der Einführung "moderner" Managementmethoden und der wachsenden Bedeutung der organisierten Arbeiterbewegung an Einfluß verlor. Die innerbetrieblichen Aufstiegschancen, die Bindung an den Betrieb durch die "Konkurrenzklausel" - ein nicht genehmigter Betriebswechsel konnte beträchtliche Regressionsansprüche nach sich ziehen - reduzierte die Fluktuation und schaffte die Voraussetzung für eine überaus loyale Einstellung der Werkmeister, die durch die Übernahme in das Angestelltenverhältnis im Jahre 1900 auch von der Geschäftsleitung entsprechend honoriert wurde. Dieses innerbetriebliche Rekrutierungsverfahren hatte allerdings auch Nachteile, denn es war kaum möglich, "fertige Ingenieure von auswärts zu erhalten", da ohne eine Verletzung des innerbetrieblichen Normengefüges kaum hochdotierte Positionen angeboten werden konnten (Rupieper, 1982: 44).

Ob daher solche eingeschliffenen Selektionsmechanismen transparent, festgefügte Perzeptionsmuster aufgelöst werden und die Frage, was als technisch machbar und nicht machbar gilt und wie weit man sich vom "herrschenden Stand der Technik" entfernen sollte, diskutiert werden können, ist sicherlich einerseits von veränderten "Umständen" abhängig. Neue strukturelle Bedingungen müssen aber andererseits erst in unternehmerische Handlungskonzepte "übersetzt" werden, die - das zeigte die Situation in den 90er Jahren des vorigen Jahrhunderts -, von Maschinenbauanstalt zu Maschinenbauanstalt sehr unterschiedlich ausfallen können. Ein Öffnen geschlossener Vorstellungswelten und der Start eines risikoreichen Entwicklungsprojekts ist deshalb keineswegs eine automatische Reaktion auf eine verschlechterte Wirtschaftslage, sondern muß durch den Aufbau eines die Organisationsgrenzen überschreitenden "Sinnzusammenhangs" vorbereitet werden, der als gemeinsamer Bezugspunkt Vermittlungsdienste zwischen der Binnenwelt der Organisation und der Außenwelt der "Erfinder" leistet.

Die Entscheidung der Geschäftsführung, gegen die Widerstände der Werkstattinteressen mit Diesel einen Vertrag abzuschließen, lag einmal an dem von Diesel mit großer Ausdauer aufgebauten Unterstützer-Netzwerk, zum anderen an der Aktivierung der Konkurrenzsituationen, was sicherlich nur vor dem Hintergrund veränderter Marktbedingungen auch tatsächlich gelingen konnte. Die Bereitschaft ausgerechnet der Augsburger Geschäftsleitung, die Selektionskriterien und die Eliminierungspolitik der Werkstatt außer Kraft zu setzen und damit zunächst einmal Entwicklungsraum zu schaffen, scheint letztlich aber darauf zurückzuführen zu sein, daß sich mit dem in der Linde-Gesellschaft angestellten Diesel die Erinnerung an ein gelungenes Diversifizierungsprojekt verbinden konnte und der damalige Geschäftsführer Buz immer noch mit den notwendigen Machtmitteln ausgestattet war. Bedingungen, die also erst in der Kombination objektiver und subjektiver Faktoren die Genese einer heute so selbstverständlichen erscheinenden Technik ermöglichten.

Heinrich Buz, der 1857 unter der Direktion seines Vaters als Konstrukteur und technischer Korrespondent in die damalige C. Reichenbach'sche Maschinenfabrik eingetreten war, hatte bereits 1861, nach der Umwandlung des Unternehmens in eine Aktiengesellschaft und der Firmierung als "Maschinenfabrik Augsburg AG" die Geschäftsführung übernommen, nachdem die Gründergeneration, der bayerische Offizier und Eisenbahnfachmann Carl Buz und der Buchdrucktechniker Carl Reichenbach ausgeschieden waren. Bereits zu dieser Zeit bot das Unternehmen neben Maschinenteilen für den Dampfmaschinenbau Getriebe und Transmissionen für Wasserräder und Turbinen sowie Buchdruckschnellpressen an. Als 1876 die besagte Zusammenarbeit mit dem damaligen Professor Carl Linde zur Lizenzfertigung von Kältemaschinen nach dem "System Linde" begonnen werden konnte, verfügte das kleine Unternehmen bereits über ein beachtliches diversifiziertes Maschinenbauprogramm und konnte auch in der Zeit der Großen Depression jährliche Umsatzsteigerungen verbuchen. Die dennoch eher gediegene und beharrliche Geschäftsführung durch Buz war mit ausgeprägten militaristischen und patriarchalischen Elementen durchsetzt, sorgte aber dafür, daß im Unternehmen "jederzeit über einen tadellosen Arbeiterstamm (verfügt werden konnte), der an seinem Blühen und Gedeihen einen nicht zu unterschätzenden Anteil hatte" (Bitterauf, 1924: 73). Die Aktienmehrheit blieb in den Händen

einer kleinen Gruppe von Anteilseignern, die restlichen Papiere wurden nur an der lokalen Augsburger Börse gehandelt (vgl. Mauersberg, 1966: 163).

***Verwissenschaftlichung technischer Wissensproduktion.
Die schwierige Suche nach einem Kompromiß in der Frage
der Wirkungsgrade***

Noch bevor die Arbeiten im Sommer 1893 in der Maschinenfabrik Augsburg aufgenommen wurden, zeigte sich zunächst einmal, in welcher labiler Konstitution die "Diesel-Gruppe" sich zu dieser Zeit noch befand. Im September wurde Köhlers VDI-Vortrag veröffentlicht, in dem er, auf seine eigenen Vorarbeiten gestützt, sehr detailliert die Probleme darlegte, die bei dem Bau eines Motors auf der Grundlage des Carnot-Kreislaufes zu erwarten waren. "Für die Größe des Brennstoffverbrauches einer Heißluftmaschine mit geschlossener Feuerung" faßte Köhler seine Kritik zusammen, "ist aber nicht alleine, sondern vielmehr das Produkt aus dem thermischen und mechanischen Wirkungsgrad (...) maßgebend" (Köhler, 1893: 1109). Nicht nur Krupp und Sulzer zeigten sich beunruhigt, nun dämmerte es auch Zeuner, daß bei Diesels "rationellem Wärmemotor" nicht alles Gold war, was da glänzte, und der Dresdener Professor forderte Diesel daraufhin dringend zu einer öffentlichen Stellungnahme gegenüber Köhler auf. Diesel aber, dem mittlerweile ebenfalls klar geworden war, daß selbst die bisher eingestandenen Kompromisse in bezug auf die Höhe des Wirkungsgrades nicht zu halten waren, mußte aber eine offene Auseinandersetzung zu diesem Zeitpunkt vermeiden, weil damit die sorgsam zusammengefügtten Koalitionen auseinanderzufallen drohten und das baldige Ende des Projektes bedeutet hätten. Durch eine wahre Flut von Briefen an Köhler, an die Mitglieder der "Diesel-Gruppe" sowie an das Unterstützer-Netzwerk, in denen er sehr geschickt mit immer neuen Berechnungen und Überlegungen operierte und damit eine in der kurzen Zeit kaum verarbeitbare Datenmenge lieferte, gelang ihm fürs erste eine "Neutralisierung" der drohenden Gefahr durch die Arbeiten Köhlers. In einem Entgegnungsschreiben an einen weiteren Kritiker, den Aachener Professor Johannes Lüders, gestand Diesel aber erstmals ein, daß die "konstruktive Seite des Problems" nicht behandelt sei, fügte aber optimistisch hinzu, "neue Zwecke erfordern neue

Mittel", und er hoffe, "daß sich auf irgendeine Weise eine Lösung der Wirkungsgradfrage ergeben werde" (zit. nach Meyer, 1913: 13). Zu den befürchteten Patentanfechtungsklagen kam es daher erst, als das Projekt schon so weit fortgeschritten und untrennbar mit dem Namen der Augsburger Maschinenfabrik verbunden war, daß nicht mehr grundsätzlich ein Scheitern des Motorenprojektes drohte und, mit den renommierten Firmen der "Diesel-Gruppe" im Rücken, nun auch finanzielle Mittel zur Absicherung der Patente zur Verfügung standen (vgl. Sass, 1962: 401f.).

Den ersten, für die weitere Entwicklung des Motors aber folgeschweren "Dämpfer" bekam Diesel von der "Diesel-Gruppe" im Rahmen der Projektierung der ersten Versuchsmaschine. Obwohl ihm die Krupp-Werke und die Maschinenfabrik Augsburg auch die Anfertigung der Konstruktionszeichnungen überließen - hieran arbeitete er zusammen mit dem Ingenieur Johannes Nadrowski in seiner Berliner Wohnung (E. Diesel, 1937: 187) -, ließ schon der erste Versuchsmotor sehr deutlich die Augsburger Handschrift erkennen. Diesels Erfindereigenschaften, hoher Wirkungsgrad und universelle Einsatzfähigkeit, wurden in Augsburg auf die hier herrschenden fertigungstechnischen und geschäftlichen Interessen zurecht gestutzt. Der von der Augsburger Maschinenfabrik 1897 schließlich dem "herrschenden Stand der Technik" zur "Aufnahme" angebotene Motorentyp verkörperte in seinen signifikanten Konstruktionsmerkmalen, Funktionsweisen und Dimensionen das Interessenprofil einer im Geschäft mit Dampfmaschinen erfahrenen Maschinenbauanstalt.

Diesel hatte "einen Zwei-Zylindermotor mit gleichgerichteten Kurbeln und um 360 Grad versetzten Zündungen" vorgeschlagen, "damit pro Tour ein Arbeitsgang stattfindet". Die Zylinderdurchmesser von 225 mm sollten nach dieser Kalkulation eine Leistungskraft von 50 PS erreichen und hierfür die angesaugte Luft "in einem Schub auf 64-90 at, je nach Wahl der Maximaltemperaturen zwischen 700-800 Grad", verdichten. Ganz anders sahen dagegen die Pläne der Maschinenfabrik aus, die eine erste Versuchsmaschine mit nur einem Zylinder bauen ließ, dessen Durchmesser auf 150 mm zusammengeschrumpft war und auch nur höchstens 25 PS leisten sollte, Dimensionen, die selbstverständlich an den aus dem Dampfmaschinenbau bekannten Größenordnungen orientiert waren (R. Diesel, 1913: 37). Die Geschäftsleitung sprach sich, ganz entgegen den Vorstellungen und

Wünschen Diesels, für die strikte Konzentration auf eine Brennstoffvariante aus (Sass, 1962: 432; Meyer, 1913: 16; R. Diesel, 1913: 8). Diesels Lieblingsideen, den Verbundmotor und die Verwendung von Kohlenstaub, setzte die Augsburger Geschäftsleitung schon damals auf der Prioritätenliste ganz weit nach hinten, was faktisch bereits das Aus bedeuten sollte, da für beide Optionen umfangreiche Versuchsprogramme mit einer eigenen "Konsolidierungslogik" hätten durchgeführt werden müssen. Später war man nicht mehr bereit, die in der Entwicklung der Öl-Versuchsmaschine etablierten Selektionskriterien nochmals zurückzuschrauben und den bereits stabilisierten Erkenntnisstand zugunsten neuer Entwicklungsmöglichkeiten wieder zu öffnen und damit aufs Spiel zu setzen (vgl. R. Diesel, 1897: 788f.).

Der erste Prototyp, im Sommer 1893 in ein sogenanntes A-Gestell montiert, einer im Dampfmaschinenbau bei großvolumigen Maschinen bewährten Konstruktionsstütze, etwas später durch die ebenfalls aus der Dampfmaschinentechnik zu Stabilitätszwecken importierten Kreuzkopfbauweise ergänzt, sah den damaligen Dampfmaschinentypen tatsächlich zum Verwechseln ähnlich. "So sinnvoll die Entwicklung vom A-Gestell zum viel leichteren und daher billigeren Kastengestell auch nachträglich erscheint, so hat es doch mehr als zwei Jahrzehnte gebraucht, bis sich das Kastengestell allgemein durchgesetzt hat" (List, 1958: 67). Denn mit dieser ersten Entscheidung war der weitere Weg zu einer sehr schweren, langsamlaufenden, stationären Kraftanlage praktisch schon vorgezeichnet. Ein Entwicklungskorridor, der über die später erfolgte Festschreibung im "Stand der Technik" maßgeblich für die Karriere des Dieselfahrens sein sollte.

Bei der Zusammenstellung des ersten "Diesel-Teams" traten erneut die Widerstände und Vorbehalte der Dampfmaschinenabteilung gegenüber dem Projekt offen zutage. Mit Lucian Vogel und Monteur Hans Lindner konnten daher nur Fachleute des Eismaschinenbaus für die Entwicklungsarbeiten am ersten Versuchsmotors rekrutiert werden (vgl. E. Diesel, 1937: 178; R. Diesel, 1913: 7). Als nach den ersten Versuchsreihen die mangelhaften motortechnischen Qualifikationen immer deutlicher hervortraten, fand sich erst recht kein Dampfmaschineningenieur zum Übertritt in das Projekt bereit. Der eigens von außerhalb angeworbene Imanuel Lauster erfuhr auch "nur nach und nach", "daß ganz allgemein in der Fabrik der Dieselsache wenig Vertrauen entgegengebracht" wurde und daß von den "vorhandenen Be-

amten der Maschinenfabrik Augsburg (keiner) seine sichere Stellung gegen die unsichere Dieselsache aufgeben" wollte (Lauster, zit. nach Sass, 1962: 469). Unter Lausters Leitung konnte die Konstruktion und Fertigung der bereits fortgeschrittenen Versuchsarbeiten aber endlich auf ein erforderliches Niveau gehoben und die "Wende" in der bisher wenig erfolgreichen Entwicklung eingeleitet werden.

In den Jahren von 1893 bis zur Hauptversammlung des VDI im Juni 1897, der ersten Entwicklungsstufe, mußte der Versuchsmotor dreimal grundlegend umgebaut werden. Nach Eugen Diesels Berechnungen sollen die Versuche bis zum Jahre 1900 inklusive Diesels Jahresgehalt etwas 600.000 Mark gekostet haben. (Der Jahresumsatz der Augsburger Maschinenfabrik erreichte 1897/87 etwa 9 Mio. Mark; vgl. E. Diesel, 1937: 218; Rupieper, 1982: 257; 279.)

Bereits bei ersten Probeläufen mit dem nach Diesels Plänen gebauten Prototyp hatte sich herausgestellt, daß die aus dem Dampfmaschinenbau bewährten Erfahrungen und Konstruktionselemente für diesen Motorentyp jedenfalls nicht ausreichten. "Trotz der an sich für damalige Zeiten mustergültigen Konstruktions- und Werkstättenarbeit der Maschinenfabrik Augsburg, mußte man für den Dieselmotorenbau in vieler Beziehung neu lernen", faßte der später an den Arbeiten beteiligte Ingenieur Paul Meyer seine Erfahrungen zusammen. Es gelang damals "weder der Maschinenfabrik Augsburg noch einem einzigen Lizenznehmer, einen einigermaßen dichten Kolben herzustellen. Der Maschinenbau stand noch unter dem Zeichen des Einschleifens mit Schmirgel. Daß genaue Dreharbeit auf kräftigen Bänken das weit einfachere und zuverlässigere Mittel sei, wurde erst langsam begriffen" (Meyer, 1913: 36). Mit den vorhandenen Werkzeug- und Bearbeitungsmaschinen konnte die notwendige Qualität von Kolben, Pleuellwellen, Zylinderbüchsen nicht erreicht werden und erst umfangreiche Sonderanfertigungen schafften hier ein befriedigendes Niveau (Fischer, 1940: 132f.). Aus der Perspektive des Dampfmaschinenbaus war die Unmöglichkeit eines "rationellen Wärmemotors" daher nach den ersten Versuchsreihen bewiesen. Die zum Teil recht spektakulären Explosionen dokumentierten eindeutig und unmißverständlich, daß mit den im "Stand der Technik" repräsentierten Erfahrungen und den hierauf bezogenen Bewertungskriterien eine solche Maschine nicht zu bauen war.

Für eine erfolgreiche Realisierung eines solchen Geneseprojektes ist daher neben der Bereitstellung von Ressourcen auch eine "Definitionsmacht" Voraussetzung, die herrschende Selektionskriterien sowie die selbstregulierenden kognitiven und sozialen Kräfte des herrschenden Wissensstandes außer Kraft setzt und den gewährten Entwicklungsfreiraum verteidigt. Allerdings steht die technische Arbeit außerhalb des sicheren Terrains des "herrschenden Standes" unter großem Druck, möglichst schnell eine eigene stabile Grundlage schaffen zu müssen, um nicht der Gefahr zu unterliegen, durch zu viele Kombinationsmöglichkeiten die Überführung und Absicherung in einen maschinellen Funktionsmodus zu gefährden. Wenn wir uns die bisherigen Entwicklungsetappen des "revolutionären Motorenprojektes" vergegenwärtigen, zeigt sich ja, wie die Idee des jungen Ingenieurs Rudolf Diesel, eine völlig neuartige, umwelt- und ressourcenschonende Energietechnik zu entwickeln, Schritt für Schritt auf das zeitgenössische technische Niveau "heruntergebrochen" und eingepaßt sowie mit "Wiedererkennungselementen" versehen wird. Im herrschenden Lehrgebäude der zuständigen wissenschaftlich-technischen Disziplinen bildet sich die Modelliermasse für die technischen Optionen und sorgt für die "kognitive Grundformatierung", und aus der "revolutionären" Idee wird ein konventioneller Wärmekraftmotor, der - soll er vom Sachverstand der etablierten Maschinenbauunternehmen fertigungstechnisch profitieren - als angebotenes Reformprojekt in Bauweise, Arbeitsverfahren und Maschinenelementen zumindest partielle Anschlußfähigkeit ausweisen muß und meist zum "Rückgriff" auf Wissenspakete des "herrschenden Standes" führt.

Daß diese "Sicherungsstrategien" aber nicht immer auch die angestrebten technischen Eigenschaften wirkungsvoll unterstützen, zeigte Diesels pragmatische Entscheidung, für den angestrebten neuen Verbrennungsprozeß auf das konventionelle Viertaktarbeitsverfahren mit Hubkolbentriebwerk und Ventilbetrieb zurückzugreifen, um sich mit dieser Paketlösung zumindest für einen Teilbereich eine stabile Grundlage zu verschaffen. "Wie stark das motorische Denken damals bereits durch das Viertaktverfahren beeinflusst war, beweist die Tatsache, daß Diesel im Jahre 1893 seinen ersten Motor nicht als Zweitakt, sondern als Viertakt entwarf, obgleich sein Motor, der ja nur mit Luft und nicht mit Gemischbildung arbeitet, schon vom Gaswechsel her, für das Zweitaktverfahren besser geeignet wäre" (Ehmsen, 1976: 567).

Kritische Stimmen bezeichneten später die Viertaktbauart der Dieselmotoren als "eine große technische Groteske", gar als "technischen Unfug" (Thiemann, 1929: 282) und "zum Zweitakt vorausbestimmt" (Nägel, 1911: 1323). "Die Ausführungen des Arbeitsverfahrens im Zweitakt lag nicht im Ideenkreis Diesels" (Lauster, zit. nach Sass, 1962: 502). (Die Frage des "richtigen" Arbeitsverfahren - Zwei- oder Viertakt - blieb in der weiteren Entwicklung des Dieselmotors wie auch beim Großgasmaschinenbau noch einige Zeit offen und wurde zwischen Lehrbuchverfassern, Lehrstuhlinhabern und den einzelnen Unternehmen in sehr engagierter Weise ausgefochten, bis für die einzelnen Arbeitsverfahren bestimmte "Zuständigkeitsbereiche" gefunden und abgesichert werden konnten, wodurch die für die technische Arbeit so wichtige Ordnung und Übersichtlichkeit wieder hergestellt werden konnte (Löffler/Riedler, 1916: 109; Güldner, 1905: 190)).

Für Diesels Idee, eine isothermisch verlaufende Verbrennung praktisch auszuführen - hierauf hatte man ihm den Patentanspruch erteilt - wirkte sich in der weiteren Entwicklung recht unangenehm aus, daß der Verbrennungsprozeß zwar in der vorausberechneten Weise tatsächlich manipuliert werden konnte, aber dafür einen so schwachen Mitteldruck entfaltete, daß noch nicht einmal die Reibungskräfte der Maschine überwunden werden konnten und an die Verrichtung von Arbeiten gar nicht zu denken war. Der erste nicht mehr patentrechtlich geschützte Entwicklungsschritt konnte auf der Basis des bisher Erreichten nur heißen: mehr Brennstoff! Aber mit dieser Entscheidung verlor das Augsburger Versuchssteam den kalkulierten Zugriff auf den Verbrennungsprozeß, und man mußte zur Kenntnis nehmen, daß die Temperaturen im weiteren Verlauf der Expansion sehr viel höher als erwartet stiegen und kurz vor Ablauf der Expansion immer noch das etwa Vierfache des theoretisch erwartenden Wertes betrugen. Die unmittelbare technische Konsequenz war gleichzeitig das weithin sichtbare Scheitern der technischen Ausführung des Carnot-Prozesses; der Zylinder mußte gekühlt werden, die angestrebten hohen Wirkungsgrade waren nicht mehr zu erreichen. Ohne diese hohen Temperaturen wäre aber nicht genügend Überschuß- d.h. Nutzleistung erzeugt worden, was Paul Meyer zu der Schlußfolgerung veranlaßte, daß "die hohen Temperaturen zwar die Maschine thermisch verschlechtert (haben), sie sind aber umgekehrt der Retter des mechanischen Wirkungsgrades geworden" (Meyer, 1913: 21).

Als weiteres, sehr schwerwiegendes Problem stellte sich die Suche nach der geeigneten Höhe der Vorverdichtung der angesaugten Luft heraus. Diesel wurde später des öfteren vorgeworfen, er habe in seiner völligen Fixiertheit auf hohe thermische Wirkungsgrade den technischen Gesamtzusammenhang der Vorverdichtung völlig aus den Augen verloren, viel zu lange an für die Funktionsfähigkeit nicht gerechtfertigten Zylinderdrücken festgehalten und sei damit für unnötig lange und teure Entwicklung verantwortlich (vgl. Nägel, 1913: 361).

Neben diesen Problemen einen für beide Seiten akzeptablen Kompromiß bei der Frage des Wirkungsgrades zu finden, sowie der mühsamen Suche nach einer optimalen Brennraumgestaltung, dem richtigen Ventilsitz und einem günstigen Bohrung/Hub-Verhältnis, der Klärung geeigneter Materialqualitäten und Dichtungstechniken, sollte sich die Gemischbildung zum "Kardinalproblem" des neuen Motors entwickeln. Im Gegensatz zur "äußeren" Gemischbildung bei den konventionellen Gas- und Benzinmotoren konnte durch die von Diesel aus pragmatischen Gründen gewählte Kombination aus neuem Verbrennungsprozeß und konventionellem Hubkolbentriebwerk der Kraftstoff erst sehr spät und zudem noch in die hoch verdichtete und sehr heiße Luft eingeführt werden und benötigte daher ein irgendwie geartetes Einspritzsystem. "Die eingespritzte Menge hängt (aber) von der Zeitdauer der Düsenöffnung ab. Dieselbe Steuerung wird also bei langsamerem Gang des Motors viel mehr einspritzen als bei rascherem", sinnierte Diesel und mußte feststellen, daß die aus dem "Stand der Technik" importierten "Paketlösungen" seine Vorstellung von einem Verbrennungsprozeß keineswegs optimal unterstützten. "Die Steuerung wäre nur für eine Tourenzahl richtig" (Diesel, zit. nach Sass, 1962: 444). Das Augsburger Entwicklungsteam schreckte vor dem zu erwartenden Aufwand bei den Versuchen aber zurück. Diesel selbst ging sogar so weit, die direkte Einspritzung auch für die Zukunft prinzipiell auszuschließen (R. Diesel, 1913: 22). In Augsburg begaben sich die Beteiligten daher wieder "zurück" zu den im "herrschenden Stand der Technik" versammelten und vermeintlich abgesicherten und daher funktionsfähigen Lösungen (R. Diesel, 1913: 25). Experimente mit Vergaser- oder Verdampferapparaturen scheiterten aber, und selbst die unter der persönlichen Aufsicht von Robert Bosch erfolgten Versuche mit der in konventionellen Verbrennungsmotoren bewährten Ma-

gnetzzündung konnte die Erwartungen nicht erfüllen (R. Diesel, 1913: 34; E. Diesel, 1937: 198). Zwischenzeitlich war man in Augsburg bereits soweit vom herrschenden Erfahrungsstand abgerückt, daß eine ähnliche pragmatisch orientierte Übernahme wie beim Viertaktarbeitsverfahren nicht mehr gelang und die im Kontext des herrschenden Standes bewährten Funktionsprinzipien auf dem neu abgesteckten experimentellen Terrain ihre Brauchbarkeit eingebüßt hatten. Einstweilen setzte man auf den Einsatz einer "technischen Krücke", um den angestrebten maschinellen Funktionsmodus zu erreichen: Ein Kompressor sollte den flüssigen Brennstoff einfach mit hohem Druck in die verdichtete Luft einblasen. Die dabei tatsächlich recht gute Gemischbildung und der erstmals befriedigend verlaufende Verbrennungsprozeß hatten aber einen hohen Preis: Ein zusätzliches Aggregat mußte an den Motor angeschlossen werden und machte diesen noch schwerfälliger, teurer und vor allen Dingen gefährlich, da die Luft in diesem Zusatzgerät weit über den bereits sehr hohen Kompressionsdruck im Verbrennungszylinder verdichtet werden mußte. Aus Sicht der Augsburger Geschäftsleitung schien dieser Preis, der für die Aussicht auf einen funktionstauglichen Betrieb bezahlt wurde, nicht zu hoch, man hatte ja bislang stationäre Motoren gebaut und war auch gewillt, mit dem neuen Motor dieses Marktsegment weiter zu bedienen. Bei einem ortsfesten Betrieb machte sich der Kompressor weit weniger störend bemerkbar als bei mobilen Verwendungen, an denen Diesel aber nach wie vor sehr interessiert war und der den Kompressorbetrieb des Versuchsmotors auch nur als Übergangsstadium akzeptieren konnte. "Der Kompressor war ihm ein Gram, weil der den Motor komplizierte und verteuerte und zudem die Nutzleistung verringerte" (Sass, 1962: 462).

Auf einer ersten "Diesel-Konferenz" im Februar 1896, an der die Vertreter der "Diesel-Gruppe" sowie Diesel selbst teilnahmen, sprachen sich die Geschäftsleitungen für eine stärkere Konzentration der Versuchsarbeiten aus und trafen eine für die weitere Entwicklung folgeschwere Entscheidung (vgl. R. Diesel, 1913: 52): Die Einstellung noch geplanter Experimente wurde beschlossen, die bisher erzielten Ergebnisse sollten vielmehr in einem dritten Versuchsmotor konsolidiert werden. Als wenige Monate später mit diesem dritten Versuchsmotor tatsächlich ansprechende Ergebnisse erzielt werden konnten, stoppte man die weitere Versuchsarbeit und begann mit der Sichtung

und Prüfung der Ergebnisse. Aus der Perspektive Diesels konnten diese Entscheidungen überhaupt nicht befriedigen, da es sich ja bei dem augenblicklichen Versuchsmotor nur um ein Provisorium handelte, während in Augsburg und Essen offensichtlich die bereits erreichte Funktionssicherheit als kostbares Gut gehandelt und gegenüber weiteren Plänen Diesels auch verteidigt wurde. Diese Bewertungsunterschiede sollten sich später noch weiter verschärfen und schließlich zum "Bruch" zwischen Diesel und der Augsburger Geschäftsleitung führen.

Triumph der Theorie - Desaster in der Praxis

Obwohl Diesel sich damit in grundlegenden technischen Fragen gegenüber den Interessen der "Diesel-Gruppe" nicht hatte durchsetzen können, trug die Art und Weise, wie der Motor aus dem Entwicklungstadium langsam in die Praxiskontexte überführt wurde, wieder seine Handschrift. Während die Unternehmen der "Diesel-Gruppe" sicherlich den üblichen Weg eingeschlagen hätten, zunächst die unbedingte, also auch ortsunabhängige Funktions- und Betriebstauglichkeit der Versuchsmaschine abzuwarten, um anschließend den Motor einigen befreundeten Referenzfirmen anzubieten und bei befriedigenden Testergebnissen dann langsam in den Markt einzuführen, strebte Diesel nach einer schnellen technik-wissenschaftlichen Bestätigung der erreichten Versuchsergebnisse, insbesondere nach einer gutachterlichen Überprüfung der realisierten Wirkungsgrade und einem Beweis für die Korrektheit seiner theoretischen Annahmen.

in die Praxis überhaupt in Erwägung gezogen werden konnte. Auf der VDI-Hauptversammlung hatte es erneut Schröter übernommen, über die durchgeführten Versuche zu berichten, und er ließ sich diese Gelegenheit auch nicht nehmen, dem versammelten Fachpublikum die praktische Bedeutung der technik-wissenschaftlichen Methoden und Theorien vorzuführen.

Schröter bezeichnete die theoretischen Grundlagen Diesels als "unanfechtbar" und drehte die Problemstellung, an der man während der Augsburger Entwicklungsphase so lange laboriert hatte, einfach um. Aus seiner Sicht stellte sich nämlich die Frage, "inwieweit es gelingen werde, die Forderungen der Theorie konstruktiv zu erfüllen". Es war ihm daher auch eine "besondere Befriedigung", "den Beweis dafür zu erbringen, daß die angewandte Thermodynamik denn doch nicht so unfruchtbar in bezug auf die Förderung der Wärmekraftmaschinen ist, wie in neuerer Zeit manchmal behauptet worden ist" (Schröter, 1897: 845). Schröter hatte bei seinen Untersuchungen in Augsburg einen thermischen Wirkungsgrad von 34,2 % bei voller Belastung errechnet und damit dem neuen Motor einen absoluten Spitzenplatz im Bereich der Wärmekraftmaschinen zuerkannt: "Ein Triumph der Theorie, wie er glänzender nicht gedacht werden konnte". Er schätzte die von ihm getestete Maschine "als marktfähig" und in "allen Einzelheiten vollkommen durchgearbeitet" ein (Schröter, 1897: 850, 852), obwohl er bei seinen Messungen um die Instabilität der Ergebnisse wußte (vgl. R. Diesel, 1913: 70f., 84f.; vgl. Schröter, 1897: 848).

Damit war es erneut gelungen, das Motorenprojekt in die Professionalisierungsbestrebungen der technik-wissenschaftlichen Forschung einzuweben und in der Fachwelt eine überaus große Resonanz zu erzielen, die der realen technischen Verfassung des Projektes nicht angemessen war, dafür aber die Aufmerksamkeit etwas von den bedrohlichen Problemen im Zusammenhang mit dem Patentschutz ablenkte. Noch war ja die Einspruchsfrist nicht abgelaufen und Diesel stand in Kassel vor dem Problem, die im Laufe der Augsburger Entwicklungszeit eingetretenen sichtbaren technischen Änderungen als nach wie vor rechtlich geschützte Konstruktionsmerkmale auszuweisen (vgl. Meyer, 1949: 309f.; R. Diesel, 1897: 819, 788, 789). Paul Meyer, später Professor in Delft, erinnerte sich, daß die in den Versuchen gemessenen hohen Temperaturen "nicht gerade angenehm über-

raschten", da sie ja die Theorie der isothermisch verlaufenden Verbrennung widerlegten. Diesel hatte es sich daher "zum Prinzip gemacht, bei allen Mitteilungen über den Motor möglichst die Ausdrucksweise der Patentschriften anzuwenden, um den Mangel an Übereinstimmung zwischen den Patenten und der wirklichen Ausführung nicht unnötig fühlbar werden zu lassen" (Meyer, 1913: 23, R. Diesel, 1897: 790).

Bemerkenswert an den Ausführungen Diesels in Kassel war zudem, daß er nach wie vor von einer noch zu erreichenden universellen Einsatzfähigkeit seines neuen Motors ausging und jeglichen Eindruck, diese Maschine sei nur für die Ablösung der Kolben-Dampfmaschine geeignet, zu zerstreuen versuchte. Das im Vergleich zu Gas- und Benzinmotoren recht wuchtig ausgefallene Aggregat habe in Wirklichkeit ein im Vergleich zur Leistung günstigeres Gewicht und erlaube in Zukunft - bei vergleichbarer Leistung mit konventionellen Verbrennungsmotoren - Gestänge, Pleuelstangen, Kurbelwellen sowie andere Maschinenteile sogar schwächer auszuliegen. Besonders stolz war Diesel auf die im Vergleich zu dem recht ruppigen Lauf der konventionellen Benzinmotoren sehr gute Regulierfähigkeit der Maschine, die für mobile Verwendungsformen daher geradezu prädestiniert erscheine; die Abgase seien "vollkommen rauch- und geruchlos" und als nächster Entwicklungsschritt der Bau eines 100 PS starken Verbundmotors geplant, kombiniert mit einem umfangreichen Versuchsprogramm zur Austestung verschiedener Brennstoffe (R. Diesel, 1897: 820, 821).

Zwischenzeitlich hatte aber das Interesse der "Diesel-Gruppe" an dem Motorenprojekt aus unterschiedlichen Gründen und trotz der euphorischen Aufnahme des Projektes in Kassel erheblich nachgelassen und die Bereitschaft, den mühevoll gesicherten provisorischen Stand für neue Projekte aufs Spiel zu setzen, blieb daher auch weiterhin sehr gering. Die Essener Direktoren waren mit dem Fortgang der Versuche unzufrieden, denn das primäre Interesse des Konzerns an dem Motorenprojekt galt ja der Verwertung des Hüttengases. "Schmitz meint" - so notierte Lucian Vogel - "am wichtigsten sei der Gasmotor. Sobald das Petroleum im Großen zu Motoren verwendet werde, sei zu fürchten, daß der Staat den Zoll erhöhen werde, um die Kohlen-Industrie zu schützen" (zit. nach Sass, 1962: 465). Doch die Versuche kamen in diesem Bereich nicht richtig in Gang, und als zur gleichen Zeit der Hör-

der Bergwerksverein mit Öchelhäuser und Junkers ein Großgasmaschinenprojekt mit großem Erfolg startete, drohten die Vertreter der Krupp-Zentrale sogar mit dem Ausstieg aus dem Entwicklungsprojekt.

Für die Maschinenfabrik Augsburg hatte sich mittlerweile die konjunkturelle Lage wieder erheblich gebessert. Buz vermutete zwar, daß "die Nachfrage nach dem Diesel-Motor voraussichtlich sehr groß sein würde", sah aber angesichts der sehr guten Auftragslage "mit Aufträgen unseres Geschäftszweiges" wenig Anlaß, in Augsburg an eine Kapazitätsausweitung zu denken und kündigte in einem Schreiben an Krupp vielmehr an, "nur eine beschränkte Anzahl von Wärmemotoren pro Jahr fertig" stellen zu wollen (Buz, zit. nach Sass, 1962: 460).

Während Diesel in Kassel "glänzende Triumphe der Theorie" feierte, drohte daher die "Diesel-Gruppe" auseinanderzubrechen. Nicht nur die veränderten ökonomischen Umstände und das darauf zurückzuführende nachlassende Interesse der federführenden Unternehmen wirkte sich für die Stabilität bedrohlich aus. Denn der nach der "Diesel-Konferenz" von der Geschäftsführung vereinbarte und rigide durchgesetzte "Schließungskurs", der auf eine rasche Konsolidierung der Ergebnisse ausgerichtet war, stieß nicht nur bei Diesel auf Unverständnis. Entwicklungsleiter Vogel sah offensichtlich unter diesen Bedingungen keine Perspektive mehr und verließ das Unternehmen, um bei der Maschinenbau AG Nürnberg in ein noch offeneres dieselmotorisches Entwicklungsprojekt einzusteigen. Auch die persönlichen Konflikte zwischen Krumper und Diesel verschärften sich, und als Krumper nach dem Ausscheiden Vogels die Dieselmotorenabteilung unterstellt wurde, konnte eine offene Eskalation nur vermieden werden, weil Krumper der etwas moderatere Oberingenieur Vogt "beigegeben" wurde. Mißgunst und Meinungskämpfe "hinter den Kulissen" blieben daher auch nach der Veranstaltung in Kassel für die Augsburger Atmosphäre bestimmend (E. Diesel, 1937: 200; R. Diesel, 1913: 89).

Risiken und Chancen der Lizenzvergabe als Element der Absicherungspolitik

Die Verhandlungen mit den interessierten Unternehmen verliefen unterdessen sehr erfolgversprechend. Schon zu Beginn des Jahres 1897 hatten verschiedene Firmenvertreter den Augsburger Versuchsmotor besichtigt, der zwar recht groß und unhandlich wirkte, dem aber durch die technik-wissenschaftlichen Gutachten recht beachtliche Laufeigenschaften und Verbrauchswerte bescheinigt worden waren. Als erste Firma meldete die Deutzer Gasmotorenfabrik ihr Interesse am Erwerb einer Lizenz an. Das durch eine Führungskrise und verlorene Patentprozesse arg gebeutelte Unternehmen stand unter Zugzwang, nicht noch mehr Boden auf dem ureigendsten Terrain kleiner, stationärer Verbrennungsmotoren zu verlieren. "Buz (war) zudem stolz darauf, daß seine Dampfmaschinenfabrik gerade den Deutzern einen neuen Motor vor die Nase gesetzt hatte" (E. Diesel, 1937: 224) und kündigte harte Lizenzverhandlungen an. In Deutz erkannte man aber schnell, daß die Diesel-Patente auf recht unsicherem Grund standen und informierte die Maschinenfabrik Augsburg über die Absicht, eine Anfechtungsklage einreichen zu wollen. Als Berater und Kronzeuge engagierten die Deutzer Otto Köhler und sandten den Entwurf einer Nichtigkeitsklage zusammen mit einem neuen Verhandlungsangebot nach Augsburg, wo sich unterdessen mit den beiden Ingenieuren Söhnlein und Capitaine zwei weitere, sehr aussichtsreiche Kandidaten einer Anfechtungsklage gemeldet hatten.

Zu dem nachlassenden Interesse der "Diesel-Gruppe" drohten nun diese angekündigten Anfechtungsklagen, das Projekt noch vor dem ersten Praxistest zu beenden. Aber auch in dieser Situation erwies sich Diesel als geschickter Stratege, dem es in einer hektischen Reisediplomatie nochmals gelang, insbesondere den unsicheren Kantonisten Krupp "bei der Stange zu halten" und die "Diesel-Gruppe" neu zu formieren. Denn noch hatten sich die Bedingungen, die einmal zum Start des Projektes geführt hatten, nicht gänzlich aufgelöst und Diesel schaffte es nochmals, die Eigeninteressen der beiden großen Maschinenbauanstalten zu aktivieren und zu gemeinsamen Verteidigungsleistungen des bisher ja nur sehr "provisorischen Standes" zusammenzubinden.

Aus Sicht der Deutzer Gasmotorenfabrik, einem der wichtigsten Träger des "herrschenden Standes für Verbrennungsmotoren" gab es gegenüber dem neuen Motoren-Projekt nur zwei Handlungsalternativen: Entweder erreichte man die Auflösung der Schutzrechte, die das unweigerliche Ende des neuen Motors bewirkt und das fein austarierte Gleichgewicht im "Stand der Technik" nicht weiter bedroht hätten, oder man stieg in das Projekt ein, hoffte von dem bereits erreichten Wissensstand zu profitieren und sich an der kommerziellen Ausbeutung beteiligen zu können. Die schließlich getroffene Entscheidung, auf rechtliche Schritte zu verzichten, kam allerdings nicht ganz freiwillig zustande. Die zentrale Figur einer Anfechtungsklage stand nämlich nicht mehr zur Verfügung. "Deutz sowohl wie auch die "Diesel-Gruppe" haben offenbar um die Schachfigur Otto Köhler gekämpft, die Dieselgruppe hat sie genommen", kommentierte Eugen Diesel diese Phase. Wäre dies nicht gelungen, hätte Köhler bei "dem folgenden entsetzlichen Patentprozeß zwischen Diesel und Capitaine wieder eine höchst gefährliche Rolle spielen können. Als aber Capitaine auftrat, war Köhler schon nicht mehr im Spiel" (E. Diesel, 1937: 235). Den schließlich mit der Deutzer Gasmotorenfabrik abgeschlossenen Lizenzvertrag kann man nur als "Knebelvertrag" bezeichnen: Neben einer hohen Anzahlung sollte Deutz bis zu 30 % Lizenzgebühren beim Verkauf von Motoren abführen. Die Lieferrechte waren zudem sehr eingeschränkt, insbesondere war Deutz vom lukrativen russischen Absatzmarkt ausgeschlossen. Immerhin konnte vertraglich vereinbart werden, daß sich alle Lizenznehmer über die Entwicklungsergebnisse gegenseitig unterrichteten (vgl. Sass, 1962: 483). Für die "Diesel-Gruppe" bedeutete der Vertragsabschluß mit Deutz hingegen einen großen Erfolg. Das im Verbrennungsmotorenbau erfahrenste Unternehmen war "mit im Boot" und es bestanden gute Aussichten, von diesem Wissensstand auch profitieren zu können, ohne für die nächsten Jahre eine Konkurrenz auf den wichtigsten Märkten befürchten zu müssen.

Bei den Deutzer Entwicklungsingenieuren löste die von der Geschäftsführung vereinbarte Zusammenarbeit keine Euphorie aus. Auch die Gasmotorenbauer reagierten auf die hohen Vorverdichtungen der Diesel-Maschine eher skeptisch, und die Bereitschaft, sich mit neuen fertigungstechnischen Grundlagen auseinanderzusetzen, war auch hier nur sehr gering. "Es hat Kämpfe gekostet", beschrieb Paul

Meyer den Beginn der Zusammenarbeit, "der Gasmotorenfabrik Deutz damals die Überzeugung beizubringen, daß all ihre auf dem Gebiet des Kleinmotors errungenen Erfahrungen bezüglich Zylinder und Kolben für den Bau eines Dieselmotors vollkommen unzulänglich waren" (Meyer, 1913: 37).

Bis zum Sommer 1897 traten noch weitere Unternehmen als Lizenznehmer in das Projekt ein und stabilisierten zunächst einmal die zwischenzeitlich in Turbulenzen geratene "Diesel-Gruppe". Zu diesen Firmen gehörten die Maschinen AG - Nürnberg, L.A. Riedinger in Augsburg, die Gebr. Sulzer in Winterthur, die nun auch mit der Fertigung der Maschinen beginnen wollten, Carel Frères in Gent, F. Dyckhoff in Bar-le-Duc, die Firmen "Sautter, Harlé & Cie und die Compagnie Francais des Moteurs à Gaz et des Constructions, die Mirrlees Watson Yaryan Co. in Glasgow, Dänemarks führende Schiffswerft Burmeister und Wain, die von Amerikas größtem Bierbrauer Adolphus Busch gegründete Diesel Motor Company of America in New York sowie eine Maschinenfabrik der Nobel-Familie in St. Petersburg. Alle Unternehmen hatten bislang, wenn sie nicht eigens für die Fertigung von Diesel-Motoren gegründet worden waren, im Dampfmaschinen- und Schwermaschinenbau gearbeitet und festigten damit die bisherige "Branchenkultur" der "Diesel-Gruppe" (vgl. Sass, 1962: 483; Johanning, 1901: 30ff.). Für Diesel selbst zahlte sich dieser Zuwachs auch finanziell aus. Allein für die nordamerikanischen und russischen Lizenzen erhielt er zusammen fast 2 Mio. RM an Gebühren (E. Diesel, 1937: 248, 251). Diesel investierte diese enormen Einnahmen zum größten Teil in die ein Jahr später, im September 1898, von Krupp, der Maschinenfabrik Augsburg und einigen Banken und Finanzleuten gegründete "Allgemeine Gesellschaft für Dieselmotoren AG", die als eine Art Patentverwertungs- und Studiengesellschaft die Zusammenarbeit der bisherigen "Diesel-Gruppe" verbindlich regeln und ein unter kurzfristigen ökonomischen Kalkülen drohendes Auseinanderbrechen verhindern sollte (E. Diesel, 1937: 274).

"Schließungs"-politik zur Sicherung des Konsolidierungskonsenses: Verliererprojekte

Weitaus weniger zufriedenstellend stellte sich für Diesel die Situation im Augsburger Versuchslabor dar. Die Monate nach der VDI-Versammlung wurden von harten Auseinandersetzungen zwischen dem an einer weiteren konstruktiven Fortentwicklung des neuen motortechnischen Prinzips interessierten Diesel und einer auf die entschiedene Umsetzung der auf der Konferenz getroffenen "Schließungs- und Konsolidierungsentscheidung" drängenden "Diesel-Gruppe" geprägt. Während sich die Vertreter von Krupp und der Maschinenfabrik Augsburg bereits über die Festlegung erster "Normalien" von sechs unterschiedlichen Baugrößen (vgl. R. Diesel, 1913: 32) verständigten, um den bisher erreichten Stand des Wissens zu formalisieren und für eine erste Kleinserie festzuschreiben, setzten Diesel und das kleine Entwicklungsteam die Experimente in Augsburg weiter fort. Der bisher auf dem Versuchsstand laufende schwere, ortsfeste Ölmotor konnte für Diesel ja nur ein Zwischenstadium gewesen sein, ein erster Beweis für die Richtigkeit seiner Theorie, mehr nicht. Paul Meyer erinnerte sich daran, daß es noch 1898 als "ein Verrat an einer heiligen Sache" aufgefaßt wurde, wenn man in Augsburg den Dieselmotor als einen "Ölmotor" bezeichnete (Meyer, 1913: 34).

Als erstes großes Projekt nach dem Vortrag in Kassel setzte Diesel - allerdings gegen erhebliche Widerstände - die Fortführung des Verbundmotors (Compoundmotor) durch. "In der Fabrik war man" - so Eugen Diesel - "das Experimentieren leid" (E. Diesel, 1937: 242). Die Konstruktionspläne lagen für diesen Typ schon seit Ende 1896 fertig in der Schublade und zeigten ein aus drei miteinander verbundenen Zylindern bestehendes Aggregat, wobei der in der Mitte liegende Niederdruckzylinder als Luftpumpe diente und in den beiden äußeren Hochdruckzylindern der Verbrennungsprozeß abgewickelt werden sollte. Dieser "eigentliche Dieselmotor" (E. Diesel, 1937: 243) erbrachte bei einem ersten Versuchslauf eine Reihe sehr interessanter verbrennungs- und konstruktionstechnischer Erkenntnisse, aber auch wieder ganz neue Dichtungs- und Materialprobleme, deren Bedeutung für den einzylindrigen Versuchsmotor der Geschäftsleitung nicht beizubringen waren. Die Integration der hieraus gewonnenen Erfahrungen und Er-

kenntnisse in die laufende Erprobung der Versuchsmaschine boten zwar durchaus Aussichten auf weitere technische Vervollkommnungen, die aber mit dem Risiko eines Verlustes des zwischenzeitlich erreichten maschinellen Funktionsmodus behaftet waren. Noch im laufenden Jahr 1897 setzte die Geschäftsleitung daher den Abbruch der Arbeiten an dem Verbundmotor durch (vgl. R. Diesel, 1913: 133ff.; E. Diesel, 1937: 242f.; Sass, 1962: 494f.).

Unter diesen Umständen mißlangen auch Diesels Versuchsarbeiten zur Abschaffung der teuren, unhandlichen und gefährlichen Kompressoranlage. Seine Versuche zur "Selbsteinblasung" des Kraftstoffs, Luft im Arbeitszylinder in einen abgetrennten Raum einzufangen, höher zu verdichten und einen etwas verzögerten Verbrennungsprozeß einzuleiten, ließen bereits charakteristische Merkmale der späteren Vor- bzw. Wirbelkammermotoren erkennen, ohne daß man in Augsburg zu dieser Zeit an einer solchen Lösung, die eine völlig neue Düsenvorrichtung erfordert hätte, interessiert gewesen wäre (vgl. Sass, 1962: 500f.; R. Diesel, 1913: 102ff.).

Selbst die Dauerversuche mit unterschiedlichen Flüssigbrennstoffen wurden nur noch mit sehr begrenztem Aufwand weitergeführt als sich zeigte, daß mit leichten (Petroleum) und mittelschweren Ölen (Gasöl) zunächst einmal eine Funktionssicherheit gewährleistet werden konnte. Für andere Ölsorten wurde nur noch die "prinzipielle Brauchbarkeit" festgestellt, Dauertests überhaupt nicht mehr angestellt. Selbst die vielversprechenden Versuche mit Spiritus führte man nicht weiter (R. Diesel, 1913: 112), obwohl 1902 das Preußische Kriegs- und Landwirtschaftsministerium ein Preisausschreiben zur Verwendung von Spiritus in Verbrennungsmotoren organisiert hatte. Für Petroleum sprachen auch überhaupt keine ökonomischen Vorteile, da die Importe nach wie vor mit hohen Steuern belastet blieben, zudem Spiritus aus heimischen Rohstoffen herzustellen war. "Wir sind mit den stationären Motoren so außerordentlich beschäftigt und bezüglich Herstellung der Zeichnung und Modelle für gangbare Größen noch so weit im Rückstand", begründete Buz ganz pragmatisch den "Ausstieg" aus dem Forschungsprogramm mit alternativen Kraftstoffen und gab zu Bedenken, "daß wir es nicht zweckmäßig erachten können, uns jetzt schon mit anderen Konstruktionsarten zu befassen und dadurch unsere Kräfte zu zersplittern, insbesondere nicht mit Spiritusmotoren". Der Konsolidierungskonsens sollte keinesfalls durch

die Verwendung eines Treibstoffes wieder in Frage gestellt werden, der ja doch nur "Modesache" sei und "keine Zukunft habe" (Buz, zit. nach Mitteilungen, 1941: 12).

Der Entscheidung zur "Schließungs- und Konsolidierung" der Entwicklungsarbeit wurde noch ein weiteres Projekt untergeordnet: der Kohlestaub-Motor. Als die von Diesel mit besonderem Engagement verfolgten Versuche im Ergebnis nicht befriedigten - der mehlartige Staub setzte sich sofort an den öligen Zylinderwänden, Ventilen und Dichtungen fest -, rief nach Paul Meyer "der Ausgang dieser Versuche" "bei niemandem eine Enttäuschung" hervor. Meyer hatte überhaupt "das Gefühl, daß es sich dabei nur um die formale Erledigung des ursprünglichen Versuchsprogramms" gehandelt habe (Meyer, 1913: 33). Diesel bedauerte dagegen sehr, "daß bei den beteiligten Firmen keine Neigung mehr vorhanden (gewesen sei), nach dieser Richtung hin noch kostspielige Versuche zu machen, umso weniger" - wie er 1913 rückblickend bemerkte -, "als die vorhandenen Versuchsmotoren nur für flüssige Brennstoffe durchgebildet waren". "Ein richtiger Kohlenstaubmotor hätte von Grund auf neu gebaut werden müssen mit Spezialeinrichtungen für das Einblasen des Kohlenstaubs und mit einer Kolbensmierung, welche das systematische Ausspülen etwa zwischen die (Kolben-)Ringe eingedrungenen Staubes" erlaubt hätte (R. Diesel, 1913: 126). Im Augsburger Entwicklungsteam war man vielmehr froh darüber, in einer Art "kognitivem Muster" dem Dieselmotor flüssige, dem Explosionsmotor gasförmige und der Dampfmaschine feste Brennstoffe zuordnen zu können (Lauster, 1925: 31). Auf der Basis dieses Konsolidierungskonsenses konnte in kurzer Zeit ein so großer Erkenntnisfortschritt entstehen, daß Versuche mit alternativen Kraftstoffen, die einige Jahre später wieder aufgegriffen wurden, diesen Wissens- und Erfahrungsvorsprung in seinen funktionalen Vorzügen nicht mehr einzuholen vermochten.

Die Entscheidung Diesels, den "rationellen Wärmemotor" von führenden Unternehmen des Dampfmaschinen- und des Schwermaschinenbaus im Vertrauen auf den dort vorhandenen soliden Kenntnisstand bauen und entwickeln zu lassen, zahlte sich zwar hinsichtlich einer schnellen Überführung seiner technikkwissenschaftlichen Projektskizzen in einen stabilen Funktionsmodus aus; er unterschätzte aber auf der anderen Seite die Dominanz der in diesen Unternehmen herrschenden Perzeptionsmuster, die durch eine konsequente Umset-

zung der Interessen in einer rigiden "Schließungs- und Konsolidierungsentscheidung" den Motor in seinem Grundprinzipien irreversibel prägen sollten. Andere Verwendungsoptionen - wie beispielsweise die Weiterentwicklung zu einem mobilen Antriebssystem - bildeten keine Schwerpunkte in den Planungskalkülen der "Diesel-Gruppe", fanden im Versuchsprogramm keine Berücksichtigung und wurden von anderen Unternehmen erst aufgegriffen, als die Grundmerkmale in der maschinellen Konfiguration "versiegelt" waren.

Unmittelbar nach dem Vortrag in Kassel meldeten nicht nur Maschinenbauanstalten Interesse an dem neuen Motor an. Mit Ludwig Lohner, Chef der renommierten "K.u.K. Hof-Wagen-Fabrik Jakob Lohner & Co" sowie Ludwig Czischek-Christen, Wiener Professor und technischer Berater von Lohner, nahmen auch andere Industrievertreter den Kontakt mit der "Diesel-Gruppe" auf. Der Zeit vorausseilend erwartete Lohner eine schnelle Verbreitung automobiler Wagen und Droschken und begann daher nach einem geeigneten Antriebssystem für die Aufnahme entsprechender Entwicklungs- und Versuchsarbeiten Ausschau zu halten. Die zunächst mit der Daimler-Motoren-Gesellschaft begonnenen Verhandlungen scheiterten an patentrechtlichen Problemen und lenkten die Aufmerksamkeit auf das mittlerweile in der Fachwelt populäre Dieselpjekt (vgl. Köppen, 1988: 97). Die Krupp-Werke in Essen, zuständig für die österreichisch-ungarischen Patente, zeigten aber - mit dem Stand der Dieseleentwicklung äußerst unzufrieden - überhaupt kein Interesse an Entwicklungswegen, die noch weiter von den ursprünglichen Zielen entfernt lagen und verwiesen Lohner an die zwischenzeitlich ja in die "Diesel-Gruppe" aufgenommene Gasmotorenfabrik Deutz, die aber ebenfalls "glatt ablehnte" (Siebertz, 1950: 17).

Damit wäre das Projekt des Diesel-Fahrzeugmotors an der ablehnenden Haltung der den "herrschenden Stand der Technik" stationärer Motorensysteme pflegenden Maschinenbauanstalten der "Diesel-Gruppe" bereits gescheitert, wenn nicht Rudolf Diesel sofort und euphorisch diese sich ihm bietende Gelegenheit genutzt hätte, um mit neuen industriellen Partnern den Augsburger Entscheidungszwängen möglicherweise zu entkommen und seinem Motor über den Ersatz von Dampfmaschinen hinaus weitere Verwendungsbereiche zu erschließen. In einer ersten Projektbesprechung einigte man sich schnell auf

grundlegende technische Kenngrößen. In Frage kam für einen mobilen Motor zunächst nur flüssiger Brennstoff, selbstverständlich das ungefährliche und schon erfolgreich erprobte Petroleum. Zu einem späteren Zeitpunkt sollten die Versuche mit Spiritus ergänzt werden. Mit der guten Regulierfähigkeit und dem Fehlen der komplizierten Zünd- und Vergaseranlagen bot sein Motor nach Diesels Einschätzung überaus gute Bedingungen, sich von den in seinen Augen damals bereits "veralteten Ideen" des Automobilbaus zu lösen. Das Dieselfahrerfahren versprach eine höhere Elastizität. Während Benzinmotoren ja nur in einem sehr kleinen Drehzahlbereich ihr Leistungsvermögen entwickeln konnten und daher auf den permanenten Betrieb eines Drehmomentwandlers (Getriebe) angewiesen waren, zeigten die ersten Ergebnisse des Dieselmotors einen wesentlich gleichmäßigeren Verbrennungsverlauf, dessen höherer Mitteldruck eine für den Fahrbetrieb viel günstigere Drehmomentkurve versprach, die sogar den Verzicht auf ein Wechselgetriebe in Aussicht stellte (Siebertz, 1950: 15ff.; E. Diesel, 1955: 16ff.). Die von Diesel beschriebenen Lösungsansätze für die technischen Probleme des Benzinmotors - die im übrigen heute, nach über 100 Jahren, immer noch die gleichen sind -, beeindruckte die Wiener und bestärkte sie in ihrer Entscheidung, mit dem Dieselmotor "eine österreichische Motorenwagenindustrie zu begründen" (Siebertz, 1950: 17). Auf einer Konferenz im Oktober 1897 sollten die auch an anderen Orten entstandenen Projektüberlegungen miteinander koordiniert und bereits eine "definitive Form des Motors festgestellt" werden (Siebertz, 1950: 23). Ort der Konferenz war Nürnberg, weil die dort ansässige Nürnberger Maschinenbau AG, ein im Eisenbahnbau renommierteres Unternehmen, mit technischer Beratung des Eisenbahnfachmanns Oberbaurat Klose ebenfalls mit neuen Antriebssystemen für Automobile sowie schienengebundenen Wagen experimentierte. Gemäß dem "herrschenden Stand der Technik" mobiler Antriebssysteme waren hier zunächst Benzinmotoren verwendet worden. Als im Sommer 1887 mit dem von Augsburg kommenden Lucian Vogel ein erster "Diesel-Experte" in das Nürnberger Unternehmen eintrat, wandte man sich daraufhin aber dem neuen Dieselfahrerfahren zu und stieg als Lizenznehmer in die "Diesel-Gruppe" ein.

Der von den überaus eng definierten Entwicklungsvorgaben der Augsburger Maschinenbaugesellschaft befreite Lucian Vogel projektierte drei Motortypen, bei denen er das Dieselfahrerfahren auch trieb-

werkstechnisch konsequent umzusetzen versuchte und deshalb auf das "Gegen-Kolben"-Prinzip, einer weiteren "technische Option", zurückgriff. Mit dem gegenüber konventionellen Hubkolbentriebwerken erhofften besseren Massenausgleich konnte in Nürnberg gleich viel forscher geplant werden. Während in Augsburg eine verhältnismäßig schwere Maschine mit 150 U/min 18 PS leistete, sollten in Nürnberg mit einem kleinen zweizylindrigen Kutschenwagen 5-6 PS bei immerhin schon 800 U/min erreicht werden. Neben einem ebenfalls zweizylindrigen Eisenbahntriebwagen (20 PS bei 500 U/min) gehörte ferner ein über 500 PS starkes Aggregat, vorgesehen für den Einbau in eine neue Diesel-Lokomotive, zum ersten Entwicklungsprogramm (vgl. Sass, 1962: 537).

Das starke Interesse der Nürnberger Maschinen AG am Einstieg in die Automobiltechnik dokumentierte sich auch in der Teilnahme des Direktors Anton Rieppel an der Gründungsversammlung des "Mittel-europäische Motorwagen Verein" (MMV) in Berlin. Diesem Verein, ein Interessenzusammenschluß aus Fabrikanten, Händlern, "Automobilisten" zur Förderung und Durchsetzung des Automobils im privaten und öffentlichen Verkehr, gehörten auch Industrielle wie Emil Rathenau, Vertreter der Daimler-Motoren-Werke, der Benz & Cie sowie Klose und Diesel an, während Maschinenbauunternehmen, insbesondere aus der "Diesel-Gruppe", nicht vertreten waren. In der Zusammensetzung dieses ersten deutschen Automobilclubs kündigte sich bereits eine beginnende Ausdifferenzierung der Maschinen- und Automobilbaubranche an, in deren Folge sich auch unterschiedliche technische Produkt- und Produktionskonzepte für die jeweiligen Einsatzgebiete herausbilden sollten (vgl. Der Motorwagen, 1, 1889, S. 3f.).

Aber schon nach kurzer Zeit mußten die Promotoren des "Fahrzeug-Diesels" feststellen, daß auch in Nürnberg, trotz der reformeifrigen Geschäftsführung, die Möglichkeiten einer Maschinenbauanstalt für solche neuen Nutzungsgebiete eng gesteckt waren und eine Entkoppelung von den "herrschenden Schließungs- und Konsolidierungsentscheidungen" der übrigen "Diesel-Gruppe" nicht gelang. Klose mußte Lohner berichten, daß die Erprobung des Diesilverfahrens in seinen Augen "nur nebenher" geschehe. Zudem würden die an der Entwicklung beteiligten Unternehmen "furchtbar lange brauchen, ehe sie herauskommen", er sei "ganz verzweifelt mit Nürnberg" (zit. nach Siebertz, 1950: 25). Unterstützung durch die "Kernmitglieder" der

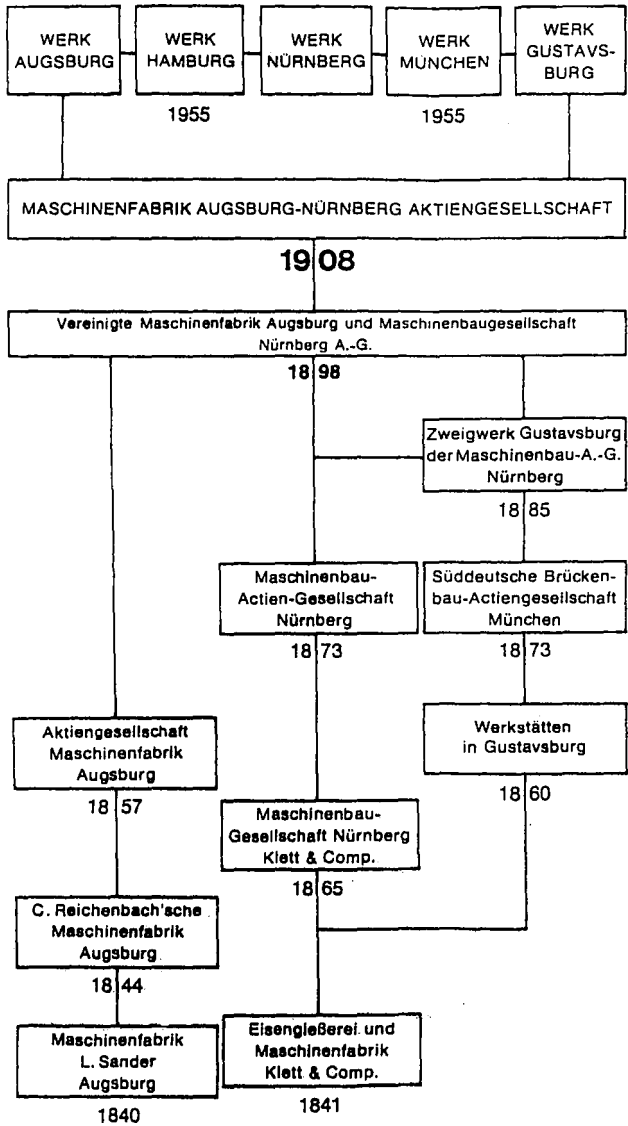
"Diesel-Gruppe" zur Entwicklung eines Fahrzeug-Dieselmotors blieb aus. Die Maschinenfabrik Augsburg und die Krupp AG standen dem damaligen Automobilbau weiterhin sehr fern. Durch eine Ausweitung der Verwendungskontexte war vielmehr der bisher nur mühsam erreichte Konsolidierungskonsens bedroht, und die erstrebte stabile Funktionsfähigkeit wäre wieder in weite Ferne gerückt. "So gehörten zweifellos auch die Struktur der Lizenzwerke und die Mentalität ihrer Leiter und Ingenieure, (...) mit zu den Ursachen, daß die Idee des Diesel-Automobils gar nicht weiterverfolgt wurde" und, was aber noch viel gewichtigere Konsequenzen hatte, der neue Motor geriet "zu Unrecht in den Ruf (kam), für den Motorwagen grundsätzlich nicht brauchbar zu sein" (E. Diesel, 1955: 23). Die Entscheidung für den Schwermaschinenbau als Entstehungsmilieu seines Motors bedauerte Diesel im Hinblick auf das Scheitern des Fahrzeug-Dieselmotors, weil alle "deutschen Fabriken, die den Dieselmotor bauen, ausschließlich große, für Industriezwecke geeignete Maschinen herstellen und daher der Kleinmechanik wenig Interesse zuwenden" (Diesel, zit. Mitteilungen, 1941: 11).

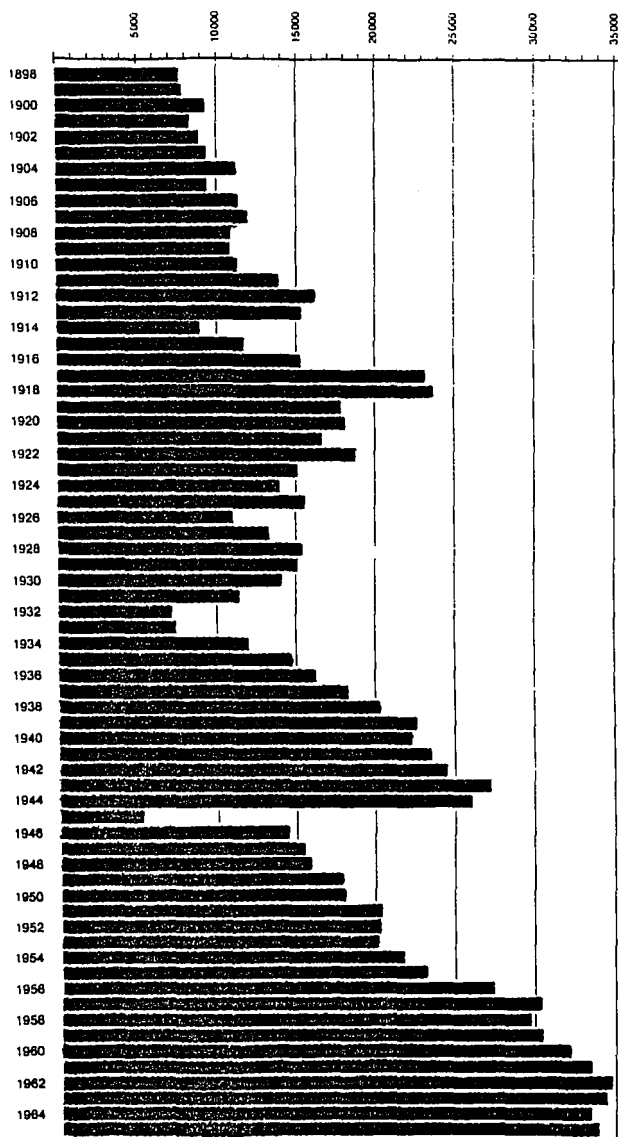
Daß es in Nürnberg nicht so recht vorwärts ging und hier kein größerer Beitrag für die Bildung einer neuen industriellen Trägergruppe zur Entwicklung mobiler Antriebssysteme auf der Basis des Dieselvefahrens zustande kam, lag aber nicht nur am rigiden "Schließungs- und Konsolidierungskurs" der "Diesel-Gruppe". Im Rahmen der Neufassung und Neuformierung der unternehmerischen Basis schloß sich die Nürnberger Maschinenbau AG mit dem ehemaligen Konkurrenten Augsburg zusammen, wobei insbesondere für die Nürnberger Geschäftspolitik die Rahmenbedingungen enger gesetzt werden sollten. Das traditionsreiche Unternehmen, 1873 aus der "Maschinenfabrik und Eisengießerei Klett & Co" hervorgangen, war vor allem im Eisenbahn- und Brückenbau engagiert gewesen. Zur Zeit des Gründerbooms 1872/73 beschäftigte Nürnberg bereits 3.309 Mitarbeiter und setzte 15 Mio. Mark um, während in Augsburg lediglich 628 Mitarbeiter einen Umsatz von 1,9 Mio. Mark erzielten (vgl. Rupieper, 1982: 257f.). Die Unternehmensleitung hatte es aber auch hier versäumt, für die sehr schwankenden staatlichen Auftragseingänge rechtzeitig kompensierende Geschäftszweige aufzunehmen und auszubauen. Als Anton Rieppel - vom Zweigwerk Gustavsburg nach Nürnberg berufen - die Geschäftsführung übernahm, mußte er fest-

stellen, daß seit 1874 in der Fabrik bis auf eine teilweise installierte elektrische Beleuchtung "keinerlei Neuerungen eingeführt" worden waren und er daher zunächst umfassende Modernisierungsmaßnahmen einleitete, die schließlich zur völligen Umstrukturierung führten und mit einem kompletten Umzug (1897-1901) des Unternehmens in neue Fabrikanlagen im Süden der Stadt abgeschlossen wurden (Bitterauf, 1924: 41).

Die großen Probleme einer geschäftlichen Konsolidierung nach dem Boom der Gründerjahre lagen auch in Nürnberg an einem nicht geregelten Generationswechsel der Geschäftsführung: Der Sohn des Mitbegründers Theodor Cramer-Klett jr. fühlte sich "nicht für die Industrie erzogen" (Eibert, 1979: 152) und drängte Rieppel schließlich zum Verkauf der im Familienbesitz befindlichen Aktienmehrheit. Nachdem aber Verhandlungen mit Unternehmen aus dem Ruhrgebiet gescheitert waren - Rieppel suchte nach Zugängen zu den Preiskartellen der Montankonzerne -, konnte schließlich mit dem nahe gelegenen Konkurrenzunternehmen Maschinenfabrik Augsburg Kontakt aufgenommen und sehr schnell eine Fusion beider Werke beschlossen und durchgeführt werden. Die "Vereinigte Maschinenfabrik Augsburg und Maschinen-AG Nürnberg" wurde im Sommer 1898 im Handelsregister eingetragen, bereits wenige Jahre später bürgerte sich das Kürzel "MAN" ein und 1909 erfolgte die Namensänderung in "Maschinenfabrik Augsburg Nürnberg AG". Hinter einem komplizierten Aktien-tausch verbarg sich allerdings faktisch der Kauf des Nürnberger Werks durch die kleinere, aber ökonomische "gesündere" Maschinfabrik Augsburg. "Zweifelos hatten die Augsburger Aktionäre mit diesem Fusionsabkommen ein gutes Geschäft gemacht; mit einem Drittel ihrer Aktien konnten sie ein (...) Unternehmen kaufen", das 1897/98 (...) einen Umsatz von 15,4 Mio. Mark gegenüber den bescheidenen 9 Mio. Mark des eigenen Augsburger Unternehmens erzielt hatte (Eibert, 1979: 161).

Abb. 7: Übersicht zur Unternehmensgeschichte und Beschäftigungsentwicklung der MAN





Quelle: E. Diesel, 1965: 46-47

Für die ersten Jahre der Geschäftsführung des neuen Unternehmens sollte aber kennzeichnend sein, daß - und dies wirkte sich auch auf die technischen Entwicklungen aus - beide Werke nicht nur eine weiterhin getrennte kaufmännische Abwicklung betrieben, sondern auch die Abstimmung der F&E-Politik nicht im ursprünglich bei Vertragsabschluß angestrebten Maße erreicht wurde. Mit Buz und Rieppel standen zudem zwei Direktoren an der Spitze des Unternehmens, deren persönliche Gegensätze "zwar nach außen kaum in Erscheinung traten, nach innen aber doch nicht selten zu Reibungen führten. Rieppel verband mit einem reichen technischen Wissen eine ungestüm nach vorwärts drängende Art. Demgegenüber war Heinrich Buz eine mehr langsam abwägende Natur, deren Wesen in äußerster Folgerichtigkeit und Beharrlichkeit gipfelte" (Bitterauf, 1924: 114). Unterschiedliche Einschätzungen zu Fragen der Geschäftsführung trafen darüber hinaus auf Kundenwünsche, die noch lange Jahre auf einer Abwicklung der Aufträge "ihres" Werkes beharrten und eine Bereinigung und Neuorganisation der Fertigung mit den gewünschten Synergieeffekten auf Jahre hinaus verzögerten.

Auch in Forschungs- und Entwicklungsfragen setzten sich die Gegensätze der prägenden Unternehmerfiguren Buz und Rieppel fort und kondensierten in sehr unterschiedlichen Interpretations- und Verwendungsformen des von beiden Unternehmen anerkannten und getragenen "herrschenden Standes der Technik". Noch 1903 bedauerte ein Kritiker, daß in "Nürnberg immer noch an viel zu viel Neuem experimentiert" würde, während vergleichbare andere Maschinenbauunternehmen in "eingefahrenen, lohnenden Geschäftszweigen" investierten (zit. nach Eibert, 1979: 171). Es war daher keinesfalls zufällig, daß ausgerechnet die damalige Nürnberger Maschinen AG als einzige der traditionellen Maschinenbauunternehmen überhaupt die Entwicklung eines Fahrzeug-Dieselmotor aufgenommen hatte. Vermutlich ist im Zusammenhang mit den Fusionsverhandlungen eine grundsätzliche Abstimmung im weiteren Vorgehen des Dieselmotoren-Entwicklungsprogramms herbeigeführt und Nürnberg auf den Konsolidierungskonsens der "Diesel-Gruppe" verpflichtet worden. Vogel, der nach dem Wechsel von Augsburg erst ein Jahr in Nürnberg gearbeitet hatte, verließ jedenfalls das Unternehmen gleich nach der erfolgten Vereinigung wieder; das Fahrzeugprojekt wurde eingestellt und in Nürnberg

wie in Augsburg widmeten sich die Entwicklungsteams nur noch der Anwendung des Dieserverfahrens im Großmaschinenbau (vgl. auch Sass, 1962: 537f.; Siebertz, 1950: 28).

Das frühe Wegbrechen des industriellen "Standbeins" für ein Fahrzeugprojekt blieb selbstverständlich für die weitere technische Karriere des Fahrzeug-Dieselmotors nicht folgenlos. Der Aufbau einer neuen Industriegruppe war angesichts des breiten Desinteresses der "federführenden" Maschinenbauanstalten schwierig und mit Blick auf die labile Situation des Dieselpjektes überhaupt geradezu gefährlich. Diesel zog daraus die Konsequenz, unter diesen Umständen auf eine umfassende technische Reform mobiler Antriebssysteme zu verzichten und angesichts der herrschenden Perzeptionsmuster der Maschinenbaubranche für weitere Projekte eine "umgekehrte" Konstruktionsphilosophie vorzuschlagen. Das Dieserverfahren sei so neuartig, "daß es naturgemäß einer Reihe von Jahren bedürfen wird, um es für Motoren verschiedenster Art brauchbar zu machen. Es wäre daher nützlich und praktisch", schloß Diesel, "nicht einen in allen seinen Teilen neuartigen Motor schaffen zu wollen, sondern man sollte gerade das Gegenteil tun und von einer bekannten und erprobten Motorenbauart ausgehen und an dieser schrittweise und unmerklich sozusagen, ohne Rückschläge befürchten zu müssen, die verschiedenen Verfahrensarten und Dieselpatente praktisch anwenden" (R. Diesel, zit. nach Mitteilungen, 1941: 11; Siebertz, 1950: 27). Diesel leitete mit diesen für die französische Autoindustrie bestimmten Vorschlägen selbst die "Wende" in der Fahrzeug-Dieselmotorenentwicklung ein. Von den technischen Vorteilen des Dieserverfahrens ausgehend, einen neuen kleinen Motor zu konstruieren, der die ruhigen und elastischen Laufeigenschaften einer Dampfmaschine mit den Vorzügen des Verbrennungsmotors sowie günstige Verbrauchswerte und die Verwendung eines ungefährlichen Treibstoffes verbinden konnte, nahm er Abschied. Sein neuer Vorschlag, bereits ausgeführte kleine konventionelle Benzinmotoren auf das Dieserverfahren umzustellen, also durch einen umfassenden Rückgriff auf Grundprinzipien des "herrschenden Standes der Technik" mobiler Antriebssysteme Akzeptanzprobleme zu überwinden und eine schnellere Aufnahme und Diffusion des Dieserverfahrens zu ermöglichen, sollte eine unter bestimmten Umständen getroffene, aber für die weitere technische Entwicklung des Fahrzeug-Dieselmotors schicksalhafte Bedeutung erhalten. Der für Wett-

bewerbszwecke "hochgezüchtete" und dann für vornehme und auf Exklusivität bedachte Nutzergruppen "kultivierte" Benzinmotor wurde als "herrschender Stand" zum dominanten Orientierungspunkt und das Dieselverfahren damit auf eine Entwicklungsbahn gezwängt, deren Referenzpunkte - Kriterienrahmen und Bewertungsmaßstäbe - durch ausgewählte Merkmale der Vergasermotoren vorgegeben waren und für die technische Entfaltung des Dieselverfahrens enge Grenzen markieren sollten.

Wie stark der Druck zur Wahrung und Pflege des bisher erreichten Konsolidierungskurses auch auf neue Mitglieder der "Diesel-Gruppe" lastete und für "abweichende" Reformprojekte nur wenig Raum ließ, zeigte sich am Beispiel der Deutzer Gasmotorenfabrik. Unter dem Konstruktionschef Bela Wolf begann man zunächst charakteristische Konstruktionsmerkmale wie die Kreuzkopfanordnung abzuändern, um möglichst bald "völlig das Augsburger Vorbild" verlassen zu können und das konstruktive Gerüst des Motors nach den eigenen Kenntnis- und Interessenprofilen auszurichten. Freilich ging den Deutzern bei diesen Versuchen die Puste aus. Nicht nur die "definitive Kraft" des bisher faktischen Kenntnisstandes, von dem man sich auch in Deutz, ohne die maschinelle Funktionsfähigkeit zu verlieren, nicht einfach lösen konnte, auch die Bedingungen des Lizenzvertrages verhinderten - ohne Aussichten auf lukrative Absatzmärkte -, daß in Deutz nochmals so viele Ressourcen mobilisiert werden konnten, um grundsätzliche Entscheidungen über Verbrennungsprozeß, Arbeitsweise und Konstruktionsform des Dieselprinzips auf die Tagesordnung setzen zu können. Zudem war hier die Geschäftsleitung zu diesem sehr entscheidenden Zeitpunkt nicht optimal organisiert, um in einem "Nachverhandeln" bessere Konditionen herauszuholen. Jedenfalls vermied man zunächst, die eigenen, zum herrschenden Konsolidierungskonsens der "Diesel-Gruppe" in Konkurrenz stehenden Entwicklungslinien zu etablieren und akzeptierte die bisher bereits getroffenen "Schließungsentscheidungen" (Goldbeck, 1958: 90; Goldbeck 1964: 88ff.).

Diesels Entwicklungsprojekte, die den Motor von den technischen "Krücken" befreien und universellere Nutzungsmöglichkeiten erschließen sollten, waren damit schon zur Jahrhundertwende gescheitert. Ende 1899 löste Heinrich Buz die Versuchsstation schließlich ganz auf. Diesels Flehen, an den "hochverehrten Herrn Kommerzien-

rat", das gemeinsame Werk nicht "im letzten Augenblick im Stich zu lassen", "nicht gerade jetzt im entscheidenden Moment fallen zu lassen", nutzte nichts (Diesel, zit. nach Sass, 1962: 498). Auch mit anderen Lizenznehmern wie die Gebr. Sulzer, um die sich Diesel immer sehr bemüht hatte, kündigten sich ähnliche grundsätzliche Meinungsunterschiede über die weitere Entwicklungsrichtung an. "Im Gegensatz zu Diesel, der eine Dezentralisierung der Krafterzeugung und das Aufstellen zahlreicher kleiner Einheiten in den Vordergrund stellt, ist Sulzer-Imhoof", einer der Geschäftsführer des Unternehmens, "mehr an der Entwicklung großer Einheiten interessiert und strebt besonders die Verwendung des Motors als Antriebsmaschine für Schiffe an" (Humm, 1958: 89). Während Diesel seinen neuen Motor zwar einerseits als "Ersatz" insbesondere der qualmenden und teuren Dampfmaschinen anpries und dabei den herrschenden Diskursen im Theoretischen Maschinenbau folgend, vom "Grundsatz der Dezentralisation" (R. Diesel, 1987: 821) ausgegangen war, hatten seine Lizenznehmer zwar den Ersatzgedanken, nicht aber seine energiepolitischen Visionen mitgetragen. In den Konstruktionsformen des Motors blieben die Interessen- und Perzeptionsmuster des Maschinenbaus, die Kompetenzen und die existierenden Nutzungsvorstellungen "eingeschrieben". Selbst in Vorschlägen der eigenen Dieselabteilung, eine leichtere und kreuzkopfloze Bauform auszuprobieren, vermutete die Geschäftsleitung eine Gefahr für die Sicherung der Funktionsfähigkeit des bisherigen Baumusters und lehnte solche Entwicklungsschritte ab (vgl. Sass, 1962: 523).

Markteinführung unter manipulierten Bedingungen

Die gereizte Stimmung in Augsburg und die ablehnende Haltung von Buz gegenüber den weiteren Plänen Diesels rührte allerdings auch daher, daß der praktische Nachweis der Funktionsfähigkeit der Maschine auch außerhalb des Augsburger Versuchslabors mit den angekündigten Verbrauchswerten immer noch sehr große Probleme verursachte und von dem umtriebigen "Erfinder" Diesel durch seine immer neuen Anregungen sogar noch gefährdet wurde. Der zwischen Augsburg und Essen mühsam ausgehandelte "Konsolidierungskonsens" - die Essener hatten ihre Gas-Interessen einstweilen wieder zurückgestellt -, der den kleinsten gemeinsamen Nenner in der "Diesel-Gruppe"

festschrieb und der für die technische Arbeit zur Optimierung der Versuchsmaschine und zur Überführung in einen Routinebetrieb unbedingt notwendig war, dieser "Konsolidierungskonsens" wurde ausgerechnet von Diesels Plänen zur Öffnung neuer und zweifellos auch aussichtsreicher Entwicklungsrichtungen immer wieder bedroht. Zudem mußte man in Augsburg nun auch mit den Folgen der von Diesel geschickt inszenierten Öffentlichkeitskampagne fertig werden, die Diesel hohe ideelle und materielle Vorteile verschafft hatten, aber für Augsburg nur den Druck auf eine baldige Markteinführung der Maschine erhöht hatten, deren Ergebnisse auch noch unmittelbar mit dem Ruf des Unternehmens verknüpft wurden. Diesen Nachweis versuchte MAN daher durch manipulierte Bedingungen zu erbringen, um sich nicht gänzlich den ungeschützten Bewertungsmechanismen des Marktes auszusetzen. Im Kemptener Werk der "Vereinigten Zündholzfabriken A.G.", Generaldirektor war Karl Buz, der Bruder des Augsburger Direktors, hatte sich die Werksleitung überreden lassen, anstelle der geplanten Anschaffung einer neuen Kolben-Dampfmaschine das Experiment mit dem Motor einzugehen. "Die Maschinenfabrik Augsburg mußte sich, was nicht bekanntgegeben wurde, verpflichten, im Falle des Mißlingens den Dieselmotor gegen eine Dampfmaschine mit Kesselanlage kostenlos auszuwechseln" (Sass, 1962: 505). Schon nach sehr kurzer Betriebsdauer zeigte sich an der aus zwei Zylindern bestehenden und 60 PS leistenden Maschine, daß die Vorsichtsmaßnahmen auch dringend notwendig gewesen waren. Der Energiebedarf im Sägewerk wechselte in schneller Folge und sehr häufig traten "Überlast-Phasen" ein. Für die konventionelle Dampfmaschinentechnik überhaupt kein Problem, da hier das Arbeitsmedium Dampf im Kessel auf Vorrat produziert wurde und praktisch immer in ausreichender Menge zur Verfügung stand. Dem neuen Verbrennungsmotor, der bei jedem Arbeitstakt sein Arbeitsmedium Gas immer erst neu aus den Komponenten Luft und Petroleum zusammenstellen mußte, ging bei solch schnellem und mit Überlast gefahrenen Betrieb im wahrsten Sinne des Wortes rasch die Luft aus. Die ungewohnten und wechselnden Betriebsanforderungen ließen die Maschine darüber hinaus so heiß werden, daß ständig Schäden an Kurbelwellen, Lagern und Ventilen auftraten. Die Einblasluft des Kompressors erreichte gar den Zündpunkt des verdampfenden Schmieröls und löste Schmierölexplosionen aus. Der Siebzerstäuber der Brennstoffdüse verschmutzte jeden

Tag so stark, daß er abends immer ausgebaut, gesäubert und neu gewickelt werden mußte, um am nächsten Tag wieder betriebsbereit zu sein. Nur der geschickten und mittlerweile auch sehr erfahrenen technischen Betreuung eines langjährigen Mitarbeiters der Versuchsabteilung war es zu verdanken, daß durch Nacharbeit der Betrieb der Maschine am Tage gewährleistet werden konnte. Während unter normalen Umständen jedes einzelne dieser technischen Probleme zum sofortigen Ende des Experiments geführt hätte, konnte die Maschinenfabrik Augsburg in Kempten auf eine wohlwollende und konstruktive Mitarbeit bauen. Die Arbeiter hatten gelernt, auf den Motor Rücksicht zu nehmen und ihre Arbeitsweise an die limitierten Möglichkeiten der Maschine anzupassen. Der technische Leiter ("Der Dieselmotor hat mich zehn Jahres meines Lebens gekostet") unterstützte die Arbeiten und erlaubte sogar einen kompletten Umbau der Maschine in Augsburg (Sass, 1962: 509ff.).

Die Umsetzung der in den Labortests gewonnenen Erkenntnisse in eine erste Kleinserie - das hatten die Kemptener Erfahrungen gezeigt - reichten für den Dauerbetrieb noch nicht aus. Der Motor war auf die kurzfristige Verfügbarkeit von Erfahrungen und Wissensbeständen angewiesen, die aber nur in wenigen Köpfen überhaupt vorhanden waren und nur durch wenige geschickte Hände auch ausgeführt werden konnten. Die entwickelte Maschine stellte damit noch nicht ein abgeschlossenes und ortsunabhängig funktionierendes Verfahren dar, sondern war auf Unterstützungsleistungen angewiesen, die aber nicht als standardisierte Hilfspakete vorlagen.

Nicht sehr viel anders verhielt sich die Situation auf der "II. Kraft- und Arbeitsmaschinenaustellung", die 1898 in München stattfand und wo in einem eigenen Pavillon die "Diesel-Gruppe", vertreten durch die Maschinenfabrik Augsburg, Maschinen-AG Nürnberg, der Gasmotorenfabrik Deutz sowie der Krupp AG, erstmals gemeinsam ihre Motoren einer breiten Öffentlichkeit vorstellte. Der als "vorläufiger Stand" der Technik festgeklopfte Konsolidierungskonsens repräsentierte 20- bzw. 35 PS starke einzylindrige, in einem A-Gestell montierte Maschinen, die aber "Hals über Kopf hergestellt worden" waren (R. Diesel, 1913: 91) und ebenfalls nur mit Hilfe von "Tricks" störungsfrei liefen. Diese Gemeinschaftssausstellung eröffnete aber erstmals den Dieselmotor-Ingenieuren die Chance zum unternehmensübergreifenden Erfahrungsaustausch. In ihren Firmen als mißliebige Außenseiter

betrachtet, konnte sich hier der gemeinsame Orientierungsrahmen und die bisher getroffene Konsolidierungsentscheidung auch sozial festigen, denn mittlerweile waren die beruflichen Möglichkeiten der Ingenieure und Konstrukteure aufs Engste mit der "Karriere" dieser Motorentechnik verknüpft, und "es bildete sich" - wie Eugen Diesel es ausdrückte, "ein erster Stamm von Diesel-Ingenieuren" (E. Diesel, 1937: 269, 271).

Krise, "Überwintern" und Rettungsanker

Konnten die ersten von Augsburg ausgelieferten Maschinen mit einem wahren Servicenetz umgarnt und von erfahrenen Monteuren begleitet die gewünschten Funktionen erfüllen, blieb den Lizenznehmern der Rückgriff auf diese noch in die Maschine inkorporierten Wissensbestände versperrt. Allein auf der Basis der Konstruktionszeichnungen ließ sich die Funktionsfähigkeit, der maschinelle Charakter des Motors, die exakte Erfüllung der Zwecksetzung nicht gewährleisten (vgl. Meyer, 1913: 37). Der Einstieg aller neuen Lizenznehmer, auch der von den erfahrenen Maschinenbauanstalten in Nürnberg und der Deutzer Gasmotorenfabrik, endete so letztlich im Desaster. Von der Pariser Weltausstellung, die ein Jahr nach der Münchener Ausstellung stattfand, konnten die Augsburger Vertreter und Abgesandte nur noch schlechte Nachrichten übermitteln. "Überall begegnet (man) den fatalsten Vorurteilen", "über die Sache (herrscht) die schlechteste Meinung", hieß es in einem dieser Berichte (vgl. Balogh, 1972: 26). Lauster, der in Augsburg mittlerweile die treibende Kraft des Projektes geworden war, während Diesel sich mehr mit Lizenzverhandlungen beschäftigte und an der Weiterentwicklung seiner "eigentlichen Ideen" arbeitete, kennzeichnete die Situation um die Jahrhundertwende als "sehr ernst". Der von der Geschäftsleitung gewährte Schutzraum drohte einzustürzen und selbst der moderate Oberingenieur Vogt kommentierte mit Bemerkungen wie "sie ruinieren noch die ganze Fabrik mit ihrem Dieselmotor" die eingehenden Schreckensmeldungen immer sarkastischer (vgl. Sass, 1962: 521; E. Diesel, 1937: 284).

Der unzureichend formalisierte und standardisierte, also nicht "transferfähige" Erkenntnisstand war - durch die VDI-Versammlung in Kassel regelrecht provoziert - dennoch in den Diffusionsprozeß ein-

gespeist worden und drohte die sorgsam eingefädelten Absicherungsmaßnahmen zu unterlaufen. Eine im Zuge des "Diesel-Booms" 1898 unter der Federführung Augsburger Bankiers und Handesleute - unter ihnen auch ein Vetter Diesels - gegründete "Diesel-Motoren-Fabrik AG" mußte alle ausgelieferten Maschinen wieder zurücknehmen, die Gesellschaft schlidderte in eine schnelle Pleite, und - was für das gesamte Dieselpjekt noch viel schlimmere Konsequenzen hatte - der ohnehin zur damaligen Zeit geschädigte Ruf drohte sich durch solch windige Projekte, an denen Rudolf Diesel sogar finanziell noch beteiligt war, weiter zu verschlechtern (vgl. E. Diesel, 1937: 257ff.) Die Geschäftsleitung der Maschinenfabrik Augsburg intervenierte daraufhin bei Diesel, dem wiederum die Augsburger Geschäftspolitik zu vorsichtig, zögerlich und zu defensiv geworden war. "Solange solch' erbärmlich ausgeführte Motoren (...) nicht aus der Welt geschafft sind", forderte der erboste Buz, "werden dieselben für die ganze Diesel-Sache ein stetiger Hemmschuh bleiben und es ist sehr zu beklagen, daß hierdurch insbesondere der Konkurrenz Mittel in den Händen belassen werden, die Diesel-Sache mit Erfolg anzufechten" (Buz, zit. nach Sass, 1962: 485). Trotz erster kleiner Erfolge der Augsburger Maschinenfabrik - einige wenige Motoren liefen mittlerweile störungsfrei, und die gesammelten Erfahrungen konnten langsam in Form von Konstruktionszeichnungen und Handbüchern objektiviert werden - blieben diese Maßnahmen durch die verhältnismäßig große Zahl der von den Lizenznehmern ausgelieferten und eben nicht funktionstauglichen Maschinen ohne stabilisierende Wirkung. An eine "Aufnahme" in den "Stand der Technik" war unter diesen Bedingungen nicht zu denken. "Der seidene Faden, an dem der Dieselmotorenbau auch bei der Maschinenfabrik hing", drohte daher nicht nur bei den Lizenznehmern abzureißen (Meyer, 1913: 36).

Neugewonnene Lizenznehmer traten angesichts der noch ungelösten Entwicklungsprobleme an den Motoren von den Verträgen gleich wieder zurück. Die Aktien der "Allgemeinen Gesellschaften", dem unternehmerischen Dach der "Diesel-Gruppe", stürzten in den Keller - hierbei sollte auch Diesel ein Großteil seines Vermögens wieder verlieren -, und in Augsburg herrschte in allen Bereichen, die sich mit dem Dieselmotor beschäftigten, eine "eisige Stimmung". Mehrere Banken drohten Unternehmen mit Kündigung der Kredite, wenn der Kauf des neuen Diesel-Motors ernsthaft erwogen würde (vgl. Riedler, 1914: 63).

Darüber hinaus waren die ersten Maschinen nicht nur unverhältnismäßig teuer in der Anschaffung, durch die hohe Zollbelastung des Brennstoffs Öl konnte auch der günstige Wirkungsgrad des Motors ökonomisch überhaupt nicht zum Tragen kommen (vgl. Sass, 1962: 531; Thomas, 1987: 172ff.). Der Krupp-Direktion fiel unter diesen Umständen die zwischen den Beteiligten so ungleiche Verteilung von Kosten und Gewinnen auf. "Das finanzielle Ergebnis der ganzen Dieselsache ist für unsere beiden Firmen ein außerordentliches" heißt es in einem Brief an die Augsburger Geschäftsführung vom Februar 1900, "während auf der anderen Seite Herr Diesel mit seinen Patenten durch unsere Beihilfe ein außerordentlich gutes Geschäft gemacht hat" (zit. nach Riedler, 1914: 209).

Die von Diesel so geschickt konstruierte "Diesel-Gruppe" brach auseinander, die zur Absicherung des Konsolidierungskonsenses abgeschlossenen Lizenzen verkehrten sich in das Gegenteil. Die Deutzer Gasmotorenfabrik bat mehrmals um verbesserte Vertragskonditionen, insbesondere um einen Zugang zum russischen Absatzmarkt. Auch mit anderen Lizenznehmern wurde nachverhandelt, die Konditionen etwas moderater gestaltet, doch stellt sich der von Augsburg nun sehnlichst gewünschte Belebungsseffekt nicht mehr ein. "Es wurde von uns natürlich vorausgesetzt", hieß es in einer Erläuterung der Augsburger Geschäftsleitung, "daß die Lizenznehmer nunmehr endlich den Dieselmotorenbau energisch aufnehmen würden. Leider ist dies bis heute von keinem einzigen der Lizenznehmer geschehen, obwohl bereits mehr als ein Jahr verflossen ist" (zit. nach Sass, 1962: 584). Doch die ursprünglich ja angestrebten restriktiven Wirkungen der "harten Lizenzverhandlungen" ließen sich nicht mehr aufheben. Der Aufsichtsrat der Gasmotorenfabrik entschied 1903 "endgültig", den Dieselmotorenbau aufzugeben. Freilich war damit nicht der Rückzug vom Projekt Petroleummotor verbunden. Nach der Stabilisierung der finanziellen und personellen Situation begann man in Deutz wieder mit eigenen Entwicklungsarbeiten von leichten und kompressorlosen Motoren, abseits des vom Zusammenbruch bedrohten Augsburger Konsolidierungskonsenses (vgl. Hausfelder, 1928: 25ff.). Krupp hatte unterdessen ebenfalls 1899 die Versuchsstation geschlossen und sich mittlerweile ganz vom Projekt zurückgezogen (Sass, 1962: 561, 584). Die Gebr. Sulzer kamen gar nicht mehr in die Situation, den Einstieg

in die "Diesel-Gruppe" auch faktisch zu vollziehen und stornierten alle bereits angelaufenen Vorarbeiten (vgl. Humm, 1958: 89).

Das Dieselpjekt war damit nicht nur in seiner "schwierigsten Zeit", wie es der Ingenieur und Technikhistoriker Sass überaus vorsichtig formulierte, sondern stand kurz vor dem endgültigen Aus. In dieser Phase sollte sich die frühe Entscheidung Diesels, sein Projekt unbedingt von einem renommierten und ökonomisch starken Unternehmen entwickeln zu lassen, als ein letzter Trumpf auswirken. In Augsburg war zwar die Versuchsabteilung aufgelöst worden, doch der rigide "Schließungskurs" fand seine Fortsetzung in - zwar auf kleiner Flamme laufenden - "Sicherungsarbeiten", bei denen die bisher erzielten Erkenntnisse in einen funktionssicheren Mechanismus überscriben werden konnten. Der Kompressoranlage wurde durch die Einführung einer zweistufigen Verdichtung ihre Gefährlichkeit genommen, die neue Konstruktion eines Plattenzerstäubers verhinderte das schnelle Verstopfen der Brennstoffdüse und auch die ständig auftretenden Lagerschäden waren mittlerweile unter Kontrolle. Wahrscheinlich sah sich die Augsburger Werksleitung dazu gezwungen, nach einer für den damaligen Maschinenbau ungewöhnlich langen und kostenintensiven Entwicklungs- und Erprobungszeit, deren Ergebnis unmittelbar auf das Image des Unternehmens durchschlagen mußte, die Arbeiten nicht gänzlich abzubrechen. In einer kleinen Baureihe wurde der "provisorische" Wissensstand in einen "faktischen" Stand überführt und der bisher erreichte Konsolidierungskonsens damit stabilisiert und vor dem schnellen Verschwinden bewahrt. Von den herrschenden Diskursen des "Standes der Technik" zwar nicht beachtet - in ortsfesten Verwendungen blieb die Dampfmaschinentechnik weiterhin bestimmend, in mobilen Verwendungsarten wurde durch die spektakulären Mercedes-Erfolge der Einigungsprozeß auf den benzinbetriebenen Viertakt-Ottomotor beschleunigt -, konnte das Dieselpverfahren im Augsburger Baumuster "überwintern" und war auch dann noch verfügbar, als sich die Umstände änderten und zwei neue Verwendungsperspektiven als "Rettungsanker" auftauchten: die Flottenpolitik des Deutschen Reiches als Auftaktkampagne in das Imperialistische Zeitalter sowie die Nachfrage nach Petroleum-Motoren im erdölreichen russischen Zarenreich.

Um diese neuen Nachfragepotentiale aber auch ausschöpfen und zur Verbreitung und Durchsetzung des Dieselpverfahrens nutzen zu

können, mußten erst eine Reihe von organisatorischen Voraussetzungen und Maßnahmen getroffen werden. "Von selbst" lief gar nichts, auch das Interesse der Militärs für U-Boote mußte erst geweckt werden. Rudolf Diesel legte den entscheidenden Grundstein, als er 1902 - also noch mitten in der "Diesel-Krise" - Kontakt zur französischen Marinebehörde aufgenommen hatte. Selbstverständlich geschah dies mit dem Hintergedanken, bei einem Verkauf des Motors nach Frankreich die deutsche Marine diesmal unter Zugzwang zu setzen, nachdem eine erste U-Boot-Konferenz, die 1900 in Augsburg stattgefunden hatte, kein verwertbares Ergebnis gebracht hatte (Diesel/Strössner, 1950: 109). Obwohl mit beiden Behörden dann auch verhandelt wurde, kam es nicht gleich zu einem Vertragsabschluß: Die französische Marine beauftragte zunächst einen heimischen Maschinenhersteller, und für die deutschen Behörden boten die technischen Rahmenbedingungen (die Maschine verfügte über ein viel zu hohes Leistungsgewicht von 75 kg/PS) keineswegs so attraktive Aussichten, als daß man an einen Beschaffungsauftrag hätte denken können, zumal "die deutsche Marine damals dem U-Bootbau noch abwartend gegenüber (stand)" (Techel, 1922: 5).

Damit wäre dieser Kontakt sicherlich wieder eingeschlafen, wenn es bei MAN zwischenzeitlich nicht zu einem umfassenden Wechsel der Führungsmethoden gekommen wäre, der die im 19. Jahrhundert entstandene Maschinenbauanstalt zu einem Maschinen- und Anlagenkonzern des 20. Jahrhunderts transformieren sollte. Ohne die Vorbestellung auf einen U-Bootmotor, noch nicht einmal die Option lag vor - "Tierpitz wollte gar keine U-Boote", beschrieb später der Direktor der Kieler Germaniawerf die damalige Situation (zit. nach Alt, 1920: 432)-, entschloß sich das neu fusionierte Unternehmen Ende 1902 entgegen der bisherigen Geschäftspraxis, auf "eigene Kosten" einen Schiffsdieselmotor zu projektieren und als Referenzmaschine für den Einstieg ins lukrative Rüstungsgeschäft zu entwickeln. Mit 4 Zylindern, einer geplanten Tourenzahl von 400 U/min und 140 PS Leistung, rückte man bei den Planungsarbeiten bereits gefährlich weit von dem bisherigen Minimalkonsens der erprobten Baureihe ab. Als nach langen Verhandlungen 1904 die Maschine auch tatsächlich verkauft werden konnte, hatte Augsburg - das sollte sich bereits kurze Zeit später zeigen - das "Eintrittsticket" in das überaus profitable Rüstungsgeschäft mit Dieselmotoren so gut wie gelöst.

Unterdessen führte die veränderte geopolitische Situation auch andere, ehemalige Mitglieder der "Diesel-Gruppe" zur Überprüfung bzw. Neuformulierung der betrieblichen Entwicklungsstrategien. Der Krupp-Konzern, der die in Berlin-Tegel ansässige Germania-Werft gekauft und nach Kiel verlegt hatte, erwartete ebenfalls gute Geschäfte im Rüstungsbereich (vgl. Sass, 1962: 561). Bei ersten Aufträgen für die russische Marine hatte sich bereits gezeigt, daß für diese völlig neue Aufgabenstellung die im "Stand der Technik" zusammengefaßten Antriebssysteme einer Neubewertung unterzogen werden mußten; die vom Auftraggeber geforderten Verbrennungsmotoren hatte man sogar als Unterauftrag an die Gebr. Körting vergeben müssen (vgl. Sass, 1962: 631). Noch im Jahre 1904, also kaum 4 Jahre nach dem Zusammenbrechen der "Diesel-Gruppe", fand man sich erstmals wieder zu gemeinsamen Projektplanungen zusammen. Der damals gebildete erste "Stamm" von Dieselmotoren-Ingenieuren konnte unter der Federführung der leitenden Ingenieure in den Werken Kiel (Worsoe), Augsburg (Lauster) und Nürnberg (Eberle) reaktiviert werden. Auf der Grundlage des damaligen "Konsolidierungskonsenses", der ja von der MAN über die Zeit durch die Bildung einer Kleinserie gerettet worden war, entstanden erste Konstruktionsentwürfe einer immerhin schon auf 200 PS und 500 U/min ausgelegten Maschine zum Antrieb für dieses neue Waffensystem (vgl. Sass, 1962: 562).

Auch der zweite sich neu eröffnende Absatzmarkt erforderte für eine ökonomische Ausbeutung eine andere und - im Vergleich zum 19. Jahrhundert - organisatorisch anspruchsvollere Geschäftspolitik. Zeitlich parallel zu den vorbereitenden Maßnahmen zum Einstieg in das Rüstungsgeschäft konnten Verhandlungen zum Bau eines ersten Dieselmotorkraftwerks für eine neue Elektrizitätszentrale der Straßenbahn in Kiew beginnen. Die schon sehr weit fortgeschrittenen Verhandlungen drohten 1903 aber zu scheitern, als das beteiligte elektrotechnische Unternehmen darauf beharrte, nur vom "herrschenden Stand der Technik" aus zu operieren, eine Zusammenarbeit mit der Augsburger Dieselmotoren-Abteilung strikt ablehnte und sogar vom Projektvorhaben zurücktrat. Die ökonomische Stärke und eine zwischenzeitlich geänderte Vermarktungsstrategie führten schließlich dazu, daß MAN die Projektträgerschaft für den Bau des Kraftwerks übernahm und gleichzeitig so umfangreiche Garantieleistungen anbot, daß für den Projekt-

nehmer die vom "herrschende Stand der Technik" abweichende Anlage praktisch überhaupt kein Risiko mehr bedeutete. "Die MAN mußte sich verpflichten, gegen einen festen Betrag, der auf Grund des Ölpreises und eines Brennstoffverbrauchs von nur 185 Gramm je Pferdekraftstunde errechnet war, auf eigene Gefahr den vollständigen Betrieb der Anlage für fünf Jahre durchzuführen und noch ein sechstes Jahr für Ausführungsgüte und vertragsmäßige Leistung zu garantieren". Im Vertragswerk eingeschlossen war beispielsweise auch die permanente Präsenz eines Obergeringieurs während der 16stündigen Betriebslaufzeit (vgl. Ruef, 1954: 6f.). Installiert wurden schließlich sechs Motoren mit insgesamt 2.400 PS, deren Betrieb von der MAN sehr geschickt zu Referenzzwecken genutzt wurde, um Funktions- und Betriebssicherheit sowie günstige Laufeigenschaften zu demonstrieren.

Die letztendliche Absicherung der neuen Technik, die "soziale Härtung" und "Institutionalisierung" über den betrieblichen und technik-wissenschaftlichen Entstehungskontext hinaus, als allgemein zur Verfügung stehendes motortechnisches Antriebssystem für ausgewählte und genau bestimmte Nutzungsbereiche, war zu diesem Zeitpunkt gerade eingefädelt und vorbereitet worden, aber noch keineswegs gesichert.

8. Die Institutionalisierung des Dieselmotor im "herrschenden Stand der Technik": Die Ausdifferenzierung der Maschinen- und Motorenindustrie und die Zuweisung exklusiver Nutzungsfelder (1908-1918)

Der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg (MAN) war es also dank ihrer ökonomischen Stärke und eines rechtzeitig vorbereiteten Wechsels der Managementmethoden gelungen, die Erfahrungen, Kenntnisse und Konsolidierungsergebnisse aus der ersten Entwicklungsphase auch nach der Inaktivität des Unterstützer-Netzwerkes und dem Zusammenbruch der "Diesel-Gruppe" so weit zu konservieren und in einer kleinen Baureihe "vorläufig" als funktionstauglichen Mechanismus zu objektivieren, daß nunmehr unter veränderten politischen und ökonomischen Bedingungen auf dieses Paket zurückgegriffen werden konnte. Allerdings blieben durch die frühe "Schließung" und den rigiden Stabilisierungskurs die ursprünglichen Interessens- und Perzeptionsprofile in der Maschine deutlich sichtbar inkorporiert.

Wir werden uns in diesem Kapitel zunächst einmal mit der angesprochenen Modernisierung der industriellen Trägerstrukturen beschäftigen und dabei registrieren, daß zwar die Fusion der beiden Maschinenbauunternehmen im Ergebnis ein gewandeltes und modernes unternehmerisches Innovationsverständnis bringen sollte, daß dieser Prozeß aber nicht konfliktfrei und für den ja nur notdürftig fixierten Konsolidierungskonsens des dieselmotorischen Antriebssystems zunächst sogar eher bedrohlich verlief. Diese unternehmerischen Reformen im Zuge der Formierung der MAN bildeten eine elementare Voraussetzung dafür, daß der neue Motor in bestimmte Marktsegmente gedrückt bzw. als technisches Element in die staatlichen Rüstungspläne eingebunden und damit von einem "provisorischen" in einen "faktischen" Stand der Technik überführt werden konnte - Bedingungen, die sich förderlich für einen erfolgreichen "sozialen Härtingsprozeß" durch die Aufnahme in den "herrschenden Stand der Technik" auswirken sollten. Auf einige Maschinenbauunternehmen wirkten die in Augsburg "überwinterten" Ergebnisse der dortigen Schließungs- und Konsolidierungsentscheidungen unter geänderten ökonomischen und politischen Rahmenbedingungen so attraktiv, daß man auf die Fortsetzung eigener technischer Entwicklungen verzich-

tete und mit dem Einschwenken auf den Augsburg-Nürnberger Konsolidierungskonsens bereits stabilisierte technische Grundlagen übernehmen konnte. Der unter diesen Umständen schnell kulminierende Erkenntnisprozeß, der zudem noch über eine kartellartige Vereinbarung der beteiligten Unternehmen organisatorisch abgesichert wurde, drückte sich in einer weiteren faktischen Verbreitung des Augsburger Baumusters aus und bewegte auch die technische Lehre dazu, den Dieselmotor in ganz bestimmten und sehr eingegrenzten Verwendungsgebieten als eine verfügbare technische Option anzuerkennen, in den Kanon der technischen Wissensbestände aufzunehmen und die im Motor verkörperten Wissens- und Erfahrungsbestände als eigenes Lehrgebiet auszuweisen.

Eingebettet waren diese Institutionalisierungsprozesse in eine generelle Ausdifferenzierung der Maschinenbau- und Motorenindustrie, in der sich im Ergebnis die Automobilbauer als eigenständige Branche in den ersten Jahren des neuen Jahrhunderts konstituierten und bald auch mit eigener technik-wissenschaftlicher Infrastruktur über genügend Ressourcen und Definitionsmacht zur Begründung eines selbstständigen "Standes der Technik" verfügen sollten. Wir argumentieren, daß durch diese Branchenausdifferenzierungen die Institutionalisierung des Dieselmotors gefördert wurde, weil mit der Loslösung und Verselbständigung der Automobilindustrie dieser neue Typ eines Verbrennungsmotors nun eindeutig dem Maschinenbau und dessen Verwendungszwecke zugeordnet blieb und die für die technische Arbeit so nachteilige Konkurrenzsituation mit der Ausbildung eines selbstständigen Standes automobiler Antriebstechnik aufgehoben werden konnte. Im nächsten Kapitel (Kap. 9) werden wir noch im einzelnen erörtern, welche Folgen bzw. technische Konsequenzen diese über das Entstehungsmilieu und die "Branchenkultur" zugewiesenen und abgesicherten Verwendungsgebiete für die weitere Entwicklung des Dieselantriebs haben sollten und wie schwierig und mit welchen "Opfern" ein branchenübergreifender Wissenstransfer und die Etablierung des Motors im "Stand der Technik" automobiler Antriebssysteme verbunden war.

Die strikte Milieuzuweisung bei der Aufnahme in den "Stand der Technik" wird besonders an Projekten deutlich, die hiervon unbekümmert an einer Verbreiterung der Einsatzfähigkeit des dieselmotorischen Antriebskonzepts arbeiteten und deren Genese daher schei-

terte. Im letzten Teil dieses Abschnittes wenden wir uns deshalb den "Opfern" dieser "Schließungs- und und Konsolidierungsprozesse" zu, den im Erzeugungsvorgang nicht berücksichtigten technischen Projektlinien, und werden dabei wieder Rudolf Diesel begegnen, der nach wie vor mit wechselnden industriellen Kooperationspartnern an der Realisierung der universellen Einsatz- und Verwendungsfähigkeit "seines" Motors arbeitete. Es gab aber auch andere "Verlierer", Projekte, die es trotz der Verwendung aussichtsreicher technischer Optionen nicht schafften, in die Phalanx der gerade neuformierten Branchen und Technikstruktur einzubrechen, da die beteiligten Akteure sich nicht früh und schnell genug auf die Bündelung grundlegender Prämissen und Entwicklungsziele einigen und daher keine attraktiven Möglichkeiten der schnellen Wissenskulmination bieten konnten, oder im Glauben an die "bessere" Technik gar auf die Bildung einer Unterstützer-Gruppe verzichteten und im angepeilten "Stand der Technik" ohne Hausmacht blieben. Auch wenn der Erscheinungstermin einer Technik mit einem gerade abgeschlossenen Konsolidierungskonsens eines anderen Verfahrens zusammenfiel und das Projekt also mit einer bereits vordefinierten und möglicherweise gerade reformierten Infrastruktur konfrontiert wurde, wirkte sich dies für den Erfolg von Geneseprozessen nachteilig aus. Beispiele, die deutlich machen, in welchem Maße bei den hier untersuchten motortechnischen Reformprojekten - einmal abgesehen vom richtigen "Timing" - die Frage der technischen Machbarkeit im Zusammenspiel der verschiedenen Akteure politisch nicht nur formbar ist, sondern offensiv geformt werden muß, und daß zur Überwindung bzw. für eine befristete Auflösung der kognitiven, sozialen und ökonomischen Bindekräfte eines herrschenden Technikstandes nicht nur dem Aufbau einer starken industriellen Trägerschaft, sondern auch der Konstruktion und Einbindung einer "Perzeptions-Gemeinde" eine elementare Bedeutung zukommt.

Fusion und Modernisierung der MAN

Der Patentschutz des Motors, der in den Augen Diesels mit allerlei technischen Krücken versehen und daher nur eingeschränkt verwendungstauglich war, lief 1908 ab. Immerhin war zwischenzeitlich ein funktionstaugliches und betriebssicheres maschinelles System entstanden. Das Dieselp Prinzip - die Selbstzündung eingespritzten oder

eingeblassenen Brennstoffs in heißer und nur durch Kompression reiner Luft erzeugter, hoher Temperaturen, eine Definition, die 1919 von der "Diesel Engine User Association" verabschiedet wurde (vgl. Thiemann, 1929: 21f.) - konnte als geeignetes Verfahren für Verbrennungsmotoren gelten, freilich offenkundig nur um den Preis einer sehr schweren, wohl kaum für mobile Einsatzzwecke geeigneten Bauweise. Im Vergleich zur Ausgangssituation der Jahre 1892/93 hatten sich inzwischen vor allen Dingen die politischen Rahmenbedingungen geändert, die aber für die weitere Entwicklung des Motor noch eine überaus wichtige Rolle spielen sollten.

Das Deutsche Reich war unter Wilhelm II. auf die weltpolitische Bühne gewankt, und Admiral v. Tirpitz versuchte mit dem Programm zur Flottenrüstung eine "Verknüpfung von Technik und industrieller Produktionsweise in der Rüstungsindustrie", die bereits vor dem Ersten Weltkrieg eine Änderung der militär- und rüstungspolitischen Grundsätze einleitete. Die Verschiebung von einer personal-intensiven auf eine material-intensive Rüstung, die beginnende Motorisierung des Heeres, und der Einstieg in die motorisierte Luftfahrt waren beispielhaft, bildete sich doch eine neue "militärische Maschinenkultur" (Geyer) heraus, zu der später auch der Einsatz von Dieselmotoren gehörte. "Das Militär wandelte sich von einem Organismus weitgehend unabhängiger Teilkkräfte und militärischer Herren, die durch einen aristokratisch durchtränkten und im Monarchen als obersten Kriegsherren gipfelnden Esprit du Corps zusammengehalten wurden, zu einem komplexen Betrieb zur möglichst effizienten Produktion von Gewalt. Dieser Betrieb wurde von funktionsorientierten Hierarchien gelenkt - ... - und durch eine immer differenziertere, fremdbestimmte Arbeitsteilung in der Organisation der Kriegsführung geprägt" (Geyer, 1984: 98; 102).

Um von diesen staatlichen Beschaffungsaufträgen profitieren zu können, mußte in der Geschäftsführung der MAN die Zusammenarbeit der beiden traditionsreichen Firmen auf eine verbindliche und qualitativ neue Stufe gestellt werden (nach der Fusion setzte sich die allgemeine Sprachregelung "Werk Nürnberg" bzw. "Werk Augsburg" durch). Besonders harte Auseinandersetzungen und Konflikte verursachte der Einigungsprozeß über die zukünftige Organisation der Projektierung, Entwicklung und Fertigung von Dieselmotoren. Noch als selbständiges Unternehmen hatte man in Nürnberg ja kurz vor der

Fusion mit Entwicklungsarbeiten an einem dieselmotorischen Antriebssystem begonnen und war zwischenzeitlich in den Bau von Großgasmaschinen eingestiegen. Etwa um 1904, als Verhandlungen mit verschiedenen Marinebehörden in ein konkretes Stadium übergegangen waren, beschloß die Nürnberger Werksleitung unter Anton Rieppel, nun auch in Nürnberg versuchsweise den Bau von Dieselmotorbau wieder aufzunehmen. Allerdings entschied man sich dabei nicht für die Fortführung des damaligen Gegenkolbenmotors. Da diese Arbeiten - so aussichtsvoll sie auch erschienen -, noch kaum fortgeschritten waren, blieben gerade unter dem Aspekt eines schnellen Einstiegs in das Rüstungsgeschäft erhebliche Risiken, und die Nutzung des in Augsburg "geretteten" Konsolidierungskonsenses der auseinandergebrochenen "Diesel-Gruppe" bot daher als "fertige" Linie einen ungleich attraktiveren Wiedereinstieg. Damit war auch in Nürnberg die Entscheidung für den Nachbau der schweren, langsamlaufenden Viertaktmaschinen mit Kompressoranlage getroffen worden. Offensichtlich fühlte man sich im "Werk Augsburg" aber an die Erfahrungen mit der Diesel-Motoren-Fabrik erinnert und konnte in der Nürnberger Entscheidung überhaupt keinen willkommenen Beitrag zur Absicherung und Erweiterung des bisherigen Entwicklungsstandes erkennen. Mit dem Argument mangelnder fachlicher Qualifikationen sprach sich die Augsburger Dieselmotorenabteilung unter dem Entwicklungsschef Imanuel Lauster gegen die Zusammenarbeit mit dem Nürnberger Werk aus. Zu diesem Zeitpunkt muß aber der agile Nürnberger Direktor Rieppel, insbesondere gegenüber dem Aufsichtsrat, über die größere Durchsetzungsmacht als der doch in die Jahre gekommene, zögerliche und gegenüber der Fusion sowieso eher skeptisch eingestellte Buz verfügt haben. Die Augsburger Abteilung wurde jedenfalls zur Bereitstellung der für eine Fertigungsaufnahme in Nürnberg erforderlichen Kapazitäten verpflichtet und der Bau von Motoren nach dem Augsburger Muster angeordnet. Damit war der erste der ehemaligen Lizenznehmer wieder - und diesmal mit einer eindeutigen Verpflichtung auf den Konsolidierungskonsens - am Dieselmotorenprojekt beteiligt (vgl. Sass, 1962: 539).

In diesem "Machtkampf" zwischen dem dynamischen Rieppel und dem behäbigen Buz bot der Brückenbau-Ingenieur und Chef des Nürnberger Werks Rieppel den Gesellschaftern offensichtlich die besseren Perspektiven als es dem ehemaligen "Protektor" der Dieselmoto-

renabteilung möglich war. Heinrich Buz hatte nur auf Druck seines damaligen Aufsichtsrats die Verhandlungen mit der Nürnberger Maschinenbau AG aufgenommen und blieb auch während der ersten Jahre unter dem gemeinsamen Dach gegenüber den unternehmerischen Möglichkeiten eines zusammengeschlossenen Betriebes eher mißtrauisch. "Er könne es sich gar nicht vorstellen", schrieb er, "wie von Augsburg aus eine Oberleitung im vollen Sinne des Wortes über Eisenbahnwagen-, Brücken- und Hochbau stattfinden könnte und ebenso wenig wie von Nürnberg aus eine Oberleitung über Buchdruckmaschinen, Dieselmotoren und Turbinen" geregelt werden könnte (zit. nach Büchner, 1940: 132). Buz hatte auch kein Verständnis für die von Rieppel vorgelegten schriftlich fixierten Geschäftsverteilungspläne. Die genaue Erfassung der Selbstkostenpreise, die Einführung der "wissenschaftlichen Betriebsführung" und weitere Einschränkungen der bisher so dominanten Meisterherrschaft paßten genauso wenig in seine Vorstellungswelt wie die organisatorische Zusammenführung der bisher nach Standorten getrennten Abteilungen Einkauf, Patent-, Reklame-, Steuer- und Finanzwesen (Bitterauf, 1924: 117; Büchner, 1940: 133).

Wieweit Buz mit seinem ganzen Führungsstil und Unternehmerverständnis noch den Maschinenbau des 19. Jahrhunderts verkörperte, zeigte sich zu Beginn des 20. Jahrhunderts, als die sich damals gründenden Berufsverbände der technischen Angestellten auf der einen und die organisierte Arbeiterbewegung auf der anderen Seite mehr und mehr überbetriebliche Forderungen entwickelten. Der Ruf nach Abschaffung der Konkurrenzklausel, der Sicherung der Sonntagsruhe und dem Achtstundentag sowie die Verminderung der Arbeitsbelastungen ließen auch in den MAN-Werken den Organisationsgrad der Beschäftigten ansteigen und neue Konfliktlinien entstehen. Als es 1905 zu Streiks kam, lehnte Buz nicht nur alle Forderungen brüsk ab, sondern sah in Vertretern der organisierten Arbeiterschaft und der Berufsverbände überhaupt keine Verhandlungspartner, während Rieppel im sozialdemokratischen Nürnberg immerhin Verhandlungen aufgenommen hatte, obwohl auch er die gleiche Meinung wie Buz vertrat, daß die Politisierung der Arbeiterschaft "absolut bekämpft werden" müsse (Rupieper, 1982: 65). Aber trotz intensiver Versuche der Geschäftsführung zur betrieblichen Reintegration - ein "Arbeiterverein Werk Augsburg" wurde gegründet, Fabrik-, Pensions-

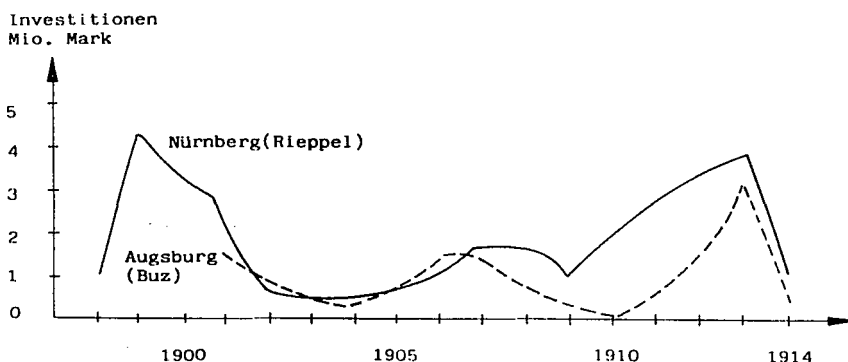
und Hilfskassen eingerichtet, Werkwohnungen gebaut - zeigten sich die Grenzen einer betrieblich organisierten Sozialpolitik in den ersten Jahren des neuen Jahrhunderts immer deutlicher. Mit der ständig zunehmenden Zahl ungelernter Mitarbeiter konstituierten sich Interessenprofile, die kaum noch von der gemeinsamen Kultur der Werksgemeinschaft aufgefangen werden konnten und in der vergleichsweise großen MAN mehr und mehr von der "horizontalen Kultur" des sich herausbildenden Typus des Massenarbeiters überlagert wurden, die auf überbetriebliche Manifestationen und Institutionalisierung drängte und eine ebenso unternehmensübergreifend organisierte Abwehrhaltung provozierten. Die Politik der "kalten" Aussperrung des "Verbandes Bayerischer Arbeitgeber" konnte in Augsburg selbst bei den "Treuen der Treuesten" nicht mehr vermittelt werden.

Als in Augsburg alle Mitglieder des 1904 in Berlin gegründeten "Bund der technisch-industriellen Beamten" kurzerhand entlassen wurden, kam es im bayerischen Landtag zu einer Interpellation der sozialdemokratischen Fraktion, die selbst vom Zentrum und von den Liberalen unterstützt wurde, und die für Projektnehmer öffentlicher Aufträge zukünftig die Anerkennung der Koalitionsfreiheit für Angestellten und Arbeiter forderte. Selbst auf kommunaler Ebene, in Nürnberg, Stuttgart, Frankfurt und Mannheim, war der autoritäre Führungsstil der Augsburger Werksleitung den sozialdemokratischen und liberalen Vertretern aufgefallen und drohte das Einwerben kommunaler Aufträge, die insbesondere den stationären Dieselmotorenbau für die damals noch vielfach in den Händen der Gemeinden befindlichen Elektrizitätsversorgung betreffen mußte, erheblich zu gefährden (vgl. Rupieper, 1982: 65; Bitterauf, 1924: 124).

Behinderte der Fabrikabsolutismus von Heinrich Buz im starren Beharren auf autoritäre Ordnungssysteme des 19. Jahrhundert die Expansion auf die staatlichen Beschaffungsmärkte, verkörperte Anton Rieppel bereits den in ein weit gespanntes informelles Netz eingebundenen modernen Multifunktionär. Als Direktionsmitglied im "Centralverband Deutscher Industrieller" (CDI), im Vorstand des Gesamtverbandes deutscher Metallindustrieller, Vorsitzender des "Vereins Deutscher Ingenieure" und als Mitglied der "Deutschen Vaterlands Partei" konnte der "in mancher zentralen Staatsverwaltung an wichtiger Stelle mitwirkende Generaldirektor" (Mauersberg, 1966: 334) bei der Formulierung, Abstimmung und Durchsetzung industrieller Interes-

sen einen gewichtigen Einfluß geltend machen. Während des Ersten Weltkrieges war er an der Ausarbeitung von Plänen zur wirtschaftlichen Ausbeutung okkupierter Gebiete beteiligt und schloß zur Durchsetzung seiner Interessen - ganz im Gegensatz zu Buz - auch eine, freilich taktischen Zwängen unterliegende, Zusammenarbeit mit dem Freien Gewerkschaftsbund nicht aus (vgl. Barth, 1986: 95f., 383).

Abb. 8: Investitionstätigkeit Buz/Rieppel



Quelle: Eibert, 1979: 310

Unterschiedliche Entwicklungsstile in Augsburg und Nürnberg

Unter diesen Vorzeichen kann es nicht verwundern, daß die Fusion unter den Direktoren Buz und Rieppel nicht so recht zum Zuge kam und diese unterschiedlichen Orientierungen auch zu Differenzen bei der technischen Planung führten. Die Befürchtungen der Augsburger Dieselmotorenabteilung, mit dem Nürnberger Werk, das schon einmal den gemeinsamen Entwicklungspfad verlassen und ein völlig anderes Triebwerkskonzept favorisiert hatte, auch weiterhin keinen Garanten für die Pflege des Konsolidierungskonsens mit im "Boot" zu haben, sollten sich bestätigen. Im "Werk Augsburg" operierte man überaus vorsichtig - offensichtlich auch bestärkt durch das Beinahe-Scheitern des ganzen Projektes - von der sicheren Basis des erreichten Entwicklungsstandes (vgl. Diesel/Strössner, 1950: 109). Das Zusammen-

spiel zwischen Werksleitung, federführenden Ingenieuren und Konstrukteuren sowie den Auftraggebern und späteren Kunden übte dabei eine Art Regulierungs- und Kontrollfunktion aus und schaffte so die Voraussetzung, daß die Geschäftsleitung nicht am Bedarf vorbei plante, professionsorientierte Ingenieure im betrieblichen Kontext diszipliniert blieben und die Wünsche der Kunden immer mit dem herrschenden Wissensstand auch bearbeitungsfähig blieben. Mit diesem sehr konservativen Entwicklungsstil hatte man in Augsburg die Zylinderleistung des Dieselmotors von 30 PS bei der ersten Baureihe zum Ende des ersten Jahrzehnts immerhin auf fast 200 PS anheben können, ohne den eingeschlagenen Entwicklungspfad verlassen zu haben. Bis zum Jahre 1910 blieb die Kolbengeschwindigkeit daher noch unter 6m/sec., Leistungssteigerungen wurden allein durch die Vergrößerung von Bohrung und Hub erreicht (vgl. Meurer, 1988: 9).

Obwohl beide Konstruktionsabteilungen in einem Unternehmen zusammengeschlossen und zwischenzeitlich über einen ständigen Personaltransfer nun enger miteinander verbunden waren, setzte man sich in Nürnberg immer wieder von dem vorsichtigen und beharrlichen Augsburger Entwicklungsstil ab und zeigte sich viel eher bereit, die Planungen auch auf nicht mehr vom "faktischen Stand der Technik" abgesichertes Terrain auszuweiten (vgl. Sass, 1962: 539f.). Hielt die Augsburger Abteilung unter dem Motto, bloß keine Experimente, zäh am Viertakt-Arbeitsverfahren fest (und lehnte auch nach dem Ersten Weltkrieg zunächst jede Änderung des Arbeitsverfahren ab), gingen die Nürnberger Ingenieure und Konstrukteure auf dem von Augsburg festgeklopften und konsolidierten Erkenntnisstand mit zügigen Schritten an die Einführung des Zweitakt-Arbeitsverfahrens heran und projektierten sofort mit der ersten Maschine ein Leistungsgewicht von 15 kg/PS, das weit unter den in Augsburg nach langen Mühen erreichten 30 kg/PS lag. Die Aussichten auf das Rüstungsgeschäft ermunterten den Nürnberger Direktor Rieppel des öfteren, aus der bisherigen vorsichtigen Konstruktionspraxis - die ja auch immer eine enge Abstimmung mit den Interessen und Wünschen der Kunden bedeutete - auszusteigen und durch eine neue Art der Zusammenarbeit zu ersetzen: Gerade hatte man in Augsburg eine Zylinderleistung von 200 PS erreicht, da spekulierte Rieppel bereits mit 2.000 PS pro Zylinder, erklärte eine Antriebsmaschine mit sechs solcher Einheiten und einer Gesamtleistung von 12.000 PS für für möglich und fand damit

bei den im imperialen Rausch befindlichen Militärs offene Ohren, jedoch keine Kompetenz zur Beurteilung der technischen Machbarkeit. Hinter die von Augsburg durchgesetzten Schließungsentscheidungen gedachte man zwar nicht zurückzugehen, doch wurde der Konsolidierungskonsens in einigen signifikanten Merkmalen verlassen: Mit einem Kolbendurchmesser von 850 mm und einem Hub von 1.050 mm erreichte das 1910 begonnene Projekt riesige, fast saurierartige Ausmaße. Als man aber nicht nur auf das Zweitaktverfahren zurückgriff, sondern auch den vom Dampfmaschinenbau bekannten "doppeltwirkenden" Arbeitstakt einführte - der Kolben leistet in beide Richtungen Arbeit -, stellte die Summe der Abweichungen doch ein beträchtliches Risiko dar. Zwar sah sich auch die Kieler Germaniawerft zu einem ähnlichen Projekt gezwungen, doch reichte die erweiterte industrielle Basis nicht aus, die Distanz zum gesicherten Konsolidierungskonsens zu überbrücken. Selbst als der Erste Weltkrieg für das Deutsche Reich längst verloren war, konnten die Arbeiten immer noch nicht abgeschlossen werden, die Summe neuer Entwicklungsparameter stellte sich als zu groß heraus, die im Bau von stationären Dieselmotoren gewonnenen Erfahrungen ließen sich nicht einfach auf andere Größenordnungen übertragen, und beide Projekte mußten bei Kriegsende endgültig abgebrochen werden (vgl. Sass, 1962: 550ff; 576ff.). Zwischenzeitlich war der Dieselmotorenbau jedoch insgesamt schon soweit konsolidiert, daß diese gescheiterten Projekte aus Nürnberg und Kiel den Ruf des Motors nicht diskreditierten und die gerade in Gang gekommenen "Aufnahmeverhandlungen" in den "herrschenden Stand der Technik" nicht mehr gefährdeten (vgl. Riedler, 1905: 3ff.).

Die getrennt in Augsburg und Nürnberg entwickelten Forschungs- und Versuchsprogramme konnten erst 1912 im Zuge umfangreicher Personalentscheidungen besser aufeinander abgestimmt werden. Buz zog sich in den Aufsichtsrat zurück, Rieppel wurde zum allein verantwortlichen Generaldirektor bestellt und Imanunel Lauster, bislang Leiter der Dieselmotorenabteilung im Werk Augsburg, erhielt die Position eines Werksdirektors. Wobei insbesondere Lausters Karriere sprang die mittlerweile gewandelte Bedeutung des Dieselmotorenbaus für die MAN dokumentierte. Neben einer endlich abgeschlossenen Restrukturierung des Fertigungsprogramms wurden weitere Konzentrationsmaßnahmen eingeleitet. "Um aber den Konkurrenten gegenüber stärker zu sein", sollten "alle Angebote auf Kraftmaschinen

(außer Wasserturbinen) unter persönlicher Oberleitung von Rieppel durch ein Projektierungsbüro" in Nürnberg ausgearbeitet, ausgegeben und bis zur "Erlangung des Auftrages" dort verfolgt werden (Büchner, 1940: 137). Darüber hinaus wurden mit der Einrichtung von Technischen Büros und der Benennung von Interessensbeauftragten erste organisatorische Vorbereitungen für eine Kundenpflege eingeleitet und damit von der MAN erste Zeichen eines Wechsels von einer "Produktionsorientierung" zu einer "Verkaufsorientierung" gesetzt. Während im 19. Jahrhundert die Formel "Die Büros sind für die Werkstätten da, niemals aber die Werkstätten für die Büros" (zit. nach Blach, 1982: 14), die Struktur der betrieblichen Entscheidungsprozesse illustrierte, zeigte die um die Jahrhundertwende entstandene Diskussion um neue "Managementkonzepte" (vgl. auch Kocka, 1969: 337ff.) auch in der MAN erste organisatorische Resultate. Für den erfolgreichen Abschluß des Geneseprozesses des Dieselmotors - dies sollte sich in den nächsten Jahren zeigen - waren die aus dem 19. Jahrhundert stammenden Innovationsmuster des Maschinenbaus nicht mehr ausreichend. Zur Erschließung und zum Ausbau der dieselmotorischen Absatzmärkte mußten umfangreiche Sicherungsstrategien und eine intensive Pflege des Behördengeschäfts betrieben werden. Aus diesen neuen Formen der industriell-staatlichen Zusammenarbeit eröffneten sich neue Verwendungsgebiete, die auch die Voraussetzung für eine spätere langsame Ausweitung der Einsatzgebiete des Motors schafften. Zu Beginn des Ersten Weltkrieges teilte Rieppel nämlich dem Aufsichtsrat mit, daß "unter den jetzt gegebenen kriegswirtschaftlichen Bedingungen der Zeitpunkt gekommen sei, den von ihm seit längerer Zeit schon gehegten Plan" in die Tat umzusetzen und endlich "den Lastautobau" zu realisieren. Er wies auf die engen Beziehungen zwischen dem neuen Produktionszweig und den etablierten Tätigkeitsfeldern des Unternehmens, insbesondere dem Wagen- und Maschinenbau hin und bedauerte, daß die Planungen bislang nicht weitergekommen seien, die jetzigen "Kriegsverhältnisse" der Verwirklichung seiner Absichten "geradezu entgegen" kämen, da die Heeresleitung wegen der eingeleiteten Motorisierungspläne "auf Monate hinaus jedes Quantum an Lastautos kaufen" werde (zit. nach Mauersberg, 1966: 332). Ohne das Wagnis einer eigenen langen und teuren Entwicklung einzugehen, kaufte man kurzerhand eine in Lindau ansässige Tochtergesellschaft der Schweizer Firma Adolphe

Saurer (Arbon) und gründete die "Lastwagenwerke MAN-Saurer", deren Produktionsstandort nach und nach in Nürnberg angesiedelt wurde (vgl. Bitterauf, 1924: 150). Bei der Frage der motorischen Antriebssysteme entschied sich MAN damals unter pragmatischen Gesichtspunkten für die im "zuständigen" "Stand der Technik" befindlichen Angebote und rüstete die neuen Lastwagen zunächst einmal mit konventionellen Benzinmotoren aus. Gelegentlich des umfangreichen Mittelbedarfs dieser Transaktion war auch für MAN die Bedeutung des Finanzkapitals für zukünftige unternehmerische Planungen deutlich geworden und die bisher vernachlässigten Beziehungen zu den Geschäftsbanken sollten durch die Vergabe eines Aufsichtsratspostens an die Deutsche Bank auf eine gedeihlichere Grundlage gestellt werden (vgl. Eckermann, 1981: 121; Bühler, 1987: 20; Bitterauf, 1924: 125ff.).

Erweiterter Konsolidierungskonsens und Neuformierung der "Diesel-Gruppe"

Nach dem Auseinanderfallen der "Diesel-Gruppe" um die Jahrhundertwende hatten die ehemaligen Lizenznehmer ihre eigenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Optimierung der Arbeitsverfahren von Verbrennungsmotoren wieder aufgegriffen. Ein Bedarf an kleinen und mittleren Motorgrößen veranlaßte die Deutzer Geschäftsführung, auf der Grundlage der Patente des schwedischen Ingenieurs Haselwander und des holländischen Konstrukteurs Brons das Augenmerk nun wieder stärker auf leichtere und handlichere Konstruktionsformen zu legen, die eine Gemischbildung ohne den hohen Druck eines Kompressors durch eine besondere Art der Brennraumgestaltung ermöglichen sollten. Diesen ursprünglich mit großem Engagement betriebenen Arbeiten, die sogar in einer kleinen Versuchsserie dokumentiert werden konnten (vgl. Sass, 1962: 585ff.), blieb in der entscheidenden Phase die Unterstützung der Geschäftsleitung aber versagt. Der Grund für den später sogar durchgesetzten Abbruch der Arbeiten - was im nachhinein oft bedauert wurde (vgl. Goldbeck, 1964: 111ff.) -, lag an dem Auslaufen des Patentschutzes für den Dieselmotor. Bereits geraume Zeit vor dem genauen Termin (März 1908) verfügte die Deutzer Geschäftsleitung über Informationen, daß man für Maschinen der Augsburgsburger Größenklasse auch auf dem von Deutz bedienten Markt-

segment gute Absatzzahlen erwarten konnte, zumal man ja dieses Mal von der MAN einen gepflegten Wissensvorsprung noch dazu ganz ohne Abschluß teurer Lizenzverträge direkt übernehmen konnte. Entwicklungschef Prosper L'Orange, der später bei Benz noch zu Ruhm und Ehre kommen sollte, mußte daher die recht aussichtsreichen eigenen Konstruktionsarbeiten an kompressorlosen Ölmaschinen aufgeben, obwohl diese Motoren für mobile Einsatzzwecke viel aussichtsreichere Perspektiven boten als der schwere Augsburger Maschinentyp. "Trotz des guten Ergebnisses hat Deutz aus Gründen, die heute nicht mehr bekannt sind, diese Verbrennungsverfahren nicht weiter verfolgt", vermerkte der Firmen-Chronist Jahrzehnte später. "Gewiß trug hierzu auch bei, daß L'Orange Ende 1909 aus Deutz ausschied und zur Firma Benz in Mannheim übertrat", wo ihm ganz offensichtlich bessere Konditionen eingeräumt wurden (Goldbeck 1964: 113; L'Orange, 1934: 25). Auf der Grundlage der alten, noch aus dem Lizenzvertrag stammenden Konstruktionszeichnungen wurde mit dem Nachbau des Augsburger Baumusters begonnen und damit entstand auch in Deutz ein Dieselmotor, der die für den Dampfmaschinenbau so typischen Merkmale wie A-Gestell und Kreuzkopf zeigte. Die Arbeiten waren bereits 1905 aufgenommen worden, um auch pünktlich nach Ablauf der Patentrechte unter Einarbeitung der zwischenzeitlich in Augsburg erreichten Fortschritte - zweistufiger Kompressor und verbessertes Leistungsgewicht - den Motor in Erwartung kurzfristiger Verkaufserfolge dem Markt anbieten zu können (vgl. Sass, 1962: 592; Goldbeck, 1964: 109). Mit dem Einschwenken der Deutzer auf den von der MAN vorgegebenen Konsolidierungskurs übernahm man mit dem Baumuster selbstverständlich auch die nach Augsburger Interessen ausgerichteten Schließungsentscheidungen.

Neben der Gasmotorenfabrik Deutz entschieden sich weitere renommierte Maschinen- und Motorenbauanstalten, die in Augsburg über Jahre konsolidierten Erkenntnisse unter den nun wieder günstigeren Bedingungen ökonomisch zu nutzen. Die Gebr. Körting in Hannover brachen ebenfalls ihre eigenen Entwicklungsarbeiten an einem kompressorlosen Ölmotor ab. Auf der Grundlage eines Patentes des russischen Ingenieurs Gustav Trinkler war man hier einer Konstruktion auf der Spur, durch den Einbau eines kleinen Hilfskolbens die angesaugte Luft kurzfristig für eine optimale Gemischbildung höher zu verdichten. Das Verfahren schien offenbar so zukunftsweisend, daß

selbst Friedrich Sass seine eigenen strengen Maßstäbe der Geschichtsschreibung zurückstellte und ins Spekulieren kam. "Wenn es gelungen wäre, diese Vorrichtung betriebsreif zu machen, hätte der Trinkler-Motor dem Dieselmotor, der den umständlichen Einblasluftkompressor nicht entbehren konnte, schwere Konkurrenz bereiten können. Wegen des fehlenden Kompressors mußte der Trinkler-Motor billiger werden als der Dieselmotor, und zudem war sein Brennstoffverbrauch mit 220 g/PS/h nicht schlechter als der des Dieselmotors" (Sass, 1962: 629). Allerdings hatte diese Konstruktionsform bei einer Abschätzung der Entwicklungskosten gegenüber dem "fertigen", wenn auch nicht optimal ausgebildeten MAN-Motor, die schlechteren Karten, da auch den Gebr. Körting die aktuelle günstige Marktlage bekannt war.

Ein Wettbewerb zur "Erlangung brauchbarer Motoren und Windungen für Fahrzeuge der Deutschen See- und Küstenfischerei", der 1908 von der Deutschen Seefischerei und dem Verein Deutscher Motorfahrzeugindustrieller mit finanzieller Unterstützung des Reichsinnenministeriums organisiert wurde, zeigte noch eine weitere Reihe anderer brauchbarer Konstruktionen für "Ölmotoren", und als Ergebnis wurde dort festgehalten, daß zu diesem Zeitpunkt noch überhaupt keine definitive Klärung der einzuschlagenden Pfade möglich sei (Romberg, 1912: 178). Allerdings suchte jede Firma, jedes Entwicklungsteam unabhängig voneinander den technischen und betriebssicheren Erfolg, eine konsolidierte Ergebniszusammenführung blieb aus, und der von der ehemaligen Diesel-Gruppe hinterlassene "provisorische Stand der Technik", der in Augsburg überwintert hatte, lockte allen technischen Unzulänglichkeiten zum Trotz nach dem Auslaufen der Patentrechte mit beachtlichen wirtschaftlichen Möglichkeiten.

Erst nach Ende des Ersten Weltkrieges, als sich die einzelnen Maschinenbauanstalten bei der Suche nach neuen Anwendungsfeldern an eigene, aber zwischenzeitlich nicht weiter verfolgte Entwicklungslinien mit zum Teil einfacheren und insbesondere leichteren Ausführungen erinnerte, begann eine kurzzeitige Renaissance dieser als "Brons"- und "Steinbecker"-Motoren bekannten Konstruktionslinien, ohne daß es zu einer ernsten Gefährdung der zwischenzeitlich ja "kriegserprobten" "Diesellinie" kam. Chronisten und Berichterstattern, denen nach Kriegsende ebenfalls aufgefallen war, daß interessante Konstruktionsprinzipien verschwunden waren, versuchten dies

durch den damaligen "Hochstand des deutschen Dieselmotorenbaues" zu erklären, der es "verhindert oder mindestens erschwert" hätte, "Maschinen zu entwickeln, die - wenn auch nur vorübergehend - nicht alle die Anforderungen erfüllten, die man in Deutschland in bezug auf Betriebssicherheit und thermische Rentabilität an die Dieselmotormaschine zu stellen gewöhnt war". Und umgekehrt, so analysierte der Dresdener Professor Nägel, drohten "alle Abweichungen von den erprobten und bewährten Einzelheiten des grundsätzlichen Verfahrens im Sinn der Vereinfachung der Dieselmotormaschine..., ihren wohlbegründeten Ruf in Gefahr zu bringen" (Nägel, 1923: 26).

Da man nach Ablauf der Schutzrechte bei MAN nicht mehr über die Möglichkeit verfügte, durch die Vergabe von Lizenzen regulierend und pflegend auf den Konsolidierungskonsens einzuwirken, griff man rasch zu einem anderen, ebenfalls schon bewährten Instrument: einem "Diesel-Kartell". Ob es nun eher eine "Preiskonvention" (Sass, 1962: 593) oder aber ein "straffes Syndikat" (Nägel, 1911: 1344) war, jedenfalls beteiligten sich neben der MAN, Krupp, Deutz, Körting, den Gebr. Sulzer sowie einer Reihe kleinerer Werke alle bedeutenden deutschen Hersteller von Dieselmotoren an dieser bis zum Sommer 1910 laufenden Regelung. Auf der Grundlage einer kurzfristig hohen Nachfrage nach solchen Motoren konnte MAN die Aussicht auf ökonomische Vorteile zu einer Verpflichtung auf die bisherigen Grundprinzipien nutzen und im Ergebnis die eingeleiteten "Schließungs- und Konsolidierungsentscheidungen" auf die gesamte Branche ausdehnen und damit den Grundstein für die institutionelle Absicherung des bisherigen Konsolidierungskonsenses legen. "Ein rücksichtsloser Kampf dieser Großen untereinander mit dem Ziel einer effektiven Ausmerzung oder Niederlage des anderen lästigen Mitbewerbers wäre der Situation des möglichen Angreifens einiger weniger in einem Behälter zusammen eingeschlossener Skorpione gleichgekommen", kommentierte Hans Mauersberg diese Regelung und bewertete die getroffenen Absprachen als durchaus im Interesse aller Beteiligten. "Angreifer und Verteidiger konnten sich also nicht in einem Kampf ohne jede Rücksichtnahme miteinander messen, sie durften nur den harten, aber durch bestimmte Spielregeln gemäßigten Wettstreit miteinander suchen" (Mauersberg, 1966: 254). Im übrigen entsprachen "solche Spielregeln" durchaus den Gepflogenheiten der Maschinenbaubranche bei der Einführung neuer Techniken. Als Teil der unternehmensübergrei-

fenden Absicherungspolitik des jeweils federführenden Unternehmens hatten sich solche Kartelle, beispielsweise bei der Einführung neuer Dampfturbinen im sogenannten "Zoelly-Syndikat", an dem ebenfalls alle namhaften Kraftwerks- und Maschinenhersteller beteiligt gewesen waren, offenbar im Interesse der Branche bewährt (Mauersberg, 1966: 255).

Welche Bedeutung den Bauformen der MAN in dieser Zeit tatsächlich zukam, verdeutlicht eine Situationsbeschreibung Hugo Güldenens anlässlich einer Neuauflage seines Lehrbuchs "Verbrennungskraftmaschinen": "Seit 1907 sind ungezählte neue Dieselmotoren- oder andere Gleichdruckmaschinen-Fabriken entstanden; neue selbständige Konstruktionen nur recht wenige. Manche sonst angesehene Werke verstehen es sogar, ganz ohne Konstrukteur auszukommen, indem sie sich den inzwischen eingerissenen Zeichnungshandel zunutze machen. Man baut, nur auf Billigkeit bedacht, einfach Abklatschtypen, die heute denn auch bereits den Markt unsicher machen" (Güldner, 1914: 546). Doch der maschinelle Funktionsmodus war jetzt soweit stabilisiert und objektiviert, daß ein ähnlicher Einbruch wie um die Jahrhundertwende diesmal nicht mehr zu befürchten war und die Konstruktionslinie auch durch "unsachgemäße Ausführungen" nicht mehr gänzlich diskreditiert werden konnte.

Dieselprinzip als "legitimes" technisches Wissen

Neben der faktischen Verbreitung einer Technik muß zur Absicherung im "herrschenden Stand der Technik" die Anerkennung der neuen Maschine in den technik-wissenschaftlichen Diskursen treten, die auch über die Anerkennung als technisches Lehrgebiet entscheiden. Unabhängig von kurzfristigen unternehmerischen Kalkülen werden hier den motorischen Antriebskonzepten die Funktionsgarantien verliehen und eine genaue "Platzzuweisung" im technischen Gesamtkontext vorgenommen, aus der sofort ersichtlich wird, für welche Verwendungszwecke die Maschine reserviert ist. Denn einmal in den Lehrbüchern und in Ausbildungsunterlagen der polytechnischen Schulen und Technischen Hochschulen verankert, konnten die konstruktiven Grundlagen der Maschine schnell multipliziert werden.

Adolf Nägel, Professor in Dresden, hatte "die Ölmaschine" - auf die Bezeichnung "Dieselmotor" konnte man sich erst nach dem Ersten

Weltkrieg einigen - sozusagen als neues Mitglied in der Familie der Verbrennungsmotoren bereits zum Ende des ersten Jahrzehnts begrüßt und die Entwicklungsarbeiten als "zielgerichtet" und "richtig" gewürdigt. "Eine Reihe von Gesichtspunkten sind für die Ölmaschine als grundlegend zu bezeichnen. Sie müssen daher schon bei der Erstlingsmaschine der Maschinenfabrik Augsburg bewußt oder unbewußt berücksichtigt worden sein und behalten daher ihre Gültigkeit für alle späteren Entwicklungslinien", urteilte Nägel und versah die Machtkämpfe, Irrungen und Wirrungen in Augsburg während der Entwicklungszeit mit einer nachträglichen technischen Logik, die er auch für die kommenden Entwicklungsstufen gewahrt sehen wollte und damit seinen Beitrag zur Festschreibung der Augsburger Konstruktionslinie lieferte (Nägel, 1911: 1319). Die nächsten Entwicklungsschritte sah Nägel auf Vereinfachung der Bedienung, Raumersparnis, Verringerung der Anlagekosten sowie Verminderung des Gewichts gerichtet. Als Einsatzfelder für den Motor kamen nur stationäre Kraftanlagen sowie der Schiffsantrieb in Frage (vgl. Nägel, 1911: 1321ff.).

Neben Nägel gehörte damals der Berliner Professor Alois Riedler zu den prägendsten Figuren auf dem Gebiet des Verbrennungsmotorenbaus, der dem Dieselmotor ebenfalls eine "abgeschlossene Gestaltung" attestierte und den schon mancherorts geäußerten Bedenken gegenüber den Gefahren einer unkontrollierten Ausweitung der Einsatzfelder des Motors entgegnete, daß es sich "bei der Ausbildung des Schiffsmotors" lediglich darum handeln würde, "bereits erprobte und in ihren wesentlichen Teilen schon typische vorliegende Konstruktionen für die besondere Betriebsart (...) weiter zu gestalten" (Riedler, 1914: 2; 81). Während noch wenige Jahre zuvor Motoren mit einem solchen Hochdruckverbrennungsverfahren von der Zunft der Motorenbauer gemeinsam als undurchführbar abgelehnt und von den Empirikern unter den Professoren - Riedler zählte sich hierzu - als theoretisch einseitig abgewertet und in seinen praktischen Möglichkeiten belächelt worden waren, nahm man jetzt die dem Dieselfahren zugrundeliegenden Konstruktionsentscheidungen in den Kreis möglicher Arbeitsverfahren für Verbrennungskraftmaschinen auf: "Das Entscheidende bei jeder Art von Verbrennungsmaschinen liegt wissenschaftlich wie praktisch in der Vorverdichtung; alles weitere führt zu Notwendigkeiten, die hiervon abhängig sind. Wird hohe Vorverdichtung eines brennbaren Gemisches gewollt, dann kommt die Frage un-

gewollter gefährlicher Frühzündungen. Voraussetzung des Hochdruckmotors ist daher Vermeidung der Frühzündung. Hier liegt die Scheidung der Wege, die der Konstrukteur gehen kann. Der eine Weg ist: die Möglichkeit der Frühzündung nicht zu beseitigen, sondern nur zu beschränken, also Gemisch anzusaugen oder zu laden, aber sicherheitshalber nur mäßig zu verdichten, unter Minderung der thermischen Ausnutzung". "Der andere Weg: die Frühzündung unmöglich zu machen, daher nur Verbrennungsluft allein zu verdichten" (Riedler, 1914: 96). Riedler ließ keinen Zweifel daran, daß es sich bei dem neuen Motor um eine "Hochdruckölmaschine" und keinesfalls um einen Dieselmotor handelte, die in Augsburg getroffenen Selektionsentscheidungen vollkommen richtig gewesen seien, während die früheren und späteren Versuche Diesels zur Verwendung von Gas oder anderer flüssiger Brennstoffe einem "Mangel an Klarheit" unterlegen wären, die von Riedler im nachhinein auch als Irrweg bezeichnet und ins Abseits geschoben wurden (vgl. Riedler, 1914: 59). Damit setzte die "Autorität" Riedler allen Versuchen des Ingenieurnachwuchses einen Riegel vor, nochmals an die erfolgversprechenden Versuche mit Spiritus anzuknüpfen oder die Möglichkeiten des Verbundmotors unter veränderten Bedingungen zu überprüfen.

Das meist verbreitetste Lehrbuch jener Zeit, Güldners "Entwerfen und Berechnen von Verbrennungskraftmaschinen", hatte in der 1905 erschienenen 2. Auflage den Ölmotoren schon ganz allgemein keine Zukunft mehr eingeräumt, denn "zu einem wirklich sicheren und reinlichen Betrieb hat sich der eigentliche Petroleummotor seitdem noch nicht entwickelt; gegenwärtig ist sogar seine Bedeutung als ortsfeste Kraftmaschine in nachhaltigem Rückgange begriffen", schrieb Güldner auf dem Höhepunkt der "Diesel-Krise" (Güldner, 1905: 90). Im Vorwort zur 1914 erschienen 3. Auflage mußte der Lehrbuchverfasser, wenn auch mit erkennbarem Widerwillen, den faktischen Verbreitungs- und Entwicklungsstand dieser Motorengattung anerkennen. "Der Schritt um Schritt vordrängende Gleichdruck-Ölmotor hat der Verpuffungs-Gasmaschine (gemeint sind damit Gas- und Benzinmotoren - A.K.) ihre ehemalige Alleinherrschaft genommen und sie bereits überholt. Nicht eigentlich technisch, wohl aber in ihrem Absatz; dank einer auf ausgiebigen Anpreisungen aufgeschlossenen Neuerungssucht, die andere derb, aber richtig als "Diesel-Dusel" gekennzeichnet haben. Das wird zwar nicht immer so bleiben; denn die von

den eigenen Erbauern ungebührlich vernachlässigten Gaskraftanlagen besitzen in ihren billigen heimischen Brennstoffen und in ihrer baulichen Anspruchslosigkeit einen unverwüstlichen Halt, der sie als ortsfeste Betriebsmaschinen wieder hochbringen wird" (Güldner, 1914: IX). In dieser letzten Prognose irrte Güldner und unterschätzte die Macht der "Schließungs- und Konsolidierungsprozesse". Für die von ihm so gelobten Gaskraftanlagen blieb nach der Neuformierung des "herrschenden Standes der Technik" kein Platz mehr, und ohne Lobbyarbeit wurde auch in den folgenden Jahren kein Terrain für solche Energieerzeugungsanlagen geschaffen. Schließlich mußte Güldner auch zugeben, daß die große Verbreitung des Dieselmotors auch "der Neubearbeitung (seines) Buches die Richtung gegeben" habe (Güldner, 1914: IX).

Lediglich bei der Frage des Arbeitsverfahrens war man sich zu dieser Zeit noch nicht einig: Das "Werk Augsburg" der MAN hielt sich streng an das Viertaktverfahren, die Nürnberger Konzernkollegen, Körting und die Gebr. Sulzer optierten mehr für den Zweitakt. Während Nägel sich eindeutig für den Zweitakt entschied, trat Riedler mit gleicher Entschlossenheit für die Bauweise des Viertaktverfahrens ein. Doch auch in dieser Frage konnte durch eine klare Zuweisung der Zuständigkeiten Übersicht und Ordnung hergestellt werden. "Nach 1918 setzte sich der Streit fort", doch als "bald darauf der doppelt-wirkende Zweitaktmotor der MAN seine Brauchbarkeit bewiesen hatte, zog sich der Viertakt auf sein eigentliches Gebiet, das der mittleren und kleineren Leistungen in der einfachwirkenden Bauart zurück. Leistungen von etwa 3.000 PS an aufwärts führt man heute nur in der Zweitaktbauart aus" (Sass, 1962: 651). Die Aufnahme in den "herrschenden Stand der Technik" und damit die institutionalisierte Absicherung eines technischen Verfahrens läuft umso leichter und unproblematischer, je rascher eindeutig begrenzte Verwendungsgebiete angegeben werden können und damit eine Konkurrenzsituation mit noch im Angebot befindlichen Lösungsoptionen eingeschränkt werden kann. Freilich führen solche Konventionen manchmal zu recht grotesken Ergebnissen wie beispielsweise beim Zweitaktverfahren, das nicht nur für großvolumige Maschinen, sondern auch ganz kleine Motorengrößen zugeordnet verwendet wird.

Branchenformierung und Institutionalisierung der Wissensbestände

Die überaus schnelle Übernahme des im Entwicklungsstand des Dieselmotors verkörperten Konsolidierungskonsenses durch andere Maschinenbaukonkurrenten hatte dem Motor damit eine komfortable industrielle Basis verschafft. Konkurrierende Entwicklungslinien waren von den Neueinsteigern sicherlich auch im Hinblick auf die guten Beziehungen der MAN zu den staatlichen Rüstungsstellen aufgegeben worden. Der Preis für diese gelungene Konstituierung als eigenständiger "Stand der Technik" im Dieselmotorenbau war allerdings eine eindeutige Konzentration auf wenige Verwendungsgebiete und eine strikte Milieuzuweisung im übergeordneten "Stand der Technik" für motorische Antriebssysteme.

Diese sicherlich nicht im Sinne Diesels verlaufende "Härtung" des Augsburger Baumusters stabilisierte sich noch zusätzlich dadurch, daß von anderen Verwendungsgebieten unter diesen Umständen auf einen "Technologie-Transfer" verzichtet wurde. Ohne industrielle und technik-wissenschaftliche Lobbyarbeit konnte die dieselmotorische Verbrennung nicht in die Auseinandersetzung um die automobilen Antriebskonzepte eingebunden werden, das Projekt eines Fahrzeug-Dieselmotors fiel dem von der Maschinenbau- auf der einen und der Automobilindustrie auf der anderen Seite getrennt eingeleiteten und durchgesetzten "Schließungs- und Konsolidierungsprozeß" zum "Opfer". Noch in den letzten Jahren des 19. Jahrhunderts war es dabei völlig offen gewesen, welcher Typ von Wärmekraftmaschine sich für welche Verwendungskontexte eignen würde. Auf der konstituierenden Sitzung des "Mitteleuropäischen Motorwagenvereins" (MMV) räumte Oberbaurat Klose noch drei unterschiedlichen "Gattungen" gute Chancen für den Einsatz bei mobilen Antriebssystemen ein: "durch Dampf bewegte Fahrzeuge; durch Ölmotoren (mit diesem Begriff waren damals auch Benzinmotoren gemeint - A.K.) bewegte Fahrzeuge und durch Elektrizität bewegte Fahrzeuge" (zit. nach Der Motorwagen, 1, 1898: 3). Die Verfechter und Promotoren von Benzinmotoren, Kolben-Dampfmaschinen, Elektromotoren sowie Gas- und Ölmotoren favorisierten jeweils universelle Einsatzkonzepte und sahen ihre technische Option keineswegs auf ein einziges Verwendungsgebiet be-

schränkt. Aber schon nach wenigen Jahren zeichnete sich nicht nur eine Ausdifferenzierung der industriellen Kontexte und der Bildung eigenständiger Branchenstrukturen ab, sondern auch die Konstituierung eines jeweils und auch nur dort "herrschenden Standes der Technik". Insbesondere die neu entstandene Automobilbranche war auf einen auch nach außen hin sichtbaren Ablösungsprozeß vom Maschinenbau bemüht, der sich selbstverständlich auch in der Wahl von motortecnischen Antriebssystemen ausdrückte.

In der technik-wissenschaftlichen Forschung versuchte man sich ebenfalls von den übermächtigen Fesseln der Maschinenbauindustrie zu befreien und begegnete der häufig "aus Kostengründen" durchgesetzten Angliederung des neuen Lehrgebietes Automobilwesen an die schon bestehenden Maschinenbaulaboratorien mit vehementer Ablehnung. Denn die "hier festliegenden, meist größere Abmessungen aufweisenden Apparate und Meßinstrumente der Maschinenlaboratorien" konnten für die eigenartigen Versuche mit den hochtourigen Kleinmotoren des Fahrzeugbaus nur in seltensten Fällen verwendet werden" und nach Einschätzung der Hochschullehrer "sind vielmehr Sonderanlagen nötig", zumal die Automobilforscher Zweifel daran hatten, ob bei den Leitern dieser Laboratorien den "Problemen des Automobils das unerläßliche Verständnis" entgegengebracht werden könnte (A. Lutz, 1905: 663). "Der im Maschinenbau vielfach herrschende Grundsatz", formulierte der Frankfurter Ingenieur Bauschlicher in einem Vortrag der Automobiltechnischen Gesellschaft im Jahre 1908 selbstbewußt, "möglichst starre und stabile Maschinenglieder zu konstruieren, wird durch den Automobilbau stark erschüttert". Überhaupt wurde in einer Reihe wichtiger motortecnischer Konstruktionsprobleme dem bisher im Maschinenbau gepflegten Wissensreservoir keine große Kompetenz mehr beigemessen. "Die bisher bekannten Maschinenlemente sind (...) zur Erzielung leichter Konstruktionen nicht geeignet. Eine Rohrverbindung des Dampfkesselbaues konnte schwerlich auf einen Wasserleitungsanschluß eines Automobils übertragen werden. Auch die Kreuzkopfkonstruktionen der Dampfmaschinen haben nicht den geringsten vorbildlichen Einfluß auf den Automobilbau gehabt" (Bauschlicher, 1908: 627). Bei diesen Abgrenzungs- und Emanzipationsversuchen war es kaum verwunderlich, daß der dieselmotorische Antrieb, der trotz der propagandistischen Bemühungen Rudolf Diesels als "Kind" des Maschinenbaus deutlich identifiziert werden

konnte, bei den Ingenieuren und Konstrukteuren mit seiner wuchtigen Bauart kaum auf Resonanz stieß. Der in beiden Branchen getrennt eingeleitete "Schließungs- und Konsolidierungsprozeß" konstituierte mit dem benzinbetriebenen Viertakt-Ottomotor und dem Hochdruckölmotor zwei unterschiedliche technische Konzepte für Verbrennungsmotoren. Eine unmittelbare Konkurrenzsituation konnte daher auch für die ersten Jahre vermieden werden, freilich verloren beide Antriebskonzepte die ursprünglich von den "Erfindern" geplante und erhoffte universelle Gebrauchsfähigkeit. Wenn sich überhaupt ein Unternehmen der neuformierten Automobilbaubranche vor dem Ersten Weltkrieg ernsthaft mit dem dieselmotorischen Antriebssystem beschäftigte, dann waren hierfür eher besondere informelle Querverbindungen als technik-wissenschaftliche Entscheidungsprozesse verantwortlich. So experimentierten die erfolgreich in den Automobilbau eingestiegenen Frankfurter Adlerwerke völlig abseits vom gesicherten Terrain des "herrschenden Standes der Technik" auch nur deshalb an einem kleinen schnellaufenden Dieselmotor, weil dort Diesels Schwiegersohn Arnold v. Schmidt zu einem der technischen Leiter des Werkes berufen worden war. Allerdings führten diese Versuche nicht zu einer ernsthaften Gefährdung des zwischenzeitlich auf der Basis des ottomotorischen Verbrennungsverfahrens erreichten Erkenntnisfortschritts und blieben letztlich ohne konkrete Ergebnisse (E. Diesel, 1937: 343; vgl. auch Hausfelder, 1928: 214; 215).

Die Ausdifferenzierungen der Maschinenbau- und Automobilbaubranche und die jeweilige Konstituierung eines herrschenden Konsolidierungskonsenses bedeutete auch, daß sich die Maschinenbauanstalten mehr und mehr vom Bau kleiner, mobiler Verbrennungsmotoren zurückzogen und damit weitere mögliche industrielle Transfer-Schienen für die Verbreitung des Dieselmotors über die stationären Einsatzgebiete hinaus kappten. Bei der Gasmotorenfabrik Deutz beispielsweise waren vorbereitende Arbeiten zum Einstieg in den Automobilbau schon weit gediehen, ein kleiner Boxermotor konstruiert und ein Vertrag mit dem italienischen Automobilingenieur Ettore Bugatti abgeschlossen, doch schob man die Entscheidung immer wieder auf, um schließlich doch das ganze Projekt zu stornieren (vgl. Goldbeck, 1964: 127f.).

Für die Automobilindustrie hieß es ebenfalls, Abschied von universellen Einsatzkonzepten zu nehmen. Bei der Daimler-Motoren-Gesell-

schaft lebten nach spektakulären Mercedes-Rennsiegen in Frankreich alte, noch auf Gottlieb Daimler zurückgehende Expansionsbestrebungen wieder auf. Auch die Daimler AG war mit der russischen Marine ins Geschäft gekommen, hatte ihrerseits einen Viertakt-Ottomotor mit rd. 270 PS und 550 U/min geliefert und war damit genau in die Leistungsbereiche und Anwendungsfelder der Dieselmotoren vorgestoßen. Allerdings verfügte die Firma damals noch nicht über die Ressourcen, auch auf diesem Gebiet durch einen "faktischen" Stand mit Otto-Motoren zu expandieren. Kurz vor Kriegsbeginn nahm das Unternehmen im Berliner Werk den Bau von Schiffsmotoren wieder auf, orientierte sich aber diesmal am "zuständigen" "Stand der Technik" und griff auf das Augsburger Baumuster eines Diesellagers zurück (Sass, 1962: 347ff.).

Verliererprojekte

Die Trennungslinie zwischen dem traditionsreichen, konservativen Maschinenbau und der neuformierten Automobilindustrie, die sich aus Neugründungen, Tochterfirmen der Elektroindustrie sowie Firmen der feinmechanischen Industrie zusammensetzte, trat mit dem weiteren Ausbau der jeweiligen als "Stand der Technik" ausgewiesenen Konstruktionsentscheidungen im ersten Jahrzehnt des neuen Jahrhunderts immer deutlicher zutage und übte für neue Geneseprojekte zunehmend eine strukturbildende Kraft aus. Rudolf Diesel, der selbst diesen Restrukturierungsprozeß mit ausgelöst hatte, mußte nun erleben, wie die von ihm unterstützte Reformierung der technischen Angebotsstrukturen als eine eigenständige Größe seine weiteren Pläne beeinflussen sollte. Der inzwischen nach München übergesiedelte Ingenieur konnte immer noch nicht einsehen, weshalb eine Wärmekraftmaschine mit über 30 % Wirkungsgrad - und damit weit über allen anderen Wärmekraftmaschinen liegend - mit einer in seinen Augen doch so unbeholfenen konstruktiven Umsetzung, schwer, kaum ortsbeweglich, nicht doch auch anderen Nutzungszwecken zugeführt werden konnte. Mit solchen Überlegungen stand Diesel nicht allein; kein geringerer als der Direktor der Deutschen Bank, Karl Helfferich, vermutete in der vergleichsweise günstigen Energieausbeute der Dieselmotoren, volkswirtschaftlich gesehen, sehr "große Perspektiven" (Helfferich, 1913: 28). Nachdem aber die Augsburger Unternehmens-

leitung die Entwicklungsabteilung bereits geschlossen und die Wiederaufnahme von Versuchen mit "alternativen" Kraftstoffen aus Angst vor einer Gefährdung des damals nur mühsam gelungenen Konsolidierungskonsenses verweigert hatte, kam es 1905 zum endgültigen Bruch zwischen Diesel und der MAN, als Diesel die Arbeiten an einer luftlosen Einspritzung des Brennstoffs mit dem Ziel, den Kompressor zu ersetzen, wieder aufnahm. Zu dieser Zeit sah sich die neuformierte "Diesel-Gruppe" nicht Willens und in der Lage, angesichts der erwarteten guten Absatzlage des Motors eine so grundlegende Entwicklung aufzugreifen und wertete alle Versuche Diesels als Bedrohung des erreichten Konsolidierungskonsenses. (vgl. Sass, 1962: 500f.; Meurer, 1988: 4; vgl. E. Diesel, 1937: 337f.).

Ungeachtet des Ausscheidens Diesels aus der "Diesel-Gruppe" blieb seine Popularität weiterhin groß. In seinem Münchener Haus setzte er seine Entwicklungsarbeiten in einem extra eingerichteten Konstruktionsbüro fort, in dem sich Vertreter von Industrie und Wissenschaften die Klinke in die Hand gaben. Zusammen mit dem Ingenieur Heinrich Dechamps, einem damals sehr angesehenen Konstrukteur, nahm Diesel die alte Idee eines schnellaufenden, kleinen Fahrzeug-Dieselmotors wieder auf und konnte mit der kleinen schweizerischen Automobilfabrik SAFIR auch einen industriellen Kooperationspartner für die Projektarbeit gewinnen. Um schwierigen Entwicklungsarbeiten an dem Verbrennungsverfahren nicht noch durch eine völlig neue Triebwerkskonstellation zu komplizieren, schlug man diesmal - nicht wie in dem Nürnberger Gegenkolben-Projekt - einen pragmatischen Weg ein, den von der Automobilindustrie zwischenzeitlich konstituierten "Stand der Technik" anzuerkennen und als konstruktive Basis für die Weiterentwicklung des Dieselfahrverfahrens zu nutzen. Ein konventioneller Benzinmotor wurde für die Verwendung als "Diesel" umgebaut und auf einem Prüfstand getestet. Die Konstituierung eines "faktischen" Standes der Technik hätte zu diesem Zeitpunkt - dem ersten Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts - zwar auch kein Revirement in den schon formierten Wissensstrukturen auslösen, so doch zumindest die Machbarkeit eines Diesel-Fahrzeugmotors demonstrieren können. Aber im Vergleich zu Diesels früheren Absicherungspolitiken - Unterstützer-Netzwerk und Formierung einer industriellen Akteursgruppe - blieben die neu aufgebauten industriellen Kontakte mehr als bescheiden. Während Diesel 1892 als unbekannter Ingenieur

mit den führenden Fachvertretern korrespondierte und die renommiertesten Maschinenbauanstalten zur Durchsetzung seiner Interessen einspannen konnte, war er fünfzehn Jahre später zwar ein bekannter Ingenieur, aber ohne die notwendigen industriellen und auch technikwissenschaftlichen Kontakte. Die kleine Schweizer Firma SAFIR ging in Konkurs, und die deutschen Automobilunternehmen konzentrierten sich auf einen Konsolidierungskurs, bei dem der Beitrag Diesels überhaupt keine Rolle spielte. "Ich konnte mir nicht vorstellen", schildert Eugen Diesel die isolierte Situation seines Vaters in dieser Zeit, "daß man von einem Konstruktionsbüro aus die gewaltige Konkurrenz der Firmen und Männer bekämpfen konnte, die über riesige Werkstätten, Tausende von Erfahrungen, Hunderte von Werkmeistern und Dutzende von erfahrenen Konstrukteuren verfügten. Hier im Arbeitszimmer meines Vaters in der schönen Villa fehlte doch der lebendige Zusammenhang mit dem Werk". Die von Diesel selbst mit eingeleiteten und unterstützten motortechnischen Reformen waren längst wieder zu einer harten industriellen Struktur geronnen. "Die acht Jahre, welche er ohne engste Zusammenarbeit mit einem solchen Werk hatte verbringen müssen und Tausende von Ingenieuren und Arbeitern viele Einzelheiten verbessert und zahllose Erfahrungen gesammelt hatten, waren auch durch großen Willenseinsatz nicht wieder einzubringen" (E. Diesel, 1937: 340).

Allerdings blieb Diesel nicht der einzige Leidtragende bei dem Versuch, den in den einzelnen Branchen unterschiedlich ausgebildeten Konsolidierungskonsens zu modifizieren. Fast zeitgleich mit dem Bruch zwischen Diesel und der MAN wurde der Chefkonstrukteur der Daimler-Motoren-AG Wilhelm Maybach von seinem Posten abgelöst und in ein eigens für ihn eingerichtetes "Erfinderbüro" abgeschoben (vgl. Sass, 1962: 353). In einer zwar nur über wenige Jahre existierenden Interessenkoalition zwischen Kapitalgebern, Geschäftsführung, Konstruktionsabteilung und Automobilisten war der Daimler-Gesellschaft unter Federführung von Maybach die Transformation der Motor-Kutsche in ein Automobil und damit ein technischer Vorsprung gelungen, der allerdings hinsichtlich des motorischen Antriebssystems auch nur um den Preis "technischer Krücken" - feuergefährliches Benzin, ungünstige Drehmomentkurve und die Notwendigkeit eines Wechselgetriebes sowie keine Kraftentfaltung unter Last - möglich war (vgl. Klapper, 1910: 14; Schirmbeck, 1907: 54f.; Horras, 1982:

180f.). Als Maybach daran ging, diese technischen Mängel durch die Entwicklung neuer Antriebssysteme zu verbessern und damit auch seiner Reputation als Konstrukteur - Maybach bekam damals von der französischen Autoindustrie den Titel "roi des constructeurs" verliehen (vgl. Hütten, 1988: 59ff.) - gerecht zu werden, traf er bei der Daimler-Gesellschaft auf Widerstand. Denn auch hier war man an der Absicherung und ökonomischen Ausbeutung des konsolidierten Zustandes interessiert, der - technisch optimal oder nicht - zu wahren Gewinnexplosionen geführt hatte und nun die Konzentration aller technischen Arbeiten zur Sicherung und Pflege des erreichten "faktischen Standes der Technik" verlangte, der wenige Jahre später auch allgemein "herrschender Stand der Technik" werden sollte. Auf der Strecke dieser "Schließungs- und Konsolidierungsentscheidungen" blieb mit der "Vereinigten Explosions- und Dampfmaschine" der Prototyp einer Kraftmaschine, die als Hybridantrieb einen besseren Wirkungsgrad durch die Ausnutzung der Abwärme ausweisen sollte. Mittels eines besonderen Vorwärmers konnten die Abgase der Verbrennungskraftmaschine vorgewärmt und durch einen, den Verbrennungszylinder umgebenden Kühlmantel, weiter beheizt werden, um anschließend noch zur Heißdampferzeugung eingesetzt werden zu können.

Ebenfalls "Opfer" der Schließungsentscheidungen der Daimler-Gesellschaft wurde Maybachs Druckluftübertragung, die ohne Zahnradgetriebe, Differential, Kupplung und Bremsen den Fahrer von der Mühe des Kuppelns und Schaltens entlasten sollte. Konstruktionen, die heute noch als "technische Optionen" immer wieder durch die Entwicklungsbüros der Autoindustrie geistern, denen damals trotz des "richtigen Gedankens" aber der "Erfolg versagt bleiben (mußte)" (Sass, 1962: 355), weil auch sie den gerade mühsam erreichten maschinellen Funktionsmodus zu gefährden drohten. Schon kurze Zeit später, als es mit den spektakulären Erfolgen der Mercedeswagen vorbei war, bemühte man sich in den Geschäftsleitungen nunmehr um technische Lösungen, die dem Alltagsbetrieb mehr als diese Rennmotoren entgegen kamen. Maybach war aber inzwischen ganz aus dem Unternehmen ausgeschieden, seine Ergebnisse hatte man nicht stabilisieren können. Die Motorenbauer-Zunft hingegen sah den veränderten Anforderungsprofilen insoweit eher skeptisch entgegen, als man hier nach dem gerade abgeschlossenen Einigungsprozeß auf einen "herrschenden Stand der Technik" kaum noch zu grundsätzlichen Mo-

difikationen bereit war und sich vielmehr froh darüber zeigte, "daß für den Automobilismus die Jahre des unsteten Tastens und Erfindens endgültig vorbei" (waren), "daß die Zeit da ist, in welcher auf der Basis des bereits Errungenen eine sorgfältige Detailarbeit Platz greift, und nur noch konstruiert wird" (Rumpler, 1906: 94) und in Lehrbüchern regelrechte Warnungen vor dem Verlassen der abgesicherten Pfade der Normalbauarten ausgegeben wurden (Heller, 1912: 310).

Während der Verlierer Maybach in das Unternehmen seines Sohnes einstieg, dort aber unter weitgehender Beachtung des "herrschenden Standes der Technik" seine Konstruktors-Laufbahn fortsetzte, versuchte der andere Verlierer Diesel nach wie vor die von der "Diesel-Gruppe" durchgesetzten "Schließungsentscheidungen" durch weitere Projekte aufzuweichen. In einem dieser Vorhaben gelang ihm dabei tatsächlich nochmals mit der 1905 gegründeten "Gesellschaft für Thermolokomotiven Diesel-Klose-Sulzer GmbH" die Bildung einer ansprechenden Interessengruppe sowie die Sicherung eines industriellen Zugangs. Als treibende Kraft fungierte erneut Oberbaurat Klose, der bereits 1898 zusammen mit der damals noch selbstständigen Nürnberger Maschinenbau AG bei dem Versuch, den Dieselmotor für mobile Antriebssysteme auszubilden, erfolglos geblieben war. Klose hatte zwischenzeitlich die Konstruktionsarbeiten für einen Diesetriebwagen wieder aufgenommen, scheiterte aber immer wieder bei der Suche nach industriellen Kooperationspartnern zur Etablierung eines abseits des "herrschenden Standes" liegenden lokomotiven Antriebskonzeptes (vgl. Stockklausner, 1963: 11). Während gegenüber der vorherrschenden Dampfmaschinentechnik in stationären Verwendungsbereichen beharrliche Kritik geübt wurde, blieb die Kolben-Dampfmaschine als mobile Antriebstechnik für schienengebundene Fahrzeuge von diesen Angriffen fast unberührt, da hier die technischen Möglichkeiten der Dampfmaschine gegenüber anderen Systemen erfolgreich verteidigt worden waren. Dampflokomotiven konnten unter Last angefahren werden und auf ein schwerfälliges Wechselgetriebe ganz verzichten. "Vom wärmetechnischen Standpunkt aus läßt sie viel zu wünschen übrig, vom Standpunkt der Mechanik des Zuges aus betrachtet, ist die Lokomotive ein idealer Motor" (Lomonossoff, 1924: 5). Und "fast schien es, als ob hier andere Formen der Wärmekraftmaschine kaum Aussicht hätten, in erfolgreichen Wettbewerb mit der Dampflokomotive treten zu können" (Matschoß, zit. nach Lomonossoff, 1924: Geleitwort).

Der überaus geringe Wirkungsgrad von maximal 7-9 % sowie die großen Rauch- und Rußbelästigungen stellten allerdings mit steigenden Anforderungen an schnelle und wirtschaftliche Transporttechniken in immer dichter besiedelten Räumen auch diesen, bislang uneingeschränkt "herrschenden Stand der Technik" vor Neubewertungsprobleme (vgl. Lomonossoff, 1924: 6).

Mit der Gründung der neuen Gesellschaft verfügte Diesel erstmals wieder über eine vermeintlich gut formierte Unterstützergruppe: Der Vertreter einer renommierten Maschinenbauanstalt war gewonnen, Klose brachte als weithin anerkannter Eisenbahnfachmann hervorragende Kontakte zu den verschiedenen Eisenbahnverwaltungen mit ein, und als tatsächlich mit der königlich-preußischen Eisenbahnverwaltung in Berlin ein Entwicklungsvorhaben für eine 1.500 PS-Lokomotive abgeschlossen und gar die führende deutsche Lokomotivfabrik Borsig als Unterauftragnehmer zur Fertigung von Konstruktionsteilen beteiligt werden konnte, schienen die Bedingungen zum erneuten Einbruch in die Phalanx eines "herrschenden Standes der Technik" so günstig wie lange nicht mehr (vgl. E. Diesel, 1937: 336ff.; Stünzi/Marti, 1984: 6; Stockklausner, 1963: 12). Obwohl ein von der Gesellschaft entwickelter Triebwagen umfangreiche Testfahrten absolvierte, scheiterte der Versuch, noch vor dem Ersten Weltkrieg ein nur auf dem Dieselvefahren beruhendes Antriebssystem in Triebwagen zu etablieren. Die "Sulzer-Klose-Diesel"-Gruppe hatte sich in grundlegenden Konstruktionsentscheidungen nicht am "herrschenden Stand der Technik" orientiert und die "Schließungs- und Konsolidierungsentscheidungen" der "Diesel-Gruppe" mißachtet. Zwar konnte man dadurch erneut das dieselmotorische Prinzip mit einem adäquaten Triebwerkskonzept unterlegen, aber bei allen tragenden Elementen, ob Gegenkolben-Prinzip, Zweitakt oder direktes Antriebsverfahren, mußte die Entwicklungsarbeit völlig neu begonnen werden, ohne auf Erfahrungswerte, geschweige denn einen bereits erreichten stabilen Erkenntnisstand zurückzugreifen und auf Resonanz und Hilfestellung eines anerkannten "Standes der Technik" setzen zu können (vgl. Stockklausner, 1963: 12f.). Das nicht im unmittelbaren betrieblichen Kontext eines Industrieunternehmens entstandene Antriebssystem vereinigte somit zwar in allen Belangen fortschrittliche technische Optionen, ohne aber den gewünschten Status eines stabilen maschinellen Systems letztlich erreichen zu können. Erst einige Jahre später gelang

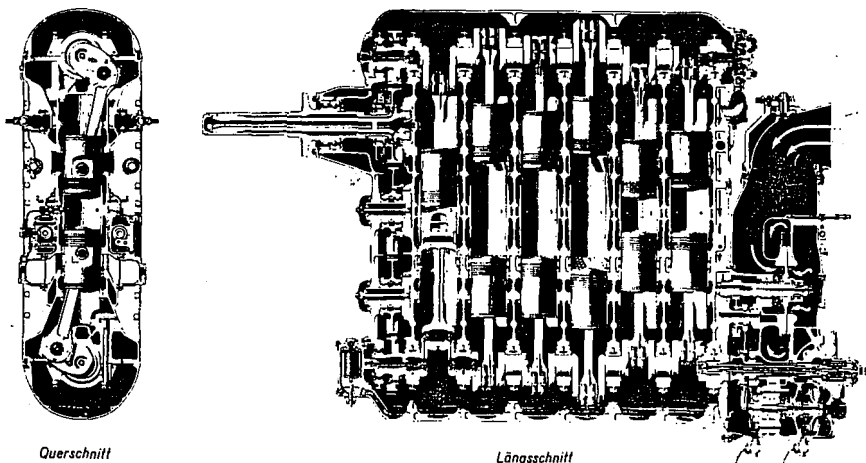
in der Sowjetunion ein Projekt zur Einführung und Stabilisierung des Dieselpinzips in schienengebundene Fahrzeuge, das auf einer völlig anderen "Konstruktionsphilosophie" beruhte. Das neue Triebwerk sollte hier ausschließlich aus Teilen zusammengebaut werden, deren "Arbeitsfähigkeit praktisch bewiesen (war)". Unter Verzicht des "eigentlichen besseren Zweitaktarbeitsverfahrens" wurde daher der "im U-Boot Krieg bewährte" (!!!) Viertakt-Schiffsmotor der MAN gewählt, nur um mit Elementen des "herrschenden Standes der Technik" zu operieren und damit aber "beweisen zu können, daß Eisenbahnbetrieb mittels Thermolokomotiven kein Luftschloß, sondern eine wirklich zeitgemäße Lösung ist" (Lomonosoff, 1924: 30).

Das Beispiel des Projektes der Thermo-Lokomotive hatte aber auch gezeigt, daß gegenüber den Bedingungen der Jahrhundertwende ein Einbruch in die Phalanx herrschender technischer Linien veränderte Durchsetzungs- und Absicherungspolitiken bedurfte. Für die dieselmotorischen Einsatzfelder war zwischenzeitlich die Bedeutung der öffentlichen Auftragsvergabe ganz allgemein gestiegen und stellte an die industriellen Akteure hohe Fähigkeiten zur schnellen Bündelung, organisatorischen Fassung und Darstellung der Interessen. Die preußische Eisenbahnverwaltung ließ vor einer grundlegenden Entscheidung über geeignete Antriebssysteme für die Stadt- und Vorstadtzüge gleich mehrere Verfahren testen. Die elektrotechnische Industrie reagierte hierauf mit der Gründung einer "Studiengesellschaft für elektrische Schnellbahnen", mit der die führenden Unternehmen zu einem Interessenkartell zusammengebunden werden konnten und die zur Demonstration der Leistungsfähigkeit moderner Elektrotriebfahrzeug den Bau und Betrieb eigener Versuchsstrecken projektierte. Als durch den Beginn des Ersten Weltkrieges die Entscheidung der Eisenbahnverwaltung auf die Zeit nach Kriegsende verschoben werden mußte, da zeigte sich die Elektroindustrie wohl formiert und gut organisiert zu einem erneuten Probetrieb bereit, der Zusammenschluß "Sulzer-Klose-Diesel", ohne industrielle Einbindung und einen zumindest provisorisch gebildeten "Stand der Technik", war zu diesem Zeitpunkt schon längst wieder auseinandergebrochen (vgl. Wittgen/Krznar, 1984: 305; vgl. Schlaepfer, 1947: 42).

Junkers

Während alle neu eingetretenen Mitglieder der "Diesel-Gruppe" ihre eigenständigen Versuchsarbeiten an Ölmaschinen abgebrochen oder doch zumindest zurückgestellt hatten, verfolgten nicht eingebundene Unternehmen und Ingenieure weiterhin auch andere Konstruktionslinien. Sollte der erreichte Konsolidierungskonsens der "Diesel-Gruppe" aber als stabiles Selektionsmuster auch für die weitere technische Arbeit erhalten bleiben, dann mußten alle hiervon abweichenden Projekte rigide abgewiesen mit dem Stigma eines falschen, unausführbaren Weges belegt werden. Gelang es nicht, ein konkurrierendes Verfahren einem exklusiven Nutzungsmilieu zuzuweisen, blieb für rivalisierende Lösungen nur Mißachtung, denn solche Verfahren waren auf Dauer in ihren chaotischen und unübersichtlichen Folgen für den technischen Alltagsbetrieb aus kognitiven und ökonomischen Gründen nicht handhabbar. Mit welchen harten Bandagen und welcher Rücksichtslosigkeit auch gegenüber prominente Figuren des Motorenbaus verfahren wurde, belegt der letzte erfolgsversprechende Versuch, den "MAN-Konsens" in seiner unumschränkten Herrschaft doch noch zu gefährden und abweichend von dem hier konstituierten Baumuster, ein weiteres technisches Verfahren für eine Hochdruckölmaschine zu plazieren. Gemeint ist der Versuch des Aachener Professors und späteren Luftfahrtpioniers Hugo Junkers das Dieselp Prinzip als Zweitakt-Verfahren und Direkteinspritzung mit einem Gegenkolben-Triebwerk zu verbinden und für stationäre Maschinen sowie als Schiffsantriebssystem, also den mittlerweile den Dieselmotoren "zustehenden" Verwendungsgebieten auszubilden.

Abb. 9: Schnitt durch einen Gegenkolben-Dieselmotor



Quelle: Conrad, 1928: 648

Ausgegraben wurde diese Konstruktionsform, die uns ja mehrmals begegnet ist, von der ebenfalls schon erwähnten "Versuchsstation für Gasmotoren von Öchelhäuser und Junkers" in Dessau. Bei der Suche nach Triebwerkskonstruktionen, die einen besseren Massenausgleich als das konventionelle Hubkolbenprinzip boten und für die konstruktive Unterstützung eines hohen thermischen Wirkungsgrades geeignet waren, stieß man auf den Prototyp eines Gegenkolbenmotors des Ingenieurs Kindermann, der 1877 von der Hannover'schen Maschinenbau AG schon einmal gebaut worden war. Die gegenläufig arbeitenden Kolbenpaare glichen die ansonsten sehr störende Hin- und Herbewegung konventioneller Kolbenmotoren sozusagen selbst aus und waren daher ohne schweres Fundament oder umständlichen und teuren Massenausgleich zu bauen. "Das Gegenkolbenprinzip scheint sich für Verbrennungskraftmaschinen besonders gut zu eignen", urteilte selbst der strenge Sass in seiner "Geschichte des Verbrennungsmotorenbaus". "Es ermöglicht ein großes, d.h. günstiges Verhältnis zwischen Kolbenweg und Zylinderdurchmesser, da sich die Hübe zweier Kolben addieren und erlaubt damit eine weitgehende Expansion der brennen-

den Gase, die einen niedrigen Kraftstoffverbrauch zur Folge hat. Die Gegenkolbenmaschine besitzt keine Zylinderdeckel und die Zylinder brauchen in der Dieselmotorenbauart nur je ein Brennstoff-, ein Anlaß- und ein Sicherheitsventil" (Sass, 1962: 310). Alle Eigenschaften also, die für die Industrie doch von großem Interesse hätten sein sollen, zumal diesem Prinzip keine patentrechtlichen Probleme im Wege standen. Und selbst, wenn man das vergleichsweise umständliche Triebwerksgestell, das aber in späteren Ausführungsformen von einer sehr einfachen Übersetzungsmechanik abgelöst werden konnte, in Rechnung stellt, blieben doch immer noch gravierende Vorteile übrig, die immerhin in der Dessauer Versuchsanstalt, allerdings losgelöst von dem sich gerade konstituierenden "Stand der Technik" für Großgasmaschinen, für den Bau einer Gegenkolben-Großgasmaschine auch eingesetzt wurden (vgl. Öchelhäuser, 1914: 118ff.). Obwohl die auf dem Gelände des Hörder Bergwerkvereins aufgestellte Maschine zufriedenstellend funktionierte und sogar vom gestrengen Alois Riedler bei seinem Rundumschlag über die Mißerfolge des Großgasmaschinenbaus gute Noten erhielt, verschwand diese Bauform mit dem Ende des Experiments auf der Hörder Hütte ein zweites Mal von der Bildfläche, da auch in der Dessauer Gasgesellschaft kein Interesse mehr an der Fortsetzung des Verbrennungsmotorenbaus bestand (vgl. Riedler, 1905: 62ff.). Erst der inzwischen zum Professor nach Aachen berufene Hugo Junkers griff bei einer erneuten Beschäftigung mit dem Motorenbau wieder auf das Gegenkolben-Triebwerk zurück, als er im Rahmen der neu gegründeten "Versuchsanstalt Prof. Junkers" daran ging, die Vorteile des Hochdruckverfahrens ohne Rücksicht auf die industriellen und technik-wissenschaftlichen Standards konstruktiv umzusetzen begann. "Es galt die viel verbreitete Ansicht zu widerlegen, beschrieb Junkers rückblickend die geäußerten Vorbehalte in der Community der Dieselmotorenbauer, "daß bei der von der Dieselmotorenmaschinen völlig abweichenden Art der Einspritzung, wie sie die Anwendung der Gegenkolben bedingt, einen brauchbaren Verbrennungsprozeß, d.h. eine vollkommene Verbrennung bei hohen mittleren Druck sich nicht verwirklichen ließ" (Junkers, 1912: 294). Zudem war es mit dieser Bauform möglich, die von der Technischen Thermodynamik empfohlene Brennraumgestaltung zur Erzielung hoher Wirkungsgrade erstmals konstruktiv umzusetzen, während bei den konventionellen Hubkolben-Dieselmotoren die Existenz der Ventile eine zerklüftete Gestalt-

tung mit hohen Wärmeverlusten mit sich brachte. Junkers ging damit nicht die konstruktiven Kompromisse ein wie Diesel, allerdings stellten seine Konstruktionsentwürfe so große Abweichungen von den üblichen Baumustern dar, daß eine Anschlußfähigkeit zu dem sich mittlerweile konstituierenden "herrschenden Stand der Technik" für Ölmotoren kaum mehr herstellbar war. Diesel versuchte ja von den ersten Realisierungsschritten an, renommierte Industrieunternehmen für sein Projekt einzuspannen und war auch während der Entwicklungsphase um die Stabilität der industriellen Interessenallianz sehr bemüht. Junkers hingegen operierte lieber aus einer industriellen Unabhängigkeit heraus und strebte auch keine Koalitionen mit anderen Projekten - beispielsweise mit dem zeitgleich verlaufenden Versuch zur Entwicklung eines Gegenkolben-Ölmotors der "Gesellschaft für Thermolokomotiven" - an.

In der 1908 in Aachen eingerichteten "Versuchsanstalt Prof. Junkers" konnten die Entwicklungsarbeiten daher auch nur aus Mitteln einer drei Jahre zuvor gegründeten Firma Junkers & Co" finanziert werden, die im Rahmen der Dessauer Gasmotorenforschung entstanden war und dort "abgefallene" Erfindungen wie gasbeheizte Badeöfen kommerziell ausbeutete (vgl. Schmitt 1986: 13). Ein erster, von einer kleinen Maschinenfabrik in Siegen-Dahlbruch gebauter Prototyp einer Hochdruckölmachine erreichte sofort sehr ansprechende Versuchsergebnisse, "ohne jedoch in Deutschland in den berufenen Industriekreisen das Verständnis zu finden", was für eine Kooperation notwendig gewesen wäre (Nägel, 1929: 19). "Und nun begann der Kampf um die Fabrikation und die wirtschaftliche Einführung", beschrieb später ein enger Mitarbeiter Junkers' die Probleme. "Ein schwerer, harter Kampf, bei dem Junkers zum ersten Male auf Großmächte stieß, die ihm noch wiederholt in den Weg treten sollten: das organisierte Großkapital und die tiefwurzelnde Unlust der meisten Menschen, kühnen Neuerungen unvoreingenommen gegenüberzutreten und ihnen freien Raum zu geben" (Blunk, 1940: 69). Junkers sah sich daher zur Gründung eines eigenen Fabrikationsunternehmens gezwungen (ein Weg, den Diesel immer vermieden hatte), "nachdem es ihm nicht gelungen war, andere deutsche Produzenten für seinen Ölmotor zu finden" (Schmitt, 1986: 17). Die in Magdeburg angesiedelten "Junkers-Motorenwerke" konnten später allerdings doch noch industrielle Kontakte knüpfen und eine fruchtbare Zusammenarbeit mit der engli-

schen Schiffswert "William Doxford & Sons" aufbauen, bei der nach dem Ersten Weltkrieg erfolgreich Gegenkolben-Dieselmotoren für Schiffsantriebe gefertigt wurden (vgl. Sass, 1962: 310).

Unter diesen Bedingungen verlief Junkers' erste fachöffentliche Präsentation des Motors auf der Jahrestagung der "Schiffbautechnischen Gesellschaft" 1912 weit weniger erfolgreich als Diesels erstes Auftreten in Kassel vor der VDI- Hauptversammlung. Während letzterer, gestützt durch technik-wissenschaftliche Gutachten renommierter Hochschullehrer und im Schoß von zwei führenden Maschinenbauanstalten die Versuchsergebnisse in einer Zeit vortragen konnte, als die bisherige Technikstruktur gerade vor einer Periode der Öffnung und Neuformierung stand, konnte Junkers weder auf Gutachten noch auf renommierte inländische Vertragspartner zurückgreifen und mußte darauf vertrauen, daß seine Ergebnisse pur, ohne institutionelle Stützungsmaßnahmen ihre Wirkungen erzielten. Zur Zeit seines Vortrages - und dies sollte sich als gewichtigerer Nachteil entpuppen - war aber die Reform der motortechnischen Angebotsstruktur gerade "abgeschlossen" und in eine Phase der Konsolidierung überführt worden, bei der in erster Linie die Sicherung des erreichten Konsenses im Vordergrund der Überlegungen stand. Als Junkers seine Ergebnisse und Konstruktionsvorschläge veröffentlichte, waren die grundlegenden Konstruktionsentscheidungen im Maschinenbau wie auch in der neu entstandenen Automobilindustrie schon gefallen.

Aber auch während dieser Einigungsprozesse hatte es Junkers verpaßt, seine Beiträge durch industrielle oder wissenschaftliche Unterstützung frühzeitig und unübersehbar geltend zu machen, um das Einschwenken der Maschinenbauunternehmen auf das Augsburger Baumuster zu behindern. Der von Junkers 1912 der Fachwelt präsentierte Gegenkolben-Motor wich jedenfalls in signifikanten Merkmalen erheblich von dem seit 1908 eingeleiteten Konsolidierungskonsens ab, zu dem sich die Zunft aber verhalten mußte, denn einmal existierte bereits ein erster "provisorischer Stand", der Kundenwünsche zu stimulieren drohte, die Kontakte zu englischen Industrieunternehmen waren bekannt, zudem galt Hugo Junkers allgemein als ein hervorragender Ingenieur und Konstrukteur, und das Gegenkolben-Triebwerk war als "technische Option" mit bemerkenswerten Entwicklungspotentialen bekannt. Auch die in solchen Fällen bewährte Strategie der Zuweisung auf ein noch nicht bestelltes oder reformbedürftiges Verwen-

dungsfeld schien diesmal ausgeschlossen, da Junkers sich diesen Versuchen widersetzte und genau auf die für den Dieselmotor reservierten Marktsegmente strebte. Die an den Vortrag anschließende Diskussion zeigte daher auch eine um rigide Fortführung und Sicherung der bereits getroffenen Entscheidungen bemühte Zunft der Dieselmotorenbauer, belegte aber auch, wie selbst vermeintlich harte technische Fakten zur Modelliermasse kognitiver und taktischer Kalküle werden. Oberingenieur Schwartz vom Werk Nürnberg der MAN eröffnete die Diskussion, äußerte sich zunächst durchaus lobend über das Fehlen der Ventile, die günstige Brennraumgestaltung und den guten Massenausgleich der Konstruktion, doch stünden seiner Einschätzung nach diesen Vorteilen "entschiedene Nachteile" gegenüber. Die "Kolben werden fressen", prognostizierte der Oberingenieur und er wollte auch im Fehlen vom Stopfbüchsen - eine besondere, aus dem Dampfmaschinenbau bekannte Dichtungstechnik, die später aussterben sollte - keine Vorzüge erkennen. "Es ist mit Sicherheit zu erwarten, daß selbst bei anfänglichem Dichthalten der vielen Kolbenringe, besonders bei einer liegenden Maschine, durch den andauernden Betrieb ein gewisser Verschleiß in den unteren Teilen von Zylinderwandung und Kolbenringen auftreten muß" (Schwartz, 1912: 323). Die Brennraumgestaltung, bei der Junkers-Maschine optimal gelöst, wurde von anderen gar in ihrer Bedeutung heruntergeschraubt. Ein Ingenieur aus Kassel besann sich auf "erste Kapazitäten der Gastechnik", daß nämlich die Abgabe der Wärme auf die Zylinderwandungen "einen viel geringeren Einfluß auf den Wirkungsgrad habe" als bisher angenommen wurde (Toussant, 1912: 328). Ein Hamburger Ingenieur stellte fest, daß "eine Schiffsölmaschine" ja sowieso "in erster Linie betriebssicher" zu sein habe und erst "in zweiter Linie" "Fragen der Ökonomie" eine Rolle zu spielen hätten (P. Rieppel, 1912: 323). Eine Argumentation, mit der sicherlich niemals auch nur ein Dieselmotor in ein Schiff eingebaut worden wäre. "Wenn ich das alles zusammenfasse", urteilte Paul Rieppel, Ingenieur bei Blom & Voss, "und mir gleichzeitig überlege, daß auf der einen Seite die große Industrie, gestützt auf die langjährigen Erfahrungen des Großgasmaschinenbaus, den Bau von doppeltwirkenden Ölmaschinen unternommen hat, daß auf der anderen Seite Herr Professor Junkers nur auf Grund weniger und, wie ich mit Bedauern konstatieren muß, von der Praxis abgelehnter Ausführungen von Gasmaschinen dann auf Grund zweier ver-

hältnismäßig kleiner Versuchsmaschinen den Bau aufnimmt, so glaube ich doch, daß hier zwei Parteien in ein Rennen gehen, in dem die Chancen für beide zunächst nicht ganz gleich sein dürften" (P. Rieppel, 1912: 323).

Damit war der "Teufelskreis" für Geneseprojekte, aus dem auch das Junkers-Projekt nicht herauskommen sollte, angesprochen: kein Praxisnachweis, keine Anerkennung, keine Aufnahme in den "herrschenden Stand der Technik" - keine Aufnahme in den "herrschenden Stand der Technik", keine Anerkennung, keine industriellen Kooperationen und kein Praxisnachweis. Die Diesel-Gemeinde weigerte sich, die mühsam abgestimmten und gemeinsam getragenen Entscheidungen auf ein bestimmtes System wieder umzuwerfen oder auch nur zu revidieren. Man war in dieser Zeit angesichts der großen Unsicherheit um das Wesen der motorischen Verbrennung froh um jede stabile Anordnung, und der konventionelle Hubkolbenmotor mit Pleuel und Kurbelwelle gehörte eben dazu, auch wenn in einem Gegenkolben-Triebwerk die größere technische Potentialität stecken dürfte. "Zu viel Gestänge" oder "lebhaftes Bedenken" gegenüber dem "turmartigen Aufbau" der Maschine oder gar die Bezeichnung "Kommodenschubkasten" waren Ausdrücke des Unbehagen, die einer der wenigen Befürworter auf der Versammlung auf den Punkt brachte: "Wir Ingenieure in der Praxis sind nur allzuleicht geneigt, eine Konstruktion wegen äußerlicher Unbequemlichkeit zu verurteilen (Saiuberlich, 1912: 329). "Eigentlich bedeuten Schönheit und Wirksamkeit, im weitesten Sinne ausgelegt, genau dasselbe", gab der "Papst" des Verbrennungsmotorenbaus, der Engländer Ricardo einige Jahre später als Losung aus. "Die Prüfung eines beliebigen Entwurfes vom ästhetischen Standpunkt ist oft ein ebenso zuverlässiger Wegweiser wie die rechnerische Untersuchung des Entwurfes auf seine mechanischen Eigenschaften" (Ricardo, 1932: 160).

Junkers verzichtete schließlich auf Maßnahmen, um diesen Einigungsprozeß doch noch zu seinen Gunsten zu beeinflussen. Später, wir werden im nächsten Kapitel darauf zurückkommen, schaffte er durch die enge Verbindung der Motorenfabrikation mit der florierenden Flugzeugfabrikation ("Ju 52") die unternehmerischen Voraussetzungen, um für einige Jahre einen "faktischen Stand" für Gegenkolben-Dieselmotoren zu schaffen, der dank herausragender technischer Qualitäten für eine kurze Zeitspanne auch Aussichten auf eine

Absicherung als "herrschender Stand der Technik" für Flugzeugmotoren im Einsatz bei Langstreckenflügen hatte, aber in den entscheidenden Momenten wieder an fehlenden machtpolitischen Absicherungsmaßnahmen scheitern sollte.

Der Dieselmotor als Kriegsgewinnler

Junkers' Versuchen, noch vor dem Ersten Weltkrieg in den neu formierten Stand der Technik einzudringen, wurde schließlich durch die vom Schwermaschinenbau maßgeblich beeinflussten rüstungspolitischen Entscheidungen ein Ende gesetzt. Die von der MAN getroffenen "Schließungsentscheidungen" und der sich in diesem Konsolidierungskonsens repräsentierte Erkenntnisfortschritt wurde von den Reichsbehörden als verbindliches Baumuster für alle Auftragnehmer festgeschrieben. Andere Optionen wie der Gegenkolben-Motor, ob technisch besser oder nicht, waren damit für lange Zeit "vom Tisch" (vgl. Sass, 1962: 349; 368).

Internationale Verbreitung von Dieselmotoren im Jahre 1913
(nach PS Einheiten):

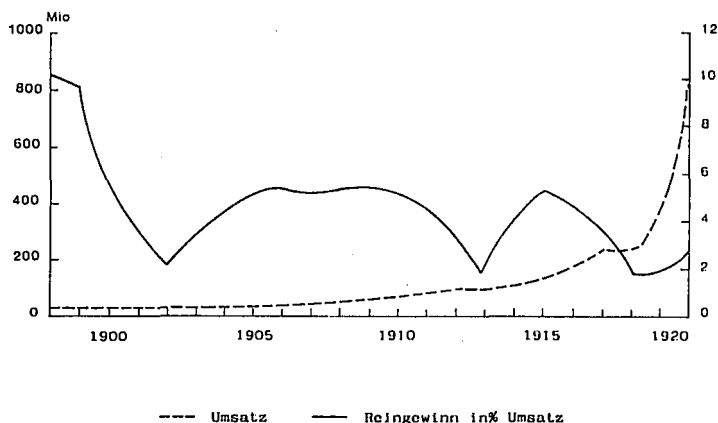
USA :	4,8 %
Belgien:	9,4 %
Dänemark:	1,2 %
Deutschland:	45,0 %
Frankreich:	1,0 %
Großbritannien:	3,7 %
Rußland:	8,5 %
Schweiz:	12,8 %

(zit. nach Diesel/Strössner, 1950: 142)

Nach Kriegsbeginn bedauerte die Geschäftsleitung der MAN zunächst zwar noch den Verlust des mit viel Mühe aufgebauten internationalen Vertretungsnetzes, aber bereits kurze Zeit später fiel die Entscheidung, "rückhaltlos für die Herstellung von Kriegsmaterial" zu produzieren (Bitterauf, 1924: 150). "Weitaus die größte Bedeutung unter allen Zweigen der MAN kam (dabei) im Kriege dem Dieselmotorenbau

zu": Von den 89.000 PS, die man bis 1920 produzieren sollte, wurden alleine über 50.000 PS als Schiffsmotoren geliefert. Die militärische Bedeutung dieses Antriebssystems spiegelte sich auch im Beschluß der Botschafterkonferenz der alliierten Siegermächte vom September 1920 wider, den Neubau schnellaufender Dieselmotoren ganz zu verbieten, der bei der deutschen Industrie selbstverständlich heftigen Wirbel auslöste (Dubbel, 1921: 1921: 47; Bitterauf, 1924: 165; 200; 166).

Abb. 10: Finanzielle Entwicklung der MAN (1898-1920)



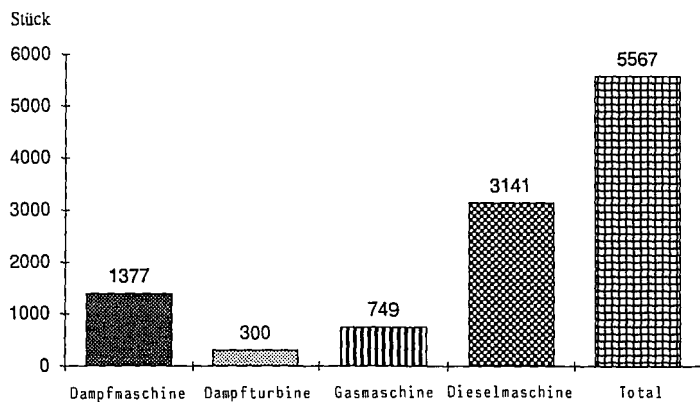
berechnet nach Eibert, 1979: 328ff.

Aber nicht nur die MAN war mit der Produktion und Lizenzvergabe von Motoren gut im Geschäft. Charakteristisch für die allgemein sehr günstige Situation der Maschinen- und Motorenindustrie waren die Ausführungen von Ernst Berge, Generaldirektor der Daimler-Motoren AG, der schon 1915 sehr erfreut feststellen konnte, "daß die Mercedes-Werke für den Staat fast die gleiche Wichtigkeit haben wie eine Waffenfabrik. Davon, den Betrieb nur aufrechtzuerhalten, konnte keine Rede mehr sein", im Gegenteil - so führte der Generaldirektor weiter aus -, "jetzt gings erst recht mit Volldampf voraus, um alle Kräfte bis zur Höchstleistung anzuspannen und soviel an Automobilen, Flugmotoren usw. zu erzeugen, als überhaupt nur möglich war".

Während vorher das Auto in breiten gesellschaftlichen Kreisen lediglich als Sport- oder Repräsentation Vehikel betrachtet wurde, taten sich im Lauf des Krieges ganz neue Verwendungsmöglichkeiten auf. "Ich glaube, es gibt heute kaum einen zivilisierten Menschen mehr, der nicht an das Automobil glaubt. Durch diesen Krieg ist geradezu die Unentbehrlichkeit des Automobils aller Welt in einer so überzeugenden Weise vor Augen geführt worden, daß selbst aus dem ärglichen Auto-Saulus eine Auto-Paulus geworden ist", freute sich Berge schon auf die lukrativen Nachkriegsgeschäfte (zit. nach Roth/Schmid, 1987: 30; 31/32).

Die im Rahmen der imperialistischen Politik des Deutschen Reiches forcierte Aufrüstungspolitik und der von der Reichsregierung willentlich herbeigeführte Weltkrieg trug damit zur Stabilisierung der neuformierten technischen Strukturen bei. Die im "herrschenden Stand der Technik" zusammengefaßten und auf die einzelnen Verwendungskontexte bezogenen Motortechniken wurden durch die Kriegsentwicklung festgeschrieben, das Wettrennen um Verschiebungen und die Erschließung und Belegung neuer Anwendungsfelder einstweilen neutralisiert. Neue Forschungswege, die eine destabilisierende Auswirkung auf die bereits erreichten Konsolidierungsentscheidungen hätten befürchten lassen, wie z.B. ein Fahrzeug-Dieselmotor oder der Gegen-Kolbenmotor, blieben in den Beschaffungsaufträgen unberücksichtigt. Die ausgewählten motortechnischen Verfahren wurden aber in kürzester Zeit auf ein so hohes fertigungstechnisches Niveau katapultiert und durch den großen Produktionsausstoß so stark multipliziert, daß der damit gewonnene Erfahrungs-, Erkenntnis- und Vertrauensvorsprung vor den ehemals konkurrierenden Konstruktionen nach Ende des Krieges kaum mehr aufzuholen war. Wir haben eine Entwicklung durchgemacht, "wie vielleicht in 15-20 Friedensjahren", resümierte ein Entwicklungsingenieur der Kieler Germaniawerft 1920 rückblickend die Kriegszeit und kündigte an, diese "Erfahrungen" auch "restlos zu verwerten" (Alt, 1920: 420).

Abb. 11: MAN-Kraftmaschinenbau zwischen 1898 und 1920



Quelle: Eibert, 1979: 328ff.

9. Reformen auf sicherem Grund: Ausweitung der Einsatzfelder des dieselmotorischen Antriebs im formierten "Stand der Technik" (1918-1988)

Wir sind mit der Skizzierung der Entwicklung bis zum Ende des Ersten Weltkrieges an einem Punkt angekommen, wo die Institutionalisierung des Dieselmotors als ortsfeste Kraftmaschine und Schiffsmotor gelungen war. Das Antriebssystem konnte für diese Verwendungsgebiete als "herrschender Stand der Technik" verankert werden und, gemäß unserer im ersten Kapitel vorgeschlagenen Definition, die Genese des Dieselmotors damit als abgeschlossen gelten. Freilich bedeutet eine erfolgreiche Genese nicht, daß damit auch die weitere Entwicklung beendet wäre, sondern - und das macht die analytische Bedeutung eines solchen Begriffs ja erst aus - in der "Post-Genesephase" die Strukturen und Bahnen der Wissenserzeugung klarer, eindeutiger und mächtiger und möglicherweise gar irreversibel formiert sind. Stand in den letzten drei Kapiteln die rekonstruktive Darstellung des Einbruchs und der Absicherung eines neuen motortechnischen Verfahrens im Vordergrund, werden wir uns in diesem Abschnitt den Fragen nach der Bedeutung dieser Prägung widmen. Denn die im Entstehungsprozeß eingeschriebenen technischen Eigenschaften und Konfiguration des Motors bilden durch die Ausdifferenzierung der Branchenformationen und die darin eingebetteten Institutionalisierungsprozesse der technischen Wissensbestände auch die Strukturen für die weitere technische Arbeit. Der rigide Schließungskurs der MAN, der entgegen den Plänen Diesels keine universelle Einsatzfähigkeit des neuen Motor anstrebte, sondern auf die Besetzung bisheriger Marktsegmente zielte, erleichterte dabei die Bildung eines internen und externen Konsolidierungskonsenses und beförderte die Konstituierung des Antriebssystems als ein für bestimmte Nutzungsfelder ausgewiesener "herrschender Stand der Technik". Damit war der Dieselmotor neben den sich ebenfalls stabilisierenden Antriebstechniken in eine feste motortechnische Struktur eingebunden und über die Zuteilung exklusiver Verwendungsgebiete abgesichert. Inwieweit damit aber überhaupt noch technische Reformen möglich waren und die festgeschriebenen Zuständigkeitsbereiche aufgebrochen werden konnten, wird Gegenstand der folgenden Erörterungen sein.

Fragen zu Entwicklungsoptionen, Verwendungsperspektiven und Konstruktionsmerkmalen, die schon während der Augsburger Genseperiode auf der Tagesordnung gestanden hatten, damals aber dem "Schließungs- und Konsolidierungskurs" geopfert wurden, standen nun, nach Ende des Krieges, erneut zur Debatte. Mit dem Wegfall der staatlichen Rüstungsaufträge war ein äußerer Zwang zum Einschwenken auf die Augsburger Konstruktionslinie gefallen, zudem hatten sich die wirtschaftlichen Bedingungen verändert. Insbesondere war durch die Gebietsabtrennungen die Versorgung mit Rohstoffen und Energie gefährdet und löste erneut eine Suche nach anderen Wegen der Energieerzeugung aus. Der mittlerweile ausgereifte, weil betriebssichere Entwicklungsstand des Dieselmotors in seiner Grundbauweise ließ aber auch Fragen nach einer möglichen Ausweitung der Verwendungsfelder des dieselmotorischen Antriebssystems entstehen. "Unbegrenzt ist ... das Feld der Anwendungen des Dieselmotors geworden", verkündete der Augsburger Entwicklungschef Imanuel Lauster auf der "Fachsitzung Dieselmotoren" anlässlich einer VDI-Hauptversammlung in Augsburg. Auch andere Motorenhersteller sahen "ohne Zweifel", "daß der Rohölmotor eine derartige Zukunft haben wird, daß eine Firma, welche Verbrennungsmotoren baut, nicht achtlos an ihm vorüber gehen darf", wie es in einer internen Studie der Maybach Motorwerke formuliert wurde (zit. nach Zima, 1987: 29). Lauster ging in seinem Optimismus so weit, zwei, während der Augsburger Periode massiv als Bedrohung des Konsolidierungskonsenses bekämpfte, Entwicklungslinien wieder aufzugreifen und als zukunftsweisende Motorkonzepte anzupreisen: den Verbundmotor (als Antrieb für Lokomotiven) und den Kohlenstaubmotor, dem insbesondere beim "Versuch, minderwertige flüssige und feste Brennstoffe" zu verwerten, nun günstige Entwicklungsaussichten eingeräumt werden sollten (Lauster, 1925: 33). Aber wie Rudolf Diesel schon 1913 richtig vermutete, daß man hierfür ganz neue Wege hätte beschreiten müssen, sollten diese Projekte an der mangelnden Bereitschaft, die geronnenen Selektionsentscheidungen wieder aufzubrechen und zurückzuschreiben, erneut scheitern. Auch andere versiegelte Konstruktionsentscheidungen brachen unter den gewandelten Umständen wieder auf: Der Dieselmotor der Augsburger Bauweise funktionierte nur mit Kompressor und einem ganzen System von Hilfsaggregaten. Bei Überlegungen, den Konstruktionsaufbau einfacher und vor allen Din-

gen auch billiger zu gestalten, erinnerten sich viele der Maschinenbauanstalten an ihre vor dem Kriege verlassenen Entwicklungslinien, ohne daß es aber auch hier zu einer Renaissance stillgelegter Linien kommen konnte.

Der Frage nach der Prägekraft des Entstehungsmilieus kann dabei besonders am Beispiel der Entwicklung des Fahrzeug-Dieselmotors nachgegangen werden. Dessen Erzeugung war einmal am rigiden Schließungskurs der Maschinenbaufabrik Augsburg und der mangelnden Berücksichtigung im Konstituierungsprozeß eines "herrschenden Standes" automobiler Antriebssysteme gescheitert und die Grenzen für einen nachträglichen "Transfer" waren zwischenzeitlich eher nun noch schärfer gezogen. Die "herrschende Lehre" im Dieselmotorenbau konnte für mobile Verwendungszwecke über den erreichten Wissensstand hinaus noch keine konsolidierten Angebote machen, und die Vorbehalte der Automobilkonstrukteure gegenüber dem aus dem Schwermaschinenbau stammenden Antriebsverfahren blieben bestehen. Der benzinbetriebene Viertakt-Ottomotor mit klassischem Hubkolbentriebwerk, mittlerweile durch den Kriegeinsatz im industriellen und technik-wissenschaftlichen Kontext fest etabliert, nahm den "revolutionären" Antriebskonzepten auf der Basis des Dieselbetriebs, wie sie Rudolf Diesel noch um die Jahrhundertwende skizziert hatte, den notwendigen Entwicklungsraum. Die Promotoren und Akteure, die, um eine weitere Expansion des dieselmotorischen Antriebssystems bemüht, auf die Entwicklung des Fahrzeug-Dieselmotors zurückgriffen, orientierten sich bei den ersten Planungen keineswegs an den früheren Konstruktionsformen, sondern wählten erneut die Anlehnung an den sicheren "herrschenden Stand" der Automobiltechnik, adaptieren die dort herrschenden Selektionskriterien und Referenzsysteme für die eigene Konstruktionsarbeit und verbauten sich damit die Chance für eine selbstdefinierte, eigenständige technische Perspektive. Der Kernbereich automobiler Antriebstechnik, der Personenkraftwagen, blieb für den Fahrzeug-Dieselmotor hermetisch abgeriegelt, und in Randbereiche wie dem Schwerlastverkehr oder landwirtschaftlicher Nutzungsformen war nur unter Preisgabe der dieseltypischen Reformpotentiale einzudringen.

Wir gehen zunächst auf Maßnahmen zur Sicherung des industriellen Akteurstatus verschiedener Maschinen- und Motorenbauunternehmen

ein und zeigen, daß die Bedingungen zur Mobilisierung von Ressourcen und Definitionsmacht immer aufwendiger werden und nur durch wirtschaftliche Konzentrationsmaßnahmen zu gewährleisten sind. Selbst für vergleichsweise große Firmen wie die MAN und die Gasmotorenfabrik Deutz bedeutete die Sicherung der technischen Innovationsfähigkeit den formalen Verlust der unternehmerischen Selbstständigkeit, die sich bei beiden Unternehmen nicht nachteilig auf die faktische Möglichkeit der Gestaltung technischer Entwicklungen auswirkte. Die Daimler-Motoren-AG hingegen wurde bald nach dem Ersten Weltkrieg zusammen mit Benz & Cie unter der Führung des Mehrheitsaktionärs Deutsche Bank zu einem branchenübergreifenden Konzern fusioniert, bei dem die Aktienbesitzer auch den industriellen und technischen Kurs bestimmten.

Die Branchenstrukturen blieben als institutionelle Rahmenbedingungen für die Konstituierung eines "Standes der Technik" erhalten, die sich jeweils im Maschinen- sowie im Automobilbereich herausbildeten. Ein Konsolidierungskonsens repräsentierte auch weiterhin den ökonomischen, kognitiven und sozialen Rahmen der technischen Arbeit. Wer sich aus der Schutzzzone zugewiesener Verwendungsmilieus bewegte, wurde mit Mißachtung bestraft, selbst wenn es sich um hervorragende technische Ergebnisse renommierter Firmen wie Bosch und Junkers handelte.

Auch die Suche nach neuen technischen Konzepten, insbesondere zum schnellaufenden Dieselmotor, wurde in den 20er Jahren schon bald wieder in eine Periode der Standardisierung überführt, bei der ein wohlformierter Technikstand den Rahmen für die erneute Bildung eines Konsolidierungskonsenses setzte. Stabilisierende Beiträge leistete hierbei neben der Zulieferindustrie diesmal vor allen Dingen die technik-wissenschaftliche Forschung, die bei der Frage der Brennraumgestaltung mehr und mehr die Definitionsmacht übernahm. Die komplizierte und teure Meß- und Analysetechnik zur Erfassung, Interpretation und konstruktiven Umsetzung der innermotorischen Verbrennungsprozesse, auf wenige Industrieunternehmen, Hochschulinstitute und Forschungslaboratorien konzentriert, war auf die Stabilität konstruktiver Grundentscheidungen angewiesen. Bildeten zum Ende des 19. Jahrhunderts die verschiedenen motortechnischen Systeme den Gegenstand technik-wissenschaftlicher Erörterungen - noch Rudolf Diesel konnte die führenden Vertreter der Zunft in sein Unter-

stützer-Netzwerk gegen die herrschende technische Linie einspannen-, setzte man mittlerweile ganz auf die Verteidigung, die Bezugsebene verschob sich sozusagen vom "System- zum Apparate-Paradigma".

Wiederum rüstungspolitische Offerten waren ausschlaggebend dafür, daß der Fahrzeug-Dieselmotor doch noch die ihm zugewiesenen "Randbereiche" überspringen und 1936 erstmals in einem Pkw serienmäßig angeboten werden konnte und damit zumindest ein kleines Reivirement im wohl strukturierten Stand automobiler Antriebssysteme auslöste. Der Daimler-Benz-Konzern zog den Fahrzeug-Dieselmotor als "Trumpfkarte" im beginnenden Volkswagenprojekt der nationalsozialistischen Aufrüstung sozusagen aus dem Ärmel, um die in fertigungstechnischen Voraussetzungen überlegenen Konkurrenten bei der Vergabe von Rüstungsaufträgen auszustechen. Wenn dieser Versuch auch scheiterte, blieb der Dieselmotor auf die weitere Zukunft als ein Pkw-Antriebssystem präsent und bot prinzipiell mögliche Bezugspunkte für eine vollständige Etablierung im "herrschenden Stand der Technik". Aber schon wenige Jahre nach Ende des Zweiten Weltkrieges hatte sich der herrschende Stand in dieser Frage wieder restrukturiert, und der dieselmotorische Antrieb blieb als "unattraktive", weil "genügsame" und "anspruchslöse" Technik weiterhin nur in den Randbereichen präsent. Als nach der "Ölkrise" 1973 die Automobilindustrie unter Zugzwang stand, auf die veränderten Bedingungen auch mit technischen Reformen zu reagieren, diente der Dieselmotor als Alibi projekt. Es sollte sich aber zeigen, daß mit der Anerkennung des ottomotorischen Referenzrahmens und dem Verzicht auf eine eigenständige Entwicklungsperspektive für den Fahrzeug-Dieselmotor, eine Aktivierung des technischen Reformpotentials begrenzt blieb.

Sicherungsarbeiten in der Maschinen- und Motorenindustrie an der technischen Definitionsmacht

Der Generaldirektor der MAN, Anton Rieppel, zeigte sich über die Veränderungen der ökonomisch-politischen Bedingungen der technischen Arbeit im Maschinenbau nach dem Ende des Ersten Weltkrieges recht gut orientiert. Der traditionsreichen Maschinenbauanstalt waren zwar verkaufstechnische und fabrikorganisatorische Reformen gelungen, wobei durch die radikale Umstellung auf Rüstungsgüter auch die bisher so dominante "Meisterherrschaft" mehr und mehr

durch tayloristische Planungs- und Organisationsprinzipien ersetzt wurde. Doch der rasante Aufstieg der Elektrotechnik und die ungebrochene Herrschaft der Schwerindustrie zeigten unmißverständlich die Bedeutung moderner Massenfabricationsmethoden, guter politischer Lobbyarbeit und einer engen Verbindung zum Finanzkapital an. "Es gehört nicht viel Sehergabe dazu", prognostizierte Rieppel 1920, daß die großen Montankonzerne in "absehbarer Zeit den Hauptteil ihrer durch den Friedensvertrag verminderten Eisen- und Stahlerzeugung im eigenen Interesse zur Verfeinerung in eigenen Fabrikationsstätten untergebracht haben werden. Verfeinerungsfabriken, wie große Maschinenfabriken mit hohem Materialbedarf, wie z.B. die MAN, hängen dann mit ihren Rohmaterialbedürfnissen in der Luft" (Rieppel, zit. nach E. Diesel, 1965: 37). Die Aktien des Unternehmens waren bislang nur auf eine kleine Zahl von Anteilseignern begrenzt gewesen und auch nur in Augsburg gehandelt worden. Erst 1913 in der Berliner Börse eingeführt, "konnte sich kein fester Käuferkreis" bilden (Bitterauf, 1924: 150), die Gefahr einer "feindlichen" Übernahme drohte. Unter der Leitung von Rieppel begannen daher Sondierungsverhandlungen mit dem Stinneskonzern, der Rheinstahl AG sowie dem Konzern der Gutehoffnungshütte (GHH), einen Zugang zu den Rohstoffkartellen zu sichern und in einem großen Konzernverbund ökonomisch zu überleben, ohne dabei die selbständige unternehmerische Führung aufgeben zu müssen (vgl. Büchner, 1940: 153f.). Während Rieppel für Stinnes optierte, entschlossen sich die Vertreter der Aktienmehrheit unter Führung von Theodor Cramer-Klett jr., der Rieppel ja schon zu den Fusionsverhandlungen mit Augsburg gedrängt hatte, aber zum Verkauf der Mehrheitsanteile an die GHH (Bitterauf, 1924: 192; Mauersberg, 1966: 356f.). Der Montan- und Maschinenbaukonzern hatte nach der Gebietsabtrennung von Elsaß-Lothringen vor allem in Süddeutschland nach neuen Beteiligungen Umschau gehalten und 1919 schon die "Eisenwerke Nürnberg AG", die "Maschinenfabrik Eßlingen", die "L.A. Riedinger Maschinen- und Bronzewarenfabrik" sowie eine ganze Reihe weiterer mittelständiger Unternehmen mehrheitlich übernommen (Herchenröder/Schäfer/Zapp, 1953: 125). In den folgenden Jahren sollte sich diese umstrittene Entscheidung der Übernahme durch die GHH als genialer Schachzug der MAN zur Sicherung der technischen Definitionsmacht erweisen.

Auch andere Unternehmen des Maschinen- und Motorenbaus standen vor ähnlichen Problemen der Sicherung unternehmerischer Entscheidungsfreiräume. Unter der Regie von Peter Klöckner, der nach den langen Jahren der Agonie die unternehmerische Führungskraft repräsentierte (Herchenröder/Schäfer/Zapp, 1953: 172), wandelte sich die Gasmotorenfabrik Deutz über die Stationen "Motorenfabrik Deutz AG" (nach der Übernahme der Motorenfabrik Oberursel 1920), der "Humboldt-Deutzmotoren AG" (nach der Vereinigung mit der Kölner Maschinenbauanstalt Humboldt sowie der C.D. Magirus, Ulm, 1930 bzw. 1936) schließlich 1938 mittels eines Organvertrages zur "Klöckner-Humboldt-Deutz AG" und war damit wie der Konkurrent MAN in einen Montankonzern integriert (vgl. Goldbeck, 1964: 183f.; 149ff.).

Bei der Daimler-Motoren AG bediente sich nach dem Ausscheiden der beiden Gründerfiguren Daimler und Maybach der Mehrheitsaktionär Deutsche Bank mit Hilfe eines sogenannten "Präsidialausschuß" einer ganz besonderen Methode der Machtausübung. Dieses dem Aufsichtsratsvorsitzenden direkt unterstellte Gremium koordinierte die Tätigkeit eines "Arbeitsausschusses" sowie eines "Finanzausschusses"; im Finanzausschuß waren keine Vorstandsmitglieder vertreten, während in den beiden anderen Ausschüssen zwar Vorstandsmitglieder vertreten waren, aber in der Minderheit blieben. "Alle Beschlüsse von größerer Tragweite, also Großinvestitionen, Betriebserweiterungen, Belegschaftsprobleme, Beteiligungen, Kredite und langfristige Darlehen, aber auch Umstellungen der Produktionspalette und die Besetzung der Vorstandsposten, faßten der Präsidial- bzw. der Arbeitsausschuß in letzter Instanz". Dies führte dazu, daß bei der Daimler-Motoren AG - und nach der Fusion 1926 auch bei der Daimler-Benz AG - der Aufsichtsrat und nicht der Vorstand die Unternehmenspolitik auf allen strategischen Gebieten bestimmte (Roth, 1987: 28). Bei dem unter der Regie der Deutschen Bank neu formierten Automobil- und Motorenunternehmen sollte sich in der Folgezeit zeigen, daß in Fragen der Bereitstellung von Ressourcen und Definitionsmacht für die technischen Arbeiten nunmehr - und ganz im Gegensatz zur Situation der Jahrhundertwende - vielmehr "übergeordnete" strukturpolitische, sprich rüstungspolitische Interessen der Deutschen Bank bestimmend sein sollten. Mit Georg v. Stauss wurde 1920 ein Mann in den Daimler Aufsichtsrat berufen, dessen Aufgabe darin

bestand, die Kontrolle der Deutschen Bank über die deutsche Fahrzeug-, Motoren- und Flugzeugindustrie auszubauen, und der zu diesem Zweck weitere Aufsichtsratsposten u.a. bei der Bayerischen Motorenwerke AG und der Deutschen Luft-Hansa ausübte. "In der Kraftfahrzeug- und Motorenindustrie konzentrierte sich die Deutsche Bank darauf, ein industrielles Zentrum zu beherrschen, das die Kriegserfahrungen im Bereich der Großmotoren- und Nutzfahrzeugproduktion weiterentwickelte und sich in der Übergangszeit mit Produktionsprogrammen im kommerziellen Fahrzeugsektor über Wasser hielt. Die Deutsche Bank zeigte deshalb gerade bei Daimler und Benz kein Interesse, investitionsträchtige Umstellungsexperimente zu finanzieren, die zu viele Ressourcen an einen langfristigen Friedenszyklus banden und ihr Konzept zur politischen, militärischen und ökonomisch abgestimmten Rückeroberung der Weltgeltung gefährdeten" (Roth, 1987: 39; vgl. Mönnich, 1989: 137).

Die langfristigen Pläne der Deutschen Bank sollten beispielsweise für den Daimler-Benz Konzern keinen Einstieg in das Projekt eines Kleinwagens vorsehen, obwohl Ende der 20er Jahre Absatzprobleme der teuren Mercedes-Automobile immer mehr die bisherige Unternehmensstrategie, ausschließlich Fahrzeuge ab der gehobenen Mittelklasse anzubieten, in Frage stellte und im Unternehmen - unter der Federführung von F. Porsche - die Pläne zum Bau eines solchen "Volkswagens" längst in der Schublade lagen. Das Unternehmen vereinte als einziger Anbieter in seiner Produktpalette von schweren Schiffsmaschinen bis zu hochtourigen Flugzeugmotoren, von Motoren für den Schwerlastverkehr bis zu Rennmaschinen, nahezu das ganze Einsatzspektrum von Verbrennungsmotoren und hätte so über die Voraussetzungen verfügt, mit der Bildung eines eigenen betriebsinternen "faktischen Standes der Technik" bisherige "Branchenmilieus" in den Fragen der technischen Einsatzkonzepte aufzulösen und die überbetrieblichen Hindernisse für einen "Technologie-Sprung" aufzulösen (vgl. Roth/Schmid, 1987: 65f; Porsche/Molter, 1989: 44ff.). So aber sollte auch in den 20er und 30er Jahren für jedes motorische Verwendungsgebiet eindeutig die Frage der technischen Konzepte geklärt, durch Verankerung in unterschiedliche Branchen stabilisiert und durch die Pflege gegenseitiger Vorbehalte noch zusätzlich verstärkt sein.

Nachkriegsphase: Neue Optionen und alte Grenzziehungen

Ogleich die Karten für die Besetzung der verschiedenen motortechnischen Verwendungsgebiete unmittelbar nach Ende des Ersten Weltkrieges neu gemischt schienen, blieben so mit der unternehmerischen Konsolidierung der tragenden Akteure die institutionellen Stützen des jeweils "herrschenden Standes der Technik" und damit auch die Perzeptionsmuster existent, folglich die Räume für technische Neuentwicklungen eng, obwohl die veränderten ökonomischen und politischen Bedingungen durchaus für eine grundlegende Reform der bisherigen Entwicklungs- und Einsatzkonzepte sprachen. "Die wirtschaftliche Not der Nachkriegszeit zwang den deutschen Dieselmotorenbau, erneut die Lösung der Aufgabe in Angriff zu nehmen, eine raschlaufende Fahrzeugmaschine auf den Markt zu bringen" (Neumann, 1929: 11), faßte rückblickend ein Ingenieur die damaligen Aufgabenstellungen zusammen. Der im Vergleich zu allen anderen Wärmekraftmaschinen sehr gute Wirkungsgrad der Dieselmotoren ließ bei einigen Entwicklungsingenieuren und Hochschulprofessoren - Rudolf Diesel selbst lebte zu dieser Zeit schon nicht mehr, er hatte 1913 wohl vorwiegend aus finanziellen Gründen Selbstmord begonnen - die Idee nach einer Ausweitung der bisherigen Einsatzfelder, vor allem in Richtung mobiler Verwendungsgebiete, entstehen (vgl. Aufsätze in: Dieselmotoren I-IV, 1923-1929). Mit solchen Expansionsbestrebungen drohte aber der bisher so eng definierte - und daher in der Entwicklung so erfolgreiche - Konsolidierungskonsens im Dieselmotorenbau zu zerbrechen, ebenso wie die bisherige Zuteilung der verschiedenen Antriebssysteme auf die einzelnen Anwendungsfelder in Gefahr geriet und erneut industrielle und technik-wissenschaftliche Sicherungsmaßnahmen provozierte. Als 1922 der stationäre Motorenbau aus der ältesten Automobilfahrzeugfabrik Benz & Cie ausgelagert und als "Motorenwerke Mannheim AG, vormals Benz, Abteilung stationärer Motorenbau" in ein eigenes Unternehmen überführt wurde, mußte man sich in der neugewonnenen unternehmerischen Freiheit vertraglich dazu verpflichten, beim möglichen Bau eines Fahrzeug-Dieselmotors nicht unter ein Leistungsgewicht von 25 kg/PS zu gehen, um so von vornherein ein Konkurrenzverhältnis zwischen Otto- und Dieselantrieb zu vermeiden (vgl. Seherr-Thoss, 1979: 117). Diese Klausel entsprach durchaus auch den Interessen der Mannheimer Mo-

torenwerke. Der Entwicklungsleiter Prosper L'Orange, der schon bei der Deutzer Gasmotorenfabrik erfolgreich mit verschiedenen Vorkammertypen für Dieselmotoren experimentiert hatte, bremste nach Kriegsende selbst die Entwicklung an kleinen, schnellaufenden Dieselmotoren, da er befürchten mußte, daß bei einem Erfolg die Nachfrage nach Fahrzeug-Dieselmotoren auch den Preis für Dieselkraftstoff in die Höhe treiben würde und damit den eigentlichen Geschäftszweig des Unternehmens, den stationären Dieselmotorenbau, vor große Absatzprobleme stellen könnte (vgl. Barthel/Lingnau, 1986: 92).

Aber auch Vertreter und Verwalter anderer Einsatzgebiete waren um deutliche Grenzziehungen bemüht. In der "Automobil-Flugwelt" hieß es 1921 in einem Übersichtsartikel zu zukünftigen Entwicklungstendenzen im Motorenbau, daß sich das Dieselverfahren "bekanntlich nicht für schnellaufende Motoren mit kleinen Abmessungen, z.B. für Fahrzeugmotoren" eignen würde - Aussagen, die keinesfalls selten waren, sondern vielmehr die Mehrheitsmeinung im Diskurs des jeweils von der Dieselexpansion bedrohten "herrschenden Standes der Technik darstellten" (zit. nach E. Diesel, 1955: 40). In einem Aufsatz, der Einsatzmöglichkeiten eines Fahrzeug-Dieselmotors in Kraftwagen erörterte, konnte man noch Ende der 20er Jahre lesen, daß die weitere Verbreitung vor allen Dingen dadurch erschwert werde, weil "der Auspuff des Dieselmotors einen schärferen Geruch verbreitet als der des Benzinmotors". Eine Eigenschaft, die offensichtlich als Makel zur besseren Illustration der Rollendefinition willkommen war. "Überall dort, wo diese Geruchsbildung keine nennenswerte Rolle spielt, z.B. bei Überlandstrecken, eröffnet sich dem Dieselmotor ein weites Verwendungsgebiet, vor allem bei Ferntransporten großer Ladungen, da sich in diesen Fällen die Ersparnis an Brennstoffkosten ganz besonders auswirkt" (Buchler, 1929: 39). Charakteristisch ist auch eine Äußerung aus dem Jahre 1930, einer Zeit, als immerhin schon erste dieselbetriebene Lastkraftfahrzeuge erfolgreich auf den Straßen tourten und ein Diesel-Flugzeugmotor sogar neue Rekorde für Kolbenmaschinen aufstellte: "Es bleibt trotzdem abzuwarten, ob die reine Selbstzündung für schnellaufende Fahrzeugmotoren wirklich das alleinseeligmachende Heil ist. Mit abnehmender Zylindergröße müssen zwecks sicherer Selbstzündungen damit die Zünddrücke steigen" und ein "Unikum einer Fahrzeug-Dieselmachine" entstehen lassen, deren "Höchstdrücke um 40-90 % höher sind als die von ortsfesten Maschi-

nen". "Ist diese Konstruktionstendenz wirklich noch gesund zu nennen? Ist denn die elektrische Zündung plötzlich so unzuverlässig geworden, daß man um keinen Preis etwas mit ihr zu tun haben möchte?" (E. Diesel, 1955: 20). Im Kreise der Lehrbuchautoren war man sich schon Ende der 20er Jahre einig, daß der Entwicklungsstand des schnellaufenden Fahrzeug-Dieselmotors zwar beachtlich und dem des "Vergasermotor" sogar "überlegen" sei, aber eben nur "in allen Fällen des anspruchsloseren Fahrzeugbetriebes" (Thiemann, 1929: 278ff.; Ricardo, 1932: 404).

Projekte außerhalb dieser Ordnungen blieben in den Diskursen unberücksichtigt, selbst wenn es sich um noch so interessante technische Projekte handelte. So erging es beispielsweise 1925 den beiden Ingenieuren Frey und Fischer, die einen kleinen Schweröl-Fahrzeugmotor vorstellten, der mit einem Zylinderdurchmesser von 0,80 cm sogar in einem Motorrad Platz fand und beachtliche 6 PS bei immerhin 2400 U/min leistete (Frey/Fischer, 1924: 28f.). Obwohl man den Kleinst-Dieselmotor mit seinen technischen Eigenschaften zwar zur Kenntnis nahm (vgl. Riehm, 1926: 64), wurden diese abseits der etablierten Entwicklungspfade durchgeführten Versuche von der technischen Intelligenz "zurückgepfeiffen" und es als eine "seltsame Logik" bezeichnet, wenn sich Konstrukteure bei Entwicklungsarbeiten an dieselmotorischen Antriebssystemen nicht den Schiffsdieselmotor als Vorbild zu eigen machten (Thiemann, 1929: 282).

Ein ähnliches Schicksal ereilte den vom Flugzeugkonstrukteur Hermann Dörner konstruierten Dieselmotor, der abseits des dominanten Einflusses des Schwermaschinenbaus von der Eisenbahnsignal-Bauanstalt Max Jüdel AG in Georgsmarienhütte gebaut wurde und in einem Vierzylinderaggregat als erster Dieselmotor überhaupt in einen Pkw montiert und erprobt werden konnte (vgl. Thiemann, 1929: 244). Durch einige technische Kniffe, aber insbesondere ohne Abneigung, sich auch mit kleinsten Baugrößen auseinanderzusetzen, gelang es hier, das Direkteinspritzverfahren für den praktischen Pkw-Betrieb zur Verfügung zu stellen. Die eigens für Fertigung und Vertrieb gegründete Dörner Ölmotoren AG organisierte im Frühjahr eine Test- und Demonstrationsreise in die USA, die so erfolversprechend verlief, daß einige der renommierten Automobilkonzerne wie Packard Lizenzen beantragten und offensichtlich auch mit eigenen Entwicklungsarbeiten begannen. Gehörte die Erarbeitung eines politischen Durchset-

zungsprogramms zu den wichtigsten Erfolgsbedingungen der Genese des Dieselpjektes - Diesel war es ja gelungen, sein Projekt durch Bildung eines verschachtelten Interessengeflechts direkt in die industriellen Kernbereiche einzupflanzen -, mangelte es beim Dorner-Diesel zwar kaum an den technischen Kompetenzen und auch nicht an aussichtsreichen Marktchancen, wohl aber an der für ein Revirement notwendigen Bündnispolitik. Obwohl die Betriebsergebnisse günstig bewertet wurden, der Motor in Fachzeitschriften sogar als Referenzprojekt für das große technische Potential des Direkteinspritzverfahrens erschien (vgl. Riehm, 1926: 64), blieb die Zusammenarbeit mit der "zuständigen" Automobilindustrie aus. Denn auch bei diesem Projekt hatten die Akteure gegen die Spielregeln verstoßen und waren mit einem dieselmotorischen Antriebssystem in Leistungsbereiche und auf Anwendungsfelder vorgestoßen, die von der herrschenden Mehrheit der Automobil- wie auch der Maschinenbaubranche nicht akzeptiert werden konnten und den "Dorner-Ölmotor" daher in ein Resonanzloch fallen ließen. Das Kleinunternehmen verfügte nicht über die ökonomischen Möglichkeiten, über längere Zeit diesen "faktischen Stand" zu stabilisieren, um vielleicht auf bessere Zeiten zu warten. Wenige Jahre nach den ersten Veröffentlichungen war auch dieses Projekt bereits wieder vergessen.

Unübersichtlichkeiten auf dem Weg zum Diesel-Schnelläufer

Zwar hatte man dem Dieselmotor unter den besonderen Bedingungen der Nachkriegssituation günstige Entwicklungsaussichten prognostiziert, doch konnten sich keine etablierten Automobilfirmen zum Einstieg in die Dieselsechnik entschließen. Der Übergang vom "klassischen Dieselmotor" (Schnauffer, 1958a: 308ff.) zu einem Motorenkonzept, das nicht mehr von der "technischen Krücke" Kompressor auf dem Weg in weitere Verwendungsgebiete behindert werden sollte, blieb daher der "Diesel-Gruppe" innerhalb der gerade skizzierten Entwicklungsräume selbst vorbehalten. Und auch diese - heute scheinbar so zwingende - Entscheidung, auf den Kompressor zu verzichten, war zunächst heftig umstritten und ließ erkennen, daß in den weiteren Entwicklungsfragen, die über den bisher zum "Stand der Dieselsechnik" geronnenen Konsolidierungskonsens hinausreichten, eine Verständigung unter den veränderten politischen und ökonomischen

Bedingungen nur sehr schwer möglich schien (vgl. Barthel/Lingnau, 1986: 111). Für den Einsatz als Schiffsantrieb konnten beispielsweise Überlegungen, auf die vom Kompressor erzeugte Einblaseluft zu verzichten und stattdessen zu sogenannten "luftlosen", d.h. im Arbeitsprozeß selbst erzeugten, hohen Einspritzdrücken überzugehen, bei den Ingenieuren nicht überzeugen. Oberingenieur Alt von der zum Krupp-Konzern gehörenden Kieler Germaniawerft vertrat 1919 die Ansicht, daß "die Einführung der Druckeinspritzung" überhaupt nicht dringlich sei, "da die Schwierigkeiten, die man mit dem Einblaseluftkompressor gehabt habe, durch die mehrstufige Verdichtung überwunden seien" (zit. nach Sass, 1962: 651). Noch 1928, als im Auftrag des VDI die erste lehrbuchartige Zusammenfassung über die Grundlagen, Bauarten und Probleme des gesamten Dieselmotorenbaus veröffentlicht wurde, stellt der Verfasser, der Grazer Professor Julius Magg, unmißverständlich klar: "Grundsätzlich ist die Luftereinblasung die vollkommenste. Zerstäubungs- und Beschleunigungsenergie kann dem Brennstoff in jedem gewünschten Ausmaße mitgegeben werden und ist auch während des Betriebes in einfacher Weise regelbar". Die zu dieser Zeit schon verbreiteten Vorkammerverfahren, die den Kompressor ersetzen sollten und insbesondere für mobile Verwendungszwecke gedacht waren, kamen in den Augen des Professors nicht gut weg, weil sie seiner Ansicht nach vom "reinen" Dieselp Prinzip abwichen. "Der Vorteil des Wegfalles des Einblasekompressors wird fast regelmäßig dadurch erkauft, daß bei Vorkammermaschinen an Stelle des reinen Gleichdruckverfahrens eine sogenannte gemischte Verbrennung auftritt, der eigentlichen Gleichdruckverbrennung eine Verpuffung vorangeht, welche zu immerhin ganz beträchtlichen Drucksteigerungen im Zylinder führt" (Magg, 1928: 80/81).

Bei der aus den etablierten und abgesicherten industriellen Kontexten heraus nach dem Krieg unter der Federführung von MAN, Benz & Cie, Daimler-Motoren AG (Werk Marienfelde), der Motorenfabrik Deutz und einer kleinen Zahl weiterer traditioneller Dieselmotorenanbieter tatsächlich aufgenommenen Entwicklung sogenannter "schnellaufender", also mit höheren Drehzahlen laufender Dieselmotoren, blieb jedoch die Frage nach der Bedeutung des Kompressors bei der Suche neuer mobiler Verwendungsgebiete umstritten.

Der bisher gepflegte unternehmensübergreifende und technikkwissenschaftlich gestützte Konsolidierungskonsens drohte deshalb an

strategischen und konstruktiven Meinungsverschiedenheiten in der "Diesel-Gruppe" auseinanderzubrechen und ein für die technische Arbeit unerwünschter Zustand der Unübersichtlichkeit zu entstehen. Da eine unternehmensübergreifende Einigkeit über die technischen Entwicklungsprinzipien im Sog lukrativer Marktentwicklung zunächst nicht zu erreichen war, vollzog man einen innerbetrieblichen "Schulterschuß" und achtete diesmal darauf, daß die im jeweiligen Unternehmen existierenden Perzeptionen und Kenntnisse optimal in ein technisches Entwicklungsprogramm eingefügt werden konnten. Kompromißlos entschied man sich im Berliner Werk der Daimler-Motoren AG dafür, den bisherigen Konsolidierungskonsens auch für neue Nutzungszwecke fortzuschreiben und einen kompressorbetriebenen Motor in einen Lastkraftwagen einzubauen, der auch 1923 erstmals auf der Automobilausstellung vorgestellt wurde. Mitte der 20er Jahre, im Zuge der Fusionsverhandlungen zwischen Benz und Daimler, wurde auch über die technischen Entwicklungspfade entschieden, und die Frage der zukünftigen Brennraumgestaltung - Vorkammer versus Luftereinblasung - stand dabei ebenfalls auf der Tagesordnung. Es kam "zu bewegendem Auseinandersetzen über das Problem, ob für die zukünftige Entwicklung dem Marienfelder Motor mit Kompressor, der ja 1923 erfolgreich gewesen war und an dem sein Konstrukteur mit allen Fasern seines Herzens hing, oder dem Benz-Vorkammermotor mit luftloser Einspritzung der Vorzug zu geben sei" (E. Diesel, 1955: 48). Offenbar fehlte zu dieser Zeit auch großen Unternehmen der finanzielle Spielraum für eine Parallelentwicklung, denn "daß nur eins übrig bleiben konnte, war allen Beteiligten klar" (Barthel/Lingnau, 1986: 94; vgl. Domina, 1987: 128). In Deutz knüpfte man zunächst ebenfalls an die eigene Tradition an, die hier im stationären Kleinmotorenbau lag und entschied sich für Kammer-Motoren. MAN verfolgte in der gleichen Weise den bereits eingeschlagenen Pfad, indem man den Kompressor zwar ersetzte, aber weiterhin auf einer Direkteinspritzung beharrte.

Im Ergebnis verzichteten letztendlich doch alle Unternehmen bei der Suche nach technischen Konzeptionen für einen Diesel-Schnellläufer auf den Kompressor, gingen aber auch nicht weiter hinter die bereits geronnenen "Schließungs- und Konsolidierungsentscheidungen" zurück, die Reaktivierung bereits ausselektierter, noch auf Diesels frühe Arbeiten zurückgehende, Optionen blieb aus. Vielmehr orien-

tierte man sich an den Entwicklungsprinzipien im "herrschenden Stand" automobiler Antriebssysteme. "Welchem Verfahren man auch den Vorzug geben mag, die kompressorlose Dieselmachine bedeutet einen erheblichen Schritt vorwärts zum Ideal der Annäherung des wirtschaftlich so hochwertigen Motors an die Einfachheit und Betriebssicherheit der Dampfmaschine", urteilte ein an der Entwicklung beteiligter Ingenieur und ließ damit erkennen, wie wichtig im Denken der Techniker vor allen Dingen ein betriebssicherer, verlässlicher Funktionsmechanismus war und daß in dieser Orientierung die über 200 Jahre alte und immer noch in vielfältiger Anwendung befindliche Dampfmaschine nach wie vor als beispielhafte Entwicklungslinie galt (Schultz, 1926: 93).

Die Frage nach der geeigneten Konstruktion wurde damit mehr und mehr davon bestimmt, zu welchen Reminiszenzen die einzelnen Unternehmen an die vom Benzinmotor vorskizzierten Entwicklungswege bereit waren. "Die stürmische und vielgestaltige Entwicklung der kompressorlosen Dieselmachine nach dem Kriege hat sich inzwischen etwas abgeklärt; die beiden Hauptrichtungen: Druckeinspritzung und Vorkammerverfahren haben sich durchgesetzt und beherrschen das Feld. Sofort ist auch der Kampf zwischen beiden entbrannt" (Modersohn, 1927: 64). Vorkammer- oder später auch Wirbelkammer-Dieselmotoren ermöglichten durch den zerklüfteten und unterteilten Brennraum zwar einen "weichen", schichtweisen Verbrennungsprozeß, der aber mit einem Verlust der dieseltypischen Gleichdruckverbrennung und - bedingt durch die größere spezifische Oberfläche - mit einem deutlich höheren Kraftstoffverbrauch verbunden war. "Die Entwicklung auf dem Wege zur schnellaufenden Dieselmachine entfernt sich in neuerer Zeit immer weiter von der bei langsam laufenden Maschinen üblichen Bauart und folgt mehr und mehr dem Beispiel des Vergasermotors, nicht nur im rein maschinentechnischen Aufbau, sondern auch hinsichtlich des thermodynamischen Kreisprozesses, nach dem die Maschine arbeitet. Die Idee der Verbrennung unter gleichbleibendem Druck, an der selbst bei den langsamlaufenden Maschinen niemals ganz festgehalten wurde, ist bei dem Diesel-Schnellläufer ganz über Bord geworfen worden und hat dem Kreisprozeß Platz gemacht, der vielmehr der Arbeitsweise eines Vergasermotors mit seiner Verbrennung" ähnelt (Ricardo, 1932: 404).

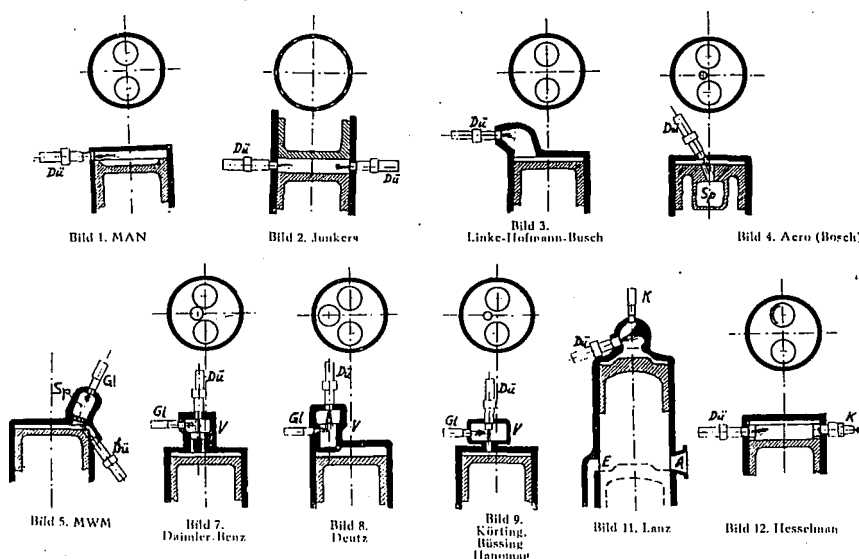
Während Kammermotoren wegen ihrer größeren Nähe zum otto-motorischen Entwicklungsprinzip langsam zum "herrschenden Stand" der schnelllaufenden Dieselmotoren wurden, behielt von den Unternehmen der ehemaligen "Diesel-Gruppe" nur MAN die Direkteinspritzung bei und wahrte damit die "reine Lehre". Immerhin ermöglichte diese kompromißlose Fortführung der alten "Schließungs- und Konsolidierungsentscheidungen" eine Brennraumgestaltung mit einer vergleichsweise geringen spezifischen Oberfläche. Der sehr geringe Kraftstoffverbrauch konnte aber nicht optimal umgesetzt werden, da man sich ja schon um die Jahrhundertwende gegen die umfassende Triebwerksreform entschieden hatte. Der Rückgriff auf den "herrschenden Stand" der Automobiltechnik brach damals bereits der "Diesel-Revolution" die Spitze und zwang die Direkteinspritzung auf einen unpäßlichen konstruktiven Entwicklungspfad, der - eingebaut in ein klassisches Hubkolbentriebwerk mit Wechselschaltgetriebe - nur einen recht "ruppigen" Lauf zuließ (Schultz, 1926: 92).

Der technischen Ausreifung dieses Maschinentyps standen aber auch brancheninterne Standards entgegen, denn die für eine Optimierung solcher Bauformen notwendigen sehr kleinen Düsenöffnungen des Einspritzventils galten schon nicht mehr "als Maschinenbau", und da "man kein Uhrmacherwerkzeug anwenden" wollte, beharrte man auf bestimmten Mindestgrößen als Beweis einer "typischen" Arbeitsweise des Maschinenbaus (vgl. Modersohn, 1927: 70).

Die erste, bereits zuvor einmal erwähnte Überblicksdarstellung über den gesamten Stand der Dieselmotorenentwicklung Ende der 20er Jahre stellte daher nach dieser ersten Restrukturierungsperiode nochmals klar, daß zwar "die Gleichdruckprozesse als Idealprozesse" anzusehen seien, aber für "Klein- und Kleinstdieselmotoren" ein "gemischtes Verfahren" durchaus seinen Sinn habe - und im Bemühen um eine Verständigung gelten "beide Standpunkte" als "berechtigt". Unberechtigt wäre es aber, wenn die durch sie gegebenen Forderungen zu einer Spaltung der Meinungen über die allgemeinen Grundlagen des Dieselmotorenbaus führten" (Magg, 1928: 262). Obwohl in verschiedenen Abhandlungen immer wieder die Gleichwertigkeit beider Verfahren unterstrichen wurde, setzte sich schließlich doch eine Einigung durch, die Modersohn auf die griffige Formel brachte: Druckeinspritzung: von 40 PS aufwärts; Vorkammer: bis 40 PS! (Modersohn, 1927: 72).

Die konkrete Gestaltung dieser Haupt- und Nebenbrennräume der Kammermotoren fiel in den 20er Jahren von Unternehmen zu Unternehmen noch recht unterschiedlich aus und ließ sich als eine Art "technische Visitenkarte" verwenden.

Abb. 12: Übersicht verschiedener Brennraumformen (Stand 1930)



Quelle: Schwerdtfeger, 1931: 128

Die Beiträge der Forschung und Zulieferindustrie zur Standardisierung der Konstruktionsformen

Bereits nach wenigen Jahren konnte aber auch in dieser Frage wieder ein unternehmensübergreifender Konsens konstituiert werden, der sich in einer deutlichen Vereinheitlichung der Brennkammerformen ausdrückte. Die zumindest für diesen Entwicklungszweig hergestellte Verständigung über grundlegende Konstruktionsentscheidungen kam im wesentlichen dadurch zustande, daß in der Frage der Brennraumgestaltung mehr und mehr die technik-wissenschaftliche Forschung zur definierenden Macht aufstieg. Neben den bereits zum Ende des

19. Jahrhunderts eingerichteten Lehrstühlen, den Fachgesellschaften des VDI und den von Maschinen- und Automobilverbänden durchgeführten Wettbewerben, konzentrierten sich diese Forschungen mehr und mehr in den Laboratorien der Technischen Hochschulen. Zu den schon bestehenden Einrichtungen an der TH Berlin kamen weitere Institute für Kraftfahrwesen und Verbrennungsmotoren in Dresden (1918), Aachen (1923), Karlsruhe (1924), Hannover (1928) und Stuttgart (1928) (vgl. Seherr-Thoss, 1979: 205). Nachdem mit der Genese des Dieselmotors die in den 80er und 90er Jahren begonnenen Reformbewegungen mit der Restrukturierung und Reformierung der technischen Anbieterstrukturen abgeebbt und die Technikwissenschaften von der Begutachtung der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des gesamten Antriebssystems entlastet waren, konnte die technikwissenschaftliche Forschung unter nunmehr stabilen Randbedingungen die Bereitstellung hochspezialisierten Wissens übernehmen und in ausgewählten Feldern gegenüber den betrieblichen Arbeiten einen erheblichen Wissensvorsprung verbuchen. Da grundlegende Konstruktionsentscheidungen nicht mehr zur Disposition standen, wurde mit dem Aufbau einer Meß- und Analyseinfrastruktur begonnen, um die komplexen innermotorischen Abläufe - so wie sie durch die im "Stand der Forschung" repräsentierten Konstruktionsentscheidungen entstanden waren - zu analysieren und durch Angaben zur Optimierung von Detaillösungen zu ergänzen. Stroboskopisch-fotographische Abbildungen und piezo-elektrische Druckindizierung lösten mehr und mehr das alte, seit über 100 Jahren in Gebrauch befindliche, mechanisch arbeitende Indikatoren-Diagramm ab, das bei höheren Drehzahlen nur noch Annäherungswerte produzierte und für die Probleme der Gemischbildung keine ausreichende Datengrundlage mehr lieferte (vgl. List, 1958: 69; Mader, 1925: 1371). Für kleine Maschinen- und Motorenbauunternehmen ermöglichten die veröffentlichten Erkenntnisse und Empfehlungen die Chance, von einem Wissenssprung zu profitieren, denn durch die gemeinsame Anerkennung der konstruktiven Randbedingungen war ein "Apparate-Paradigma" entstanden, das den Ergebnis-Nutzern die Gewähr kompatibler Selektionskriterien bot. Bis auf einige wenige große Unternehmen (Daimler-Benz, MAN, Bosch), die zunächst am eigenen "faktischen" Stand der Entwicklung festhielten, übernahm die Mehrzahl der Betriebe die "von Ricardo angegebene" - so die Sprachregelung in der technischen Literatur, für

Forschungen des Engländers Harry Ricardo, aus dessen Labor damals die für die reale technische Entwicklung bedeutendsten Beiträge kamen - Kammerform und konnte damit in einer zentralen technischen Frage auf einen verlässlichen Konstruktionsvorschlag zurückgreifen. Diese "Technischen Angleichungen" - so die Lesart von Fritz Nallinger, damaliger Entwicklungschef der Daimler-Benz AG, in einem Kommentar - "zeugen nicht etwa von Phantasielosigkeit der Konstrukteure, sondern ganz einfach davon, daß Dinge, die als optimal erkannt sind, Allgemeingut werden und ohne funktionelle Einbußen nicht fehlen können" (zit. nach Hütten, 1988: 208; vgl. Jacoby, 1931: 275ff.; 310ff.; 332ff.; vgl. Nägel, 1936: 1036; G. Hack, 1987: 70f; Meurer, 1988: 24ff.).

Stabilisiert wurde der neugebildete Konsolidierungskonsens von der Zubehörindustrie, deren Bedeutung ständig zunahm und die Unternehmen von der schwierigen Aufgabe entlastete, für die eigenen Motoren auch noch die komplizierten Nebenaggregate zu entwickeln. Gegen Ende der 20er Jahre gelang es der Bosch AG, ihren Erfahrungsvorsprung in ein mechanisches System zu überschreiben und durch den konsequenten Einsatz der Massenfabrication als attraktive Paketlösungen, freilich nur für die gängigen Motortypen, anzubieten. Damit war ein weiteres, bislang von Einzellösungen dominiertes Teilgebiet der Dieseleentwicklung in einen standardisierten Satz von Konstruktionen überführt. "Somit haben wir der Diesel-Industrie überhaupt einen neuen Auftrieb gegeben", da die "Firmen durch unser Diesel-Zubehör erst ermutigt wurden, Dieselmotoren zu bauen, weil sie von der Sorge und dem Aufwand befreit wurden, die mit der Herstellung einer eigenen Einspritzausrüstung verbunden sind" (Schildberger, 1950: 37).

Dieser Stabilisierungsprozeß in der Dieseltechnik war aber zunächst gefährdet, da es unter den vielen möglichen Entwicklungsperspektiven und den damals günstigen Marktchancen für Dieselmotoren kaum möglich schien, die Einigungsprozesse der verschiedenen Hersteller in ihren technischen Konsequenzen richtig für die Fertigung eines Massenartikels abzuschätzen. Mit Beginn der Planungsarbeiten über Einspritz- und Pumpsysteme für Dieselmotoren ging man bei Bosch 1922 nämlich noch davon aus, daß angesichts der überaus günstigen Wirkungsgrade der dieselmotorischen Verbrennung sehr bald ein Markt für kleine Diesel-Schnellläufer entstehen werde. Die Entwicklungsar-

beiten begannen daher mit einem Motor von 1,5 Liter Hubraum und Umdrehungen von 4.000-5.000 U/min als Orientierungsgröße für die Projektierung der technischen Qualitäten des Einspritzsystems. "Allmählich wurde uns aber klar, daß wir doch wohl schneller zum Ziel kämen, wenn wir uns mit den Anforderungen, die wir an eine Einspritzpumpe stellen wollten, einigermaßen nach dem damaligen Stand der Fahrzeug-Dieselmotoren richteten". Man hatte sich "immer noch nicht von der Vorstellung freimachen (können), daß wir vielleicht mit Zweitaktwagenmotoren von hoher Drehzahl zu rechnen hätten. Wir verwarfen daher eine sonst sehr gut durchdachte und sehr klein gebaute Einspritzpumpe mit Aufstoßregelung" (Bosch, 1936: 146). Rein vom "technischen Potential" ausgehend unterstellte man dem Diesel-Schnellläufer eine glänzende Perspektive, ohne aber zu beachten, daß sich die Branchen mit ihren eingeschliffenen und fest institutionalisierten Perzeptionsmustern längst wieder reorganisiert hatten. Die "zuständige" Automobilindustrie griff bei der Entwicklung von Pkw-Motoren nicht auf die dieselmotorische Verbrennung zurück. Angesichts der wachsenden ökonomischen Probleme im Automobilbau mußte gerade die Sicherung der Funktionstauglichkeit bewährter Techniken allen anderen Kriterien gegenüber absoluten Vorrang haben.

Adaption der ottomotorischen Entwicklungslinie und Aufgabe dieseltypischer Konstruktionsmerkmale

Wie schnell sich die Kammer-Motoren etablierten und den "herrschenden Stand der Technik" für Fahrzeug-Dieselmotoren bildeten, zeigte sich wenige Jahre später auch daran, daß im Zuge der Wiederaufrüstung erneut die Suche nach einem einheitlichen Baumuster für Dieselmotoren - diesmal aber im Einsatz für Lastwagen - begann, der dann von verschiedenen Unternehmen im großen Stil produziert und im ja bereits geplanten Krieg eingesetzt werden sollte (vgl. Roth, 1987: 172). MAN als Geburtsstätte des Dieselmotors und nach wie vor führendes Unternehmen im Bau dieses Maschinentyps, auch mit hervorragenden Kontakten zu den militärischen Planungs- und Beschaffungsstellen ausgestattet, sah sich gar gezwungen, bei Vorschlägen für ein Motorenkonzept den "herrschenden Stand der Technik" anzuerkennen und mit Rückgriff auf die hier repräsentierte Konstruktions-

philosophie erstmals die "reine Lehre" im Dieselmotorenbau - wenn auch nur für die Dauer des Rüstungsauftrags - aufzugeben. "Aus heutiger Sicht freilich kann dieser 'deutsche Einheitsmotor' nur als ein Sündenfall der MAN-Motorentchnik verstanden werden, denn er ließ eine deutliche Annäherung an die damals dominierenden Kammermotoren erkennen. Da der Gaswechsel über die Nachkammer nicht ohne Verluste möglich war, mußte dieses Verbrennungsverfahren einen schlechteren Energieumsetzungsgrad haben als das Direkteinspritzverfahren ohne Nachkammer", was ja bislang von MAN versucht wurde. "Aber in diesen Pionierjahren des Diesel-Lkw hatte der Dieselmotor in erste Linie gegen den Ottomotor zu konkurrieren. Deshalb wurden spezielle Begleiterscheinungen, wie zum Beispiel ruhiger Motorenlauf und gutes Kaltstartverhalten höher bewertet als etwa der Brennstoffverbrauch" (Domina, 1987: 131).

Mit der Anerkennung und Adaption des ottomotorischen Referenzrahmens für die Dieselmotorenentwicklung gelang es zwar, für den "herrschenden Stand" automobiler Antriebssysteme anschußfähig zu werden, aber nur um den Preis der Zuweisung auf technische und auch ökonomisch unattraktive Randbereiche. Noch im Jahre 1936 war das Dieselp Prinzip in Pkw-Antrieben überhaupt nicht vertreten, auch wenn in diesem Jahr erstmals ein solcher Pkw-Motor auf der Automobilausstellung gezeigt wurde. Der Anteil der Lkw, die mit einem Dieselmotor ausgerüstet waren, blieb bis zu diesem Zeitpunkt ebenfalls bescheiden und erreichte 12 % des Fahrzeugbestandes. Bei Omnibussen konnte man den Ölmotor dagegen schon in einem Drittel aller Fahrzeuge finden. Landwirtschaftliche Zugmaschinen stellten die einzige Fahrzeuggattung dar, in denen Dieselmotoren mit 37 % häufiger zu finden waren als Benzinmotoren (34 %) (Seherr-Thoss, 1979: 271).

Der Verzicht auf die Konstituierung eines eigenständigen Konstruktionspfades automobiler Antriebssysteme in der dieselmotorischen Entwicklung sollte aber auch noch andere Konsequenzen haben. Denn in den ottomotorischen Entwicklungskontexten begann unter der Devise "Drehzahlen kosten nichts" ein Konstruktionsstil Einzug zu halten, der Leistungssteigerungen weniger über den "klassischen Weg" der Volumenvergrößerung zu erreichen versuchte (ein impressives Beispiel war der sogenannte "Blitzen-Benz", ein Rennauto mit 11 Litern Hubraum), sondern durch einen schnelleren Gasdurchsatz, also bei einem gegebenen Hubraum die Füllung, Zündung und Entlee-

rung der Zylinder schneller zu bewerkstelligen. Unterstützung fanden die Konstrukteure in dieser Arbeitsweise gerade auch in Deutschland durch eine Steuerformel, in der das Hubraumvolumen eine besonders gewichtige Rolle spielte (vgl. Hütten, 1988: 50ff.). Dem dieselmotorischen Antriebssystem kamen diese Konstruktionstendenzen überhaupt nicht entgegen, da der im Vergleich zum ottomotorischen Prinzip eher kontinuierlichere Verbrennungsprozeß keinen schnellen Gaswechsel vertrug, dafür aber auch schon bei niedrigen Tourenzahlen einen höheren Mitteldruck und damit ein größeres Leistungsvermögen mobilisierte. Konstruktionen, die noch verbliebene dieselmotorische Eigenheiten repräsentierten und bislang im "herrschenden Stand der Dieselmotorentchnik" abgesichert waren, "starben" daher auch nach und nach aus. Die Direkteinspritzung haben wir bereits erwähnt, wenngleich dieses Verfahren später im Lkw-Einsatz "überwinterte" und neuerdings ja für Pkws wieder verfügbar gemacht wird. Mit den vorherrschenden Kammermotoren ging der Gleichdruck-Verbrennungsprozeß verloren, der zwar nie den von Rudolf Diesel gewünschten Idealverlauf der isothermischen Verbrennung gezeigt hatte, aber dennoch gegenüber den Verpuffungsmotoren (so wurden die Ottomotoren in den Lehrbüchern öfter noch klassifiziert) günstigere Mitteldruckwerte erreichte, wie einen elastischeren Motorenlauf ermöglichte. Der Einsatz von Preßluft als unterstützende Kraft, insbesondere beim Start, verschwand genauso wieder und wurde wie das Zweitakt-Arbeitsverfahrens auf den Status einer "technischen Option" zurückgestuft. Zur Simulation des bei Ottomotoren gewohnten Startverhaltens mußten die Kammermotoren deshalb wahre Kunstgriffe ersinnen und mit elektrischen Glühkerzen operieren, um die für die Selbstzündung notwendige Starttemperatur zu erhalten. Den Ingenieuren konnte daher auch mit Recht vorgehalten werden, die "Elektrizität mit großer Geste zur vorderen Haustür hinaus" zu werfen (der Vorteil des "Diesels" ist ja die Selbstzündung des Brennstoffs durch die hohen Verdichtungstemperaturen), "um sie verstohlen durch ein Hintertürchen wieder hereinzuholen" (Thiemann, zit. nach E. Diesel, 1955: 50). Zwar erreichte man mit Kammermotoren einen dem Vergasermotor angenäherten Verbrennungsverlauf, doch auch hier nur um den Preis eines "stoßenden Ganges und übelriechenden Auspuffs". Eugen Diesel hoffte Ende der 30er Jahre noch auf eine nur vorübergehende Erscheinung, die mit dem "Fortschreiten der Technik" bald wieder ver-

schwinden werde (E. Diesel, 1937: 221). Er übersah jedoch, daß der Fahrzeug-Dieselmotor im "herrschenden Stand der Technik" nur so lange geduldet wurde, wie keine Konkurrenz zu den ottomotorischen "Kernbereichen" erkennbar war.

Dabei blieb dieser scheinbar so fest formierte Konsolidierungskonsens im Automobilbau nach dem Ende des Krieges von den allgemeinen Turbulenzen nicht unberührt. Die allgemeine schlechte wirtschaftliche Lage ließ auch die bislang typischen Autokäufer, die aus wohlhabenden und repräsentationsbedürftigen Schichten kamen, zurückhaltender werden und zwang die Automobilindustrie, das bisherige "Renn- und Luxuswagen"-Konzept zugunsten alltagstauglicher Fahrzeuge zu überdenken. "Im Grunde ist die Aufgabe die, dem Explosionsmotor innerhalb bestimmter Grenzen die Eigenschaften der Dampfmaschine zu verleihen", markierte der Herausgeber der damals führenden technischen Fachzeitschrift "Der Motorwagen" die Bandbreite notwendiger Reformen. Die bislang verfolgten Konstruktionsprinzipien waren gemäß den ehemals vorherrschenden Nutzerinteressen mehr auf hohe Endgeschwindigkeit ausgelegt gewesen, wobei erst bei hohen Drehzahlbereichen die maximale Leistung erreicht wurde; der alltägliche Fahrbetrieb erforderte aber gerade auch bei niedrigen Drehzahlen eine optimale Kraftentfaltung. In der zu Beginn der 20er Jahre in verschiedenen Zeitschriften geführten Debatte über "Motoren mit veränderlichem Drehmoment" schloß man auch das "Gleichdruck- oder Dieserverfahren" nicht aus, ohne daß sich aber eine größere Koalition oder Bündnispartner aus Forschung und Industrie zur Überführung des damals zum "herrschenden Stand" für Schiffsantriebe und stationäre Kraftanlagen gehörende Dieserverfahren in die Kernbereiche automobiler Antriebssysteme zusammengefunden hätten (vgl. Conrad, 1922: 68ff.; Horch, 1940: 243ff.).

Der Verzicht auf die politische Sicherung einer genialen Konstruktion: Die folgenlose Episode des Junkers-Flugdieselmotors

Daß es immer wieder Versuche zur Ausweitung der Einsatzgebiete des dieselmotorischen Antriebssystems gegeben hat, haben wir bereits zu Beginn des Kapitels dokumentiert. Doch während diese Projekte neben der Ignoranz der Automobil- und Motorenbauer auch am fehlen-

den Vermögen zur Dokumentation der erreichten Erkenntnisfortschritte scheiterten, werden wir an einem weiteren Beispiel erörtern, daß selbst ein über Jahre gehaltener "faktischer Stand der Technik" die von Industrie, Forschung und staatlichen Behörden ausgehandelten Zuteilungen noch nicht ins Wanken bringt und zur sozialen Härting neben der ökonomischen Stärke unbedingt die branchenweite Absicherung in kognitive und soziale Bezugssysteme treten muß. Dieses gescheiterte Projekt eines Gegenkolben-Ölmotors, Bauart Junkers, demonstriert auch, wie die Konfiguration und konstruktive Umsetzung des dieselmotorischen Prinzips nicht von einer endogenen technischen Logik bestimmt ist, sondern von den in die Branchenkultur eingelagerten Perzeptionsmustern und den davon bestimmten "Schließungs- und Konstruktionsentscheidungen" geprägt wird. Junkers Konzept, sozusagen die Reform des dieselmotorischen Verbrennungskonzeptes konsequent auch auf das Triebwerk zu verlängern, war ja bereits vor dem Ersten Weltkrieg von der dieselmotorischen Gemeinde aus Angst vor einer Bedrohung der gerade mühsam hergestellten Einigungsprozesse über grundlegende Konstruktionsentscheidungen abgelehnt und letztlich erfolgreich ignoriert worden. In einem vielbeachteten Überblick zur Situation des Dieselmotorenbaus nach Ende des Ersten Weltkrieges stellte der Dresdener Professor Adolf Nägel noch bedauernd fest, daß der von Junkers entwickelte Gegenkolben-Dieselmotor in der Industrie "nicht die Aufnahme gefunden" habe, wie man sie diesem Antriebskonzept durchaus gewünscht hätte (Nägel, 1923: 15). Auch nach Ende des Krieges, als wieder offener über neue technische Perspektiven, insbesondere im Dieselmotorenbau nachgedacht wurde, blieb der Junkers-Motor aber weiter in der Versenkung verschwunden.

"Die großen Hoffnungen auf eine rasche Weiterentwicklung des Doppelkolben-Zweitaktmotors" erfüllten sich also nicht und Junkers mußte sich folglich dazu entschließen, "die Herstellung von betriebstüchtigen Typen in gewissem Umfange selbst in die Hand zu nehmen und diese in die Praxis einzuführen" (Mader, 1925: 1369). Den unternehmerischen Rahmen bildete dabei die zwischenzeitlich erfolgreich angelaufene Flugzeugfertigung in Dessau, die 1923 durch eine eigens gegründete "Junkers Motorenbau GmbH" ergänzt wurde. "Dieser großzügige Aufbau der Motorenfabrikation in Deutschland", hieß es später in einer Betriebsanalyse, "wurde von Professor Junkers gegen den Rat

und die Warnung des größten Teils seiner Mitarbeiter sowohl in der Leitung des Flugzeugwerkes als auch des Luftverkehrs in Angriff genommen" (Schmitt, 1986: 211). Offensichtlich war man auch bei den Junkers-Flugzeugwerken eher geneigt, die im "herrschenden Stand der Technik" befindlichen Angebote an betriebstauglichen Flugmotoren zu nutzen, als eine teure und risikoreiche Eigenproduktion zu starten. Junkers hielt aber an seiner Entscheidung auch mit der Begründung fest, die ihn bereits zum Austritt aus dem Reichsverband der Deutschen Luftfahrtindustrie bewogen hatte: "Ich bin Forscher und Wissenschaftler und nur nebenbei Fabrikant." (zit. nach Schmitt, 1986: 215).

In einem sehr aufwendigen Forschungs- und Entwicklungsprogramm - bei den Motorenwerken standen 1925 Einnahmen von 11 Mio. RM immerhin Ausgaben in Höhe von 42 Mio. RM gegenüber (Schmitt, 1986: 213) - gelang bereits Mitte der 20er Jahre auf dem Prinzip des Gegenkolben-Triebwerks im Zweitaktarbeitsverfahren und mit Direkteinspritzung ein kompakter Fahrzeugmotor, der, in einem Lastkraftwagen eingebaut, so beachtliche Testergebnisse erzielte, daß Adolf Nägel der Gegenkolbenbauart für alle schnellaufenden Dieselmotoren eine "richtunggebende Bedeutung" beimaß (Nägel, 1927: 90). Auch in anderen Testberichten wurden diese sehr guten Eindrücke bestätigt und dem Gegenkolbenmotor "außerordentlich günstige Resultate" bescheinigt (vgl. Hausfelder, 1928: 321; Thiemann, 1929: 209ff.; Mader, 1925: 1376; Conrad, 1928b: 645ff.). In einer Übersicht zum "Entwicklungsstand für Schwerölmotoren für Fahrzeuge und Flugzeuge" aus dem Jahre 1931, in dem verschiedene Indikatoren der verschiedenen Antriebssysteme zu einer "Gütezahl" zusammengezogen waren und die erstmals eine vergleichende Bewertung von unterschiedlichen Baugrößen und Verwendungszwecken erlaubte, konnten die Ergebnisse des Junkers Dieselmotors von keinem anderen Maschinentyp auch nur annähernd erreicht werden (Schwerdtfeger, 1931: 678). Ende der 20er Jahre war die Entwicklung eines Aggregats bereits so weit gediehen, daß mit einem Leistungsgewicht von 0,85 kg/PS der Einsatz im Flugzeug getestet werden konnte und damit die spezifischen Vorteile der Dieselmotoren - keine Vergaserbrände und geringer Kraftstoffverbrauch - zum Tragen kommen konnten, ohne daß die vermeintlichen dieseltypischen Eigenschaften eines hohen Leistungsgewichtes die guten Ergebnisse gleich wieder relativierten.

In einer eigenen Baureihe, mit der zu Beginn der 30er Jahre die Serienherstellung aufgenommen wurde, erbrachten die Motoren schließlich Literleistungen von 50 PS bei einem Leistungsgewicht von 0,45 kg/PS - Werte, die selbst in hochgezüchteten Vergasermotoren kaum möglich waren und zudem mit einem erheblich höheren Brennstoffverbrauch und einer Reihe notwendiger und gefährlicher Nebenaggregate bezahlt werden mußten. Die Luft-Hansa setzte die neuen Motoren in verschiedenen Flugzeugtypen, insbesondere im transatlantischen Dienst ein, und im Jahre 1937 erreichten die 9.000 Betriebsstunden der Dieselmotoren einen Anteil 7 % der gesamten Flugleistung der deutschen Einheitsgesellschaft (v. Gersdorff/Grasmann, 1985: 91). Vor allen Dingen im westlichen Ausland wurden diese Leistungen der Doppelkolben-Dieselmotoren viel beachtet. "The more universal adoption of the Diesel aircraft engine is only a matter of time. Already thousands of these engines have been installed in military airplanes in Germany and soon there will be hundreds of them in civil airplanes transporting passengers, mail, express and freight. As larger airplanes are built and longer routes are opened, the need for the Diesel becomes increasingly acute. Advantages such as greater freedom from fire hazard, lower fuel operating cost and increased payload capacity are so overwhelming that no progressive nation can afford to neglect the development of this new type of power plant" (Wilkinson, 1940: 262). In Großbritannien, den USA und Frankreich wurden Entwicklungsarbeiten aufgenommen, selbst in Deutschland schien der "herrschende Stand der Flugmotoren" nicht so hermetisch abgeriegelt und mit Daimler-Benz und BMW stiegen zwei der führenden Flugmotorenhersteller in die Dieseleentwicklung ein, freilich nicht auf der Basis des Doppelkolbenprinzips, sondern in Fortführung der konventionellen Hubkolbentriebwerke (Wilkinson, 1940: 116ff., 244ff.; Giger, 1986: 57ff.). Selbst MAN entschloß sich 1927 angesichts der nun sichtbaren Vorteile des dieselmotorischen Prinzips, die Entwicklung von Diesel-Flugzeugmotoren aufzunehmen, selbstverständlich auch vom bisherigen Konsolidierungskonsens konventioneller Triebwerksgestaltung und unter der Verwertung der Erfahrungen mit dem Viertakt-Arbeitsverfahrens. Als man aber damit nicht an Leistungsbereiche der Junkers-Maschinen heranreichte, gab man lieber den ganzen Flugdieselmotorenbau wieder auf, als den bisherigen Konsolidierungskonsens

Abb. 13: Leistungsfähigkeiten von Flugmotoren in der Übersicht



258

schen Ergebnissen früher oder später auch andere Anbieter in diesen Entwicklungszweig einsteigen und damit zur "sozialen Härtung" der gewählten Antriebstechnik beitragen würden, trogen auch dieses Mal. Erst wenn eine neue Technik über die Aufnahme in bzw. als "herrschender Stand der Technik" fest in die Perzeptionen der Ingenieure und Motorenbauer verankert ist, wird sie als dokumentierter Ausdruck eines Konsolidierungskonsens gegenüber neuen und damit risikoreichen technischen Linien verteidigt, während im Stadium des "faktischen Standes" sich schon kleinste Veränderungen der Umstände existenzbedrohend auswirken können.

Das unkonventionelle Unternehmerverständnis Hugo Junkers', die verschiedenen Betriebe nur als Finanzierungsquelle seiner aufwendigen Forschungen zu gebrauchen, hatte den Flugpionier in industriellen Kreisen schon sehr früh isoliert. Als fatal für die weitere Entwicklung des Konzerns sollte sich auch das überaus schlechte Verhältnis Junkers' zu den verschiedenen Reichsdienststellen auswirken. Flugzeug- und Flugmotorenbau wie überhaupt die Organisation der Flugverkehrswirtschaft setzten bereits in den 20er und 30er Jahren eine enge Abstimmung und Kooperation mit staatlichen Stellen voraus. Großzügig angelegte staatliche Hilfs- und Förderprogramme wurden aber immer an einen, vom jeweiligen Klientel zu organisierenden industriellen Interessenausgleich gebunden und Unternehmen, die sich nicht an diesem Einigungsprozeß beteiligten, blieben daher von dem Genuß öffentlicher Mittel ausgeschlossen. Formierten sich alle großen Anbieter in der Motorenindustrie zu großen Unternehmensgruppen, meist in Koalition mit dem Finanz- und Montankapital und betrieben eine intensive Pflege des Behördengeschäftes, widersetzten sich die Junkers-Werke diesen Spielregeln weitgehend. Mehrere Versuche, die desolate finanzielle Situation der Werke 1931 für eine "umfassende Restrukturierung" der Flugzeugindustrie auszunutzen, scheiterten in der Weimarer Republik noch an rechtlichen Problemen (vgl. auch Zindel, 1974: 27f.). Aber schon in dieser Zeit zeigte die regelrecht "kultivierte" Außenseiterrolle, die sich nach innen in einer vergleichsweise hohen Identifikation der Mitarbeiter mit der Politik des Unternehmens ("Junkersmänner") ausdrückte und die dem Unternehmen in bestimmten Grenzen die Trägerschaft einer unabhängigen technischen Linie ermöglichte, ihre Schattenseite, als es die für eine erfolgreiche Genese so wichtige Definitionsmacht zu sichern

galt (vgl. Lichte, 1962: 5; Roth/Schmid, 1987: 271; Mönnich, 1989: 436). Bisher hatte man ja auf Versuche zur Akzeptanzbeschaffung des Gegenkolbenprinzips in der "Diesel-Gemeinde" verzichtet. Nur der persönlichen Freundschaft zwischen Junkers und Nägel war es zu verdanken, daß der Gegenkolben-Dieselmotor in den technik-wissenschaftlichen Diskursen überhaupt erwähnt wurde. Als im Kontext der Wiederaufrüstung der Luftwaffe die für die dieselmotorischen Antriebe so wichtigen zivilen Nutzungsprofile immer stärker von militärischen Interessen abgelöst wurden und zudem noch unter der Regie der nationalsozialistischen Reichsregierung eine Zwangsenteignung und "treuhänderische" Verwaltung des Junkers-Konzerns begann, brachen die Stützungspfeiler dieser Konstruktionslinie dann auch sehr schnell ein (Hesse, 1965: 59; Schmitt, 1986: 218; Roth, 1987: 226f; v. Gersdorff/Grasmann, 1985: 85).

Während der in technischen Fragen eher naive Diesel mit einem sicheren Gespür für machtpolitische Notwendigkeiten der Technikentwicklung ausgestattet war, ließ sich der in technischen Fragen sicherlich geniale Hugo Junkers von einem naiven Politikverständnis leiten. Dies ermöglichte seinem unkonventionellen Motor zwar lange Zeit eine beachtliche Außenseiterrolle, die letztlich für eine dauerhafte Absicherung des Projektes nicht ausreichte, zumal gerade in der Maschinen- und Motorenbaubranche in einem engen Kontakt zur staatlichen Förderpolitik über die Definition des "herrschenden Standes der Technik" und damit auch über Verlierer und Gewinner in der technischen Entwicklung entschieden wurde.

Der Diesel-Pkw als Element der "Volksmotorisierung"

Nachdem der kurzzeitige Orientierungsmangel Ende des Ersten Weltkrieges über die Frage zukünftiger technischer Entwicklungsoptionen wieder in stabile Strukturen überführt werden konnte, die Nutzungsbereiche für diesel- und ottomotorische Antriebssysteme geklärt, die konstruktiven Richtungen vorskizziert waren, alternative bzw. hiervon abweichende Projekte erfolgreich hatten ausgegrenzt werden können, wäre dieses Gefüge sicherlich zu einem festen überbetrieblichen Orientierungsmuster der technischen Arbeit geronnen, wenn nicht erneut die Aussicht auf profitable staatliche Rüstungsaufträge die sozialen und kognitiven Bindekräfte destabilisiert und in einzelnen Fel-

dern zu einer Neuorientierung der "Befugnisse" geführt hätte. Ein erster sichtbarer Ausdruck dieses kleinen Revirements war die kurz nach der Übernahme der Regierungsgeschäfte durch die Nationalsozialisten getroffene Entscheidung der Daimler-Benz-Geschäftsführung, bei einem neuen Personenwagentyp das Fahrgestell so auszulegen, daß neben dem Ottomotor auch eine spätere Umrüstung auf ein leichtes Diesellaggregat ohne Probleme möglich sein sollte (vgl. E. Diesel, 1955: 76; Siebertz, 1951: 70). Eugen Diesel schreibt diese unter der Federführung von Generaldirektor Kissel getroffene Entscheidung in "ausschlaggebendem Maße wirtschaftlichen Einsichten und kaufmännischen Impulsen" zu, die - interpretiert man die verschiedenen Andeutungen richtig - gegen den Widerstand der Ingenieure des Automobilmotorenbaus durchgesetzt wurden. In einer eigens gegründeten Entwicklungsabteilung im Werk Gaggenau und mit Ingenieuren und Technikern, die aus der schon geraume Zeit bestehenden Lkw-Dieselmotorenabteilung rekrutiert werden mußten, begannen die ersten Arbeit an dem neuen Motor parallel zur Weiterentwicklung kleinerer konventioneller Ottomotoren (E. Diesel, 1955: 74ff.; Barthel/Lingnau, 1986: 106ff.); mit der Situation des Jahres 1891/92 vielleicht insofern vergleichbar, als es sich auch hier um die Entscheidung einer Geschäftsleitung gegen den betriebsinternen und über den im "herrschenden Stand" rückversicherten Konsolidierungskurs handelte und damit die ordnenden Strukturen außer Kraft setzte. Auch bei diesem Geneseprojekt sollte sich zeigen, daß der industrielle Kontext auf die Konfiguration des Motors "abfärbte". Damit konnte auch dieses Projekt von einer vorhandenen Infrastruktur profitieren, was die Ausbildung eines stabilen maschinellen Funktionsmodus beförderte, sich aber hinsichtlich der Gebrauchsfähigkeit in einer deutlichen Milieuschädigung dokumentierte.

Schon die Formulierung der entwicklungsleitenden Prämissen und die Setzung der Rahmenbedingungen durch den Entwicklungschef Nallinger zeigten eine überdeutliche Anerkennung des ottomotorischen Entwicklungspfades. Das Volumen des "Personen-Diesels" sollte "um den Betrag höher zu wählen (sein), der nach dem jeweiligen Stand der Technik erforderlich war, um auf das gleiche Drehmoment des entsprechenden Benzinmotors zu kommen" (E. Diesel, 1955: 76). Hinter dieser so scheinbar harmlosen Formulierung verbarg sich aber ein Anschlußzwang der Dieselmotorenentwicklung an die im Automo-

bilbau vorherrschenden Konventionen. "Die Fahrzeuge mußten also in ihren Hauptteilen so übereinstimmen, daß innerhalb des gleichen Fahrzeugtypes sowohl für Benzin- wie für Dieselmotor die gleichen Hauptaggregate verwendet werden konnten, somit Karosserie, Rahmen, Getriebe, Kupplung, Antriebswelle, Hinterachse und so weiter gleich wurden" (E. Diesel, 1955: 77). Diese "enge Gasse" - einmal die vorskizzierten Rahmenbedingungen der ottomotorischen Antriebssysteme, zum anderen der Bezug auf den "herrschenden Stand" der schnellaufenden Dieselmotoren, die überhaupt keine Revision bisheriger "Schließungsentscheidungen" bedeutete, sondern ganz auf den Erhalt konstruktiver Sicherheit bedacht war - ließen für einen Fahrzeug-Dieselmotor kaum noch Entwicklungsraum. Der erste Prototyp verfügte mit einem Hubraum von 3,8 Litern dementsprechend über ein viel zu hohes Leistungsgewicht und machte den Betrieb in einem konventionellen Pkw-Chassis unmöglich. Erst 1936 konnten mit 2,5 Litern Hubraum die für einen Fahrbetrieb gerade noch akzeptablen 45 PS erreicht werden, die erzielte Literleistung von 17,7 PS lag jedoch beispielsweise weit hinter den 22,8 PS/l zurück, die ein Junkers-Flugdieselmotor knapp zehn Jahre zuvor schon erreicht hatte, freilich auf der Basis ganz anderer Konstruktionsentscheidungen. Der schwere und in seiner Leistungsfähigkeit sehr eingeschränkte Motor blieb daher im praktischen Fahrverhalten der Ottoversion unterlegen und konnte seine "Verwandtschaft zu den Nutzfahrzeugen" nicht verleugnen (vgl. Barthel/Lingnau, 1986: 109, 168; G. Hack, 1987: 280f.). Der Eintrittspreis des Dieselmotors in den Kernbereich des "herrschenden Standes" motorischer Antriebssysteme war also wiederum die (Selbst-)Verpflichtung auf Randbereiche, denn der "260D", so die Typenbezeichnung, bekräftigte nur die Vorurteile gegenüber dem Dieselmotor als einer anspruchlosen und motorisch eingeschränkten Antriebstechnik. Die ersten Fahrzeuge wurden auch nur in einer 6-sitzigen "Landaulet"-Ausführung geliefert, die vorwiegend als Taxi- und Mietwagen dienten; deren Nutzer aber mit einer bis dahin "unbekannten Wirtschaftlichkeit entschädigt wurden" (vgl. E. Diesel, 1955: 81; Barthel/Lingnau, 1986: 108).

Versucht man die Motive dieser überraschenden Entscheidung des Daimler-Benz Vorstandes zu ergründen, die schließlich zum Einsatz des Dieselmotors in einen Personenkraftwagen führten und damit

die Sicherung des bisherigen Terrains zumindest anfangs zu gefährden drohten, stößt man auf ein ganzes Bündel von Bedingungen und Voraussetzungen der unternehmerischen Planung, die diese Entscheidungen des Generaldirektors der Daimler-Benz AG erst verständlich machen. Zu Beginn der 30er Jahre drohte die allgemeine desolote wirtschaftliche Situation die Automobilindustrie nämlich in eine Existenzkrise zu bringen. "Der Kraftwagen ist, obgleich er so lebhaft benutzt wird, immer noch nicht völlig in die Kulturwelt eingebürgert", hatte Artur Fürst noch 1924 resümiert und hinzugefügt, daß die "allgemeine Anschauung über sein Wesen keinswegs gefestigt" sei (Fürst, 1924: Bd. 2: 69). Die Mehrzahl der Hersteller konzentrierte sich in Deutschland in schon traditioneller Weise auf die Fabrikation großer, teurer und repräsentativer Karossen. Dieser über die 20er Jahre stabile Trend zum großen Wagen bei einer "auffallenden Zurückhaltung" für Kleinwagen, mit jährlichem Modellwechsel und einem breiten Angebot individueller Zusammenstellungen der verschiedenen technischen Komponenten und Stilelemente, sicherte dem Auto die Funktion als Statussymbol, bis mit der Wirtschaftskrise der 30er Jahre auch dieses Marktsegment mehr und mehr zusammenschmolz (vgl. Blach, 1973: 20ff.). Die Zulassungszahlen von Pkws, Lkws und Bussen deutscher Fabrikate gingen von 122.661 Einheiten im Jahre 1928 auf 81.946 zurück (1930) und erreichten 1932 noch 45.736 Einheiten (vgl. Eckermann, 1981: 99). Auch im internationalen Vergleich blieb die Motorisierungsdichte Deutschlands weit hinter denen der großen Industrienationen zurück: In den USA kamen im Jahre 1931 auf einen Kraftwagen 4,6 Einwohner, in Frankreich 27, in Canada und in Großbritannien 31, während im Gebiet des Deutschen Reiches (ohne Saarland) 94 Einwohner pro Kraftwagen gezählt wurden (vgl. Automobiltechnische Zeitschrift, 1931: 621ff.; vgl. auch Seherr-Thoss, 1979: 231). Zeitgenössische Beobachter spekulierten bereits über das Ende der "Ära des Benzinmotors" (Fried, 1931: 14f.) und sprachen von einer "Todeskrise" für die heimische Autoindustrie (Betz, 1931: 11f.). Die "Schraube (sei) überdreht", beklagte man im führenden Fachjournal "Automobiltechnische Zeitschrift", man habe "der deutschen Kraftfahrt - zur Freude der Reichsbahn - nun glücklich mit Erfolg den Hals umgedreht" (Ostwald, 1931: 225; 226). Die schon "schwachbrüstige" (Wolf) deutsche Autoindustrie verfiel unter der Kriseneinwirkung fast der Schwindsucht, 1933 waren nur 40.000 Be-

schäftigte registriert, was einem Anteil von gerade 0,3 % aller Industriebeschäftigten entsprach (vgl. W. Wolf, 1987: 129). Die sächsischen Hersteller Horch, Audi, Wanderer und DKW schlossen sich zur Auto-Union AG zuammen, die Adam Opel AG wurde von General Motors übernommen, bekannte Markennamen wie "Protos" oder "NAG" verschwanden ganz vom Markt, dagegen überlebte der süddeutsche Automobiltrust mit Daimler-Benz und BMW dank der engen Verbundenheit mit der Deutschen Bank. Allein beim Daimler-Benz-Konzern hatten sich Umsatz und Beschäftigtenzahl 1932 gegenüber 1927 halbiert, die Kapazitätsauslastung betrug noch 23 % und ließ in den Jahren 1929-31 einen Verlust von über 32 Mio. RM entstehen (vgl. Roth, 1987: 333). Es erscheint daher keineswegs vermessen anzunehmen, daß, wenn mit der Übernahme der Regierungsgeschäfte durch die Nationalsozialisten nicht gleichzeitig auch ein Programm zur "Volksmotorisierung" gestartet worden wäre, dessen schwergewichtigsten Bestandteile - nur notdürftig getarnt - als Wiederaufrüstungsmaßnahmen abgewickelt wurden, sich die deutsche Automobilindustrie kaum von den Folgen der Wirtschaftskrise erholt haben dürfte. Die bereits von der Industrie begonnene "Neuordnung" der LKW-Anbieterstruktur wurde von der nationalsozialistischen Reichsregierung genauso forciert wie die Gespräche mit den Vertretern des Vereins zur Vorbereitung der Autostraße Hansestädte-Frankfurt/Main-Basel (Hafraba). "Im Rahmen des Gesetzes über den Neuaufbau des Reiches übernahm das Reich die Verkehrshoheit, beseitigte die bisherigen kommunalen und regionalen Hemmnisse der Kraftverkehrsentwicklung und schuf sich mit dem Reichsverkehrsrat ein Lenkungsinstrument, das alle Bereiche der Motorisierungspolitik koordinierte (Roth, 1987: 194). Der Erwerb einer Fahrerlaubnis wurde erleichtert, die Verkehrsordnung im Reich vereinheitlicht, die Versicherungskosten gesenkt und Betrieben die Möglichkeit geboten, 70 % des Kaufpreises eines neuangeschafften Kraftwagens steuermindernd geltend zu machen. Die parallel zu diesen Maßnahmen eingerichtete "Sammelstelle für Nachrichten über den Kraftverkehr", eine für die Konfiszierung erforderliche Datenerhebungseinrichtung, ließ aber bereits erkennen, daß neben den unbestreitbaren sozialpolitischen Motiven die Massensmotorisierung als Teil der Aufrüstungspolitik begriffen wurde (vgl. Roth, 1987: 194). "Keine Heeresmotorisierung ohne Wirtschaftsmotorisierung" formulierte man im deutschen Generalstab offensichtlich mit

Blick auf die im Vergleich zu den zukünftigen Kriegsgegnern geringe Fahrzeugdichte in Deutschland (zit. nach Yago, 1980: 720).

Im Ergebnis erzielten diese Maßnahmen einen "durchschlagenden Erfolg": Schon 1938 registrierte man gegenüber der Situation Ende 1932 im Pkw-Bereich eine Steigerung der Produktion um 637 %, bei Omnibussen gar um 2.864 % (Mauersberg, 1966: 434).

Die Kursentwicklung deutscher Automobilaktien (in RM)

	1933	1935	1937	1940
Adler	49	85	115	154
Daimler-Benz	35	86,3	141,5	191
Humboldt-Deutz	-	-	136	152
MAN	71	90,3	128	197
NSU	14	95	165	187

Quelle: Seherr-Thoss, 1979: 357

Ein weiteres in dieses Paket eingeschnürtes Element sollte schließlich dem Fahrzeug-Dieselmotor neue Optionen und Nutzungsperspektiven bieten: das Projekt eines "felddiensttauglichen Kleinwagens", dessen "zivile" Variante als sozialpolitisches Programm den Gedanken der Volksmotorisierung beleben sollte. Bei der Zusammenarbeit zwischen den zuständigen Reichsstellen und dem Automobilverband (RDA) zeichnete sich aber sehr schnell ab, daß die von der Autoindustrie bislang generierten und im "herrschenden Stand der Technik" fein strukturierten technischen Wissensbestände keineswegs den vom "Führer" geforderten Leistungsprofilen entsprachen. Der neue Volkswagen sollte unter 1.000 RM kosten, eine Dauergeschwindigkeit von 100 km/h erreichen können, dabei aber nicht mehr als 7 Liter Kraftstoff pro 100 km verbrauchen, einer vierköpfigen Familie mit Gepäck Platz bieten und damit nach Auskunft von Vertretern der Reichskanzlei sehr wohl auch militärischen Interessen entsprechen, da sich damit "nach Entfernung des Aufbaus drei Mann, ein Maschinengewehr und Munition unterbringen" ließen (zit. nach Kind, 1990: 15; Kluge, 1960: 349; Seherr-Thoss, 1979: 334).).

Da außer der Opel AG, die aber nach der Übernahme durch General Motors nun etwas im rüstungspolitischen Abseits stand, kein deutsches Automobilunternehmen die geforderten Leistungen erreichen konnte, mußte der mit der Federführung des Projektes beauftragte Automobilverband die Frage der technischen Machbarkeit anzweifeln lassen, um die bereits eingeschlagenen Konstruktionswege auch weiterhin begründet fortsetzen zu können. Dem seit 1931 in einem eigenen Konstruktionsbüro arbeitenden Ferdinand Porsche gab man daher den Auftrag zur Entwicklung einer Machbarkeitsstudie und fügte unmißverständlich hinzu: "Herr Porsche, wenn Sie das Geld verbraucht haben und sagen, die Aufgabe ist unlösbar, dann ist es genau das, was wir von Ihnen erwarten" (zit. nach Porsche/Molter, 1989: 70). Dies bedeutete aber, daß, "wenn es nach der Industrie gegangen wäre", "wir nicht einmal den Schein einer realen Volkswagen-Möglichkeiten kennen gelernt" hätten (Quint, 1951: 190).

Bei der Daimler-Benz AG, die wie kein zweiter Hersteller zur Sicherung der ökonomischen Existenz auf Rüstungsaufträge angewiesen war, sah man sich dennoch auch zur Entwicklung technischer Optionen gezwungen, mit denen gegebenenfalls in die beginnenden Verhandlungen gegangen werden konnte. Zu diesem Zwecke grub man den 1928 vom Mehrheitsaktionär Deutsche Bank abgeschmetterten Vorschlag eines Kleinwagens wieder aus, den man im Juli 1933 als "felddiensttaugliches" Fahrzeug mit Heckmotor vorstellte. Der damals unter der Federführung der Pkw-Ingenieure projektiert Wagen (Typenbezeichnung 130 H) sollte einen Boxermotor erhalten, der im konventionellen Ottoverfahren mit 1,3 l Hubraum 26 PS leisten und nicht schwerer als 1.000 kg sein sollte (vgl. Barthel/Lingnau, 1986: 100). Allerdings hatte wohl die Geschäftsleitung sehr schnell errechnet, daß auch mit diesem Rückgriff auf bereits aufgegebene Pläne weder der geforderte Kaufpreis noch der erwünschte Kraftstoffverbrauch erreicht werden konnte und der bislang mitgetragene Konsolidierungskonsens für Daimler-Benz im Falle des Volkswagen-Projektes in seiner Bedeutung eingeschränkt werden mußte. Die Geschäftsleitung unter Generaldirektor Kissel drängte darauf, den bislang von den Automobilingenieuren so vehement abgelehnten Dieselmotor als Antriebssystem für einen Kleinwagen in die Planungen einzubeziehen. "Kissel, der auf der Arbeitsausschußsitzung über das neue Kleinwagenprogramm berichtete, spekulierte, falls die Konstruktion eines Dieselmotors

tors für das projektierte 1,3-Liter-Fahrzeug gelinge, sei das dann schon die Lösung der Frage des Volkswagens..., indem der Anschaffungspreis durch eine günstige Wirtschaftlichkeit schon nach kurzer Zeit mehr wie ausgeglichen sein würde" (Roth, 1987: 198). Die im Vergleich zu allen anderen deutschen Herstellern sehr hohen Fertigungskosten des Daimler-Benz-Konzerns zwangen die Unternehmensleitung zu Kompensationsmaßnahmen, die sich damit sogar abseits des sicheren Terrains des "herrschenden Standes der Technik" bewegten und auch ein gewisses Risiko für eine schnelle technische Umsetzung bedeuteten (vgl. auch W. Wolf, 1987: 130). Die Aussicht auf lukrative Beschaffungsaufträge im Rahmen der Wiederaufrüstung hatte aber auch andere traditionelle Dieselmotorenhersteller zu einer Modifizierung der bisherigen Fertigungs- und Entwicklungsstrategien bewogen, die ebenfalls soweit ging, die vom "herrschenden Stand der Technik" klar skizzierten Zuständigkeiten aufzuweichen. Der Krupp-Konzern überraschte die Fachwelt 1934 mit einem 50 PS luftgekühlten Diesel-Boxermotor, und zu den Planungssitzungen über das Volkswagenprojekt zog man behördlicherseits Vertreter der MAN hinzu, einem Unternehmen, daß über keine eigene Pkw-Produktion verfügte, dafür aber als traditionsreichster Dieselmotorhersteller galt und darauf hindeutete, daß die Frage des Antriebssystems noch keineswegs geklärt war (Seherr-Thoss, 1979: 260f.; vgl. Roth, 1987: 205).

Durch diese Entscheidung der Daimler-Benz AG, mit der wohl die von Eugen Diesel genannten "kaufmännischen Impulse" gemeint sein dürften, waren zwar die Vorbehalte der oberen Konzernführung gegenüber dem Einsatz des Dieselmotors im Kleinwagen beseitigt, die technische Umsetzung und konstruktive Betreuung des Projektes war damit aber noch keineswegs gesichert. Daß im Ergebnis doch wieder nur ein "angepaßtes", sprich den Kern der bisherigen Technikstrukturen nicht bedrohendes Antriebssystem heraus kam, lag offensichtlich in einer "stillen Obstruktionspolitik" der Untertürkheimer Konstrukteure, die sich damit den Versuchen der Geschäftsleitung, die herrschenden Selektionskriterien zu suspendieren, erfolgreich widersetzen konnten (Roth, 1987: 199; Barthel/Lingnau, 1986: 102). Neben dem "260D" der Daimler-Benz AG erschien ein Jahr später mit dem "Rekord" der Hanomag AG ebenfalls ein Pkw mit Dieselaggregat auf der Automobilausstellung, der aus 1,9 l Hubraum eine Leistung 35 PS entwickelte. Beide Typen, von denen knapp 3.000 Exemplare pro-

duziert werden konnten, repräsentierten mit ihren schweren und unhandlichen Kammermotoren damit einen ersten Konsolidierungskonsens für Pkw-Dieselmotoren, der sich in einer weitgehenden Anerkennung der ottomotorischen Vorgaben ausdrückte (vgl. G.Hack, 1987: 266; 280). Damit war es gelungen, die "technische Option" Pkw-Dieselmotor als ein maschinelles System auszubilden und zu stabilisieren, ohne daß aber die unter der Dominanz der ottomotorischen Kontexte getroffenen "Schließungs- und Konsolidierungsentscheidungen" später wieder aufgegeben und reformiert wurden.

Es war also erneut ein staatliches Rüstungsprogramm, das die existierenden kognitive, soziale und ökonomische Bindekräfte herrschender Technikstrukturen soweit aufweichen konnte, um dem dieselmotorischen Antrieb neue Perspektiven zu erschließen. Schon im Vorfeld des Ersten Weltkriegs, als gerade das Diesel-Projekt überhaupt "auf der Kippe" stand, mobilisierte die Aussicht auf eine Verwendungsmöglichkeit im Krieg neue und dringend benötigte Ressourcen. Im Rüstungspaket fest eingeschnürt, verhalf der Kriegseinsatz dem Dieselmotor zum Durchbruch und zur Anerkennung als "legitimer" Wissensbestand, allerdings nur um den Preis einer strikten Anerkennung der dem Motor exklusiv zur Verwertung zugestandenen Nutzungsbereiche. Die strikte Formierung der technischen Anbieterstruktur konnte stabilisiert werden, da die beteiligten Unternehmen über die grundlegenden Konstruktionsprinzipien Konsens erzielten und diesen in einen "herrschenden Stand der Technik" einschrieben und auch weiterhin pflegten. Diesbezügliche Absprachen blieben so lange stabil, bis die unter dem nationalsozialistischen Regime forcierte Volksmotorisierung als Element eines Rüstungsprogramms mit der Option auf langfristige Beschaffungsaufträge erneut einen "Quantensprung" in der Dieseleentwicklung auslösten. Der strikte Ausschluß des Dieselmotors für die Kernbereiche automobiler Nutzungen wurde durchbrochen, die sorgsam gehütete Platzordnung im "herrschenden Stand der Technik" geriet durcheinander: Ressourcen wurden bereitgestellt, um den Dieselmotor als Pkw-Antrieb zumindest über einen kleinen "faktischen Stand der Technik" zur Bezugsebene auszubilden. Allerdings hatte die Orientierung am Kondensstreifen des Ottomotors den Motor erneut in ein unpassendes technisches Gerüst gezwungen, was die Akzeptanz des neuen Antriebssystems durch Wiedererkennung bereits bekannter

und erprobter Konstruktionsprinzipien erleichterte, aber nur um den Preis einer dauerhaften Außenseiterposition.

Aus der Agonie ins Rampenlicht der Industriepolitik

Auch nach Ende des Zweiten Weltkrieges schien für einige Jahre die technische Perspektive automobiler Antriebssysteme und die Frage der Zuordnung der als "herrschend" anzuerkennenden Konstruktionsprinzipien ähnlich wie nach dem Ersten Weltkrieg undeutlich. Insbesondere die schwierige Versorgung mit Rohölprodukten ließ offenbar die Frage nach motortechnischen Verfahren zunächst einmal offen. Als Daimler-Benz die Fertigung des kleinen Mercedes vom Typ "170" wieder aufnahm, entwickelte die Benzinervariante aus den 1.697 ccm Hubraum 38 PS bei 3.600 U/min und erreichte ein maximales Drehmoment von 98 Nm (Newton-Meter) bei 1.800 U/min. Den mit einem "Diesel" ausgestatteten Fahrzeugen gleichen Typs gelangen bei gleicher Hubraumgröße ebenfalls 38 PS bei 3.200 U/min und einem maximalem Drehmoment von 96 Nm bei 2.000 U/min. Im Leistungsvermögen konnte die Dieselvariante daher durchaus mit dem Benzinmotor gleichziehen, aber mit einem Verbrauch von nur 6,4 l auf 100 km gegenüber 9,7 l des "Benziners" erheblich wirtschaftlicher arbeiten und versprach zudem durch die wesentlich niedrigere Drehzahl eine höhere Kilometerleistung. Als nach einem Jahr beide Motoren "aufgebohrt" (= vergrößert) wurden und nun über 1.767 ccm Hubraum verfügten, entwickelte der Benzinmotor daraus eine Leistung von 45 PS, der Diesel jedoch nur noch 40 PS, und "der Abstand (wurde) im Laufe der Jahre immer größer" (Kruse, 1982: 116). Während an der Leistungsfähigkeit des Benzinmotors ständig gearbeitet und verbessert wurde, blieb der Fahrzeug-Dieselmotor bis 1961 auf einem äußerst bescheidenen Niveau stehen. Als mit dem Typ "190D" erstmals 1.988 ccm Hubraum zur Verfügung standen, stellte die Leistung von 55 PS offenbar alle Ansprüche soweit zufrieden, daß der Motor bis 1976 überhaupt nicht verändert wurde (vgl. G. Hack, 1987: 281ff.). Im übrigen schrieben alle anderen Hersteller die schon aus der Vorkriegszeit stammenden Zuständigkeiten für die verschiedenen Antriebssysteme weiter fort und konzentrierten sich auf den benzinbetriebenen Viertakt-Ottomotor. Selbst der Volkswagenkonzern, der immer auf den Einsatz sparsamer und einfacher Technik bedacht war,

nahm die vom Porsche-Konstruktionsbüro angebotenen Pläne für einen Diesel-Boxermotor nicht auf und verfolgte recht beharrlich den erneut erreichten und vielfach gesicherten Konsolidierungskonsens (vgl. Porsche/Molter, 1989: 213f.).

Dieser "Dornröschenschlaf" wurde erst 1976 gestört und auch nur deshalb, weil zwischenzeitlich der Schock der "Ölkrise" erstmals, dafür aber umso drastischer, die Frage nach der Zukunft automobiler Fahrzeuge aufgeworfen hatte. Insbesondere der viel zu sorglose Umgang mit der Verbrennung fossiler Brennstoffe wurde der Automobilindustrie angelastet, die daraufhin kurzfristig die prinzipiell zur Verfügung stehenden und maschinell ausgebildeten dieselmotorischen Antriebsaggregate als technische Offensive und Ausdruck innovativer Fähigkeiten nach einer langen Phase der Agonie in den Vordergrund der Entwicklungsprogramme stellte. Während noch im Jahre 1970 nur knapp 100.000 Diesel-Pkw in Westeuropa verkauft wurden, stiegen die Zulassungen 1975 auf 218.000 Einheiten und erreichten 1980 mit 800.000 Pkws nochmals eine deutliche Steigerung (G. Hack, 1987: 35). Zum ersten Male in der über 100 Jahre alten Geschichte der Verbrennungskraftmaschine stellte damit der Dieselmotor auch auf dem "heiligen Terrain" des Personenkraftwagens die Dominanz des Ottomotors in Frage.

Dieser Trend hielt jedoch nicht lange an. Neben dem Bedürfnis nach einer hohen Wirtschaftlichkeit gewann auch das Interesse an einer möglichst umweltschonenden Motorvariante mehr und mehr an Bedeutung, das auch durch staatliche Gesetzesinitiativen als Anforderungsprofil verbindlich und dauerhaft festgeschrieben wurde. Mitte der 80er Jahre zeigte sich daher, daß die von den Betreibern und Promotoren des dieselmotorischen Antriebs konsequent an der ottomotorischen Verbrennung ausgerichteten "Schließungs- und Konsolidierungskurs" dem Dieselpinzip konstruktive Kompromisse aufgezwungen hatten, die ein weiteres Vorrücken im "herrschenden Stand der Technik" verhinderten. Eine Kombination der spezifischen Vorteile des Dieserverfahrens mit den Funktionseigenschaften eines konventionellen Ottomotors, immer unter dem Primat der Funktions- und Betriebssicherheit und der Wahrung bisheriger Konsolidierungsentscheidungen, mußte nicht nur um den Preis behäbigerer Motoreigenschaften - sondern konnte auch im jüngsten "Trimmprogramm" nur durch eine hohe Schadstoffbelastung erkaufte werden.

Während 1897 die gesamte Triebwerkskonstellation des Ottomotors als "technische Krücke" interpretiert und von verschiedenen Projekten zur Disposition gestellt wurde, blieb immerhin die Frage nach der Brennraumgestaltung und der mechanischen Übersetzung auch noch nach Ende des Ersten Weltkriegs offen und wurde erst im Laufe der 20er und 30er Jahre geschlossen. Bis 1945 stand dem sich konsolidierenden Stand schnellaufender Dieselmotoren mit dem Junkers-Geigenkolbenmotor noch eine leistungsfähige Diesel-Alternative entgegen, die zwar nicht in den herrschenden Diskurs der Dieselbauer einbezogen war, aber als "faktischer Stand der Technik" zumindest die Möglichkeiten alternativer Entwicklungspfade demonstrierte. Als namhafte Automobilhersteller wie Opel (1972), Citroen (1975), VW (1976), Alfa (1977), Ford (1978) und Audi (1978), die nach Ende des Krieges keine Pkw-Dieselmotoren produziert hatten, den Einstieg in den beginnenden "Dieselboom" vorbereiteten, stand nicht einmal die Wahl des Kammervfahrens zur Disposition: Alle Hersteller entschieden sich für einen ganz bestimmten Kammertyp ("Wirbelkammer"), während man erst in den letzten Jahren langsam daran ging, die bisherigen "Schließungsentscheidungen" zu überprüfen und auf das im "herrschenden Stand der Technik" für Nutzfahrzeuge überwinterte Direkteinspritzsystem, ein ehemals sehr populäres Verfahren, zurückzugreifen und mühsam für die "Wiedereingliederung" in den "herrschenden Stand" der Pkw-Dieselmotoren vorzubereiten (vgl. Elberth u.a. 1989: 72ff.). Sicherlich konnten mit jedem Abschnitt der Festschreibung von Entscheidungsstrukturen Übersichtlichkeit, Stabilität, Planungssicherheit und damit durch stabile Selektionskriterien optimale kognitive und soziale Bedingungen für eine schnelle Generierung technischen Wissens mit hohen ökonomischen Vorteilen erreicht werden; zugleich aber entkoppelten sich diese Maßnahmen der "sozialen Härtung" in ihrer Selbstbezüglichkeit immer mehr von den gesellschaftlichen Anforderungsprofilen.

III. INSTITUTIONALISIERTE TECHNISCHE WISSENSBESTÄNDE IN FORMIERTEN INDUSTRIEBRANCHEN

10. "Gewinner" (Diesel) und "Verlierer" (NSU/Wankel) im Vergleich: Voraussetzungen und Bedingungen zur Durchsetzung und Absicherung von Geneseprozessen

In den vorherigen Kapiteln haben wir versucht, Technikgenese als einen "Schließungs- und Konsolidierungsprozeß" zu konzeptualisieren und für eine empirische Forschungsperspektive abzusichern. Mit der Aufnahme in den "herrschenden Stand der Technik" fand die Genese-phase ihren Abschluß, da die erzeugte Technik nun mit einer Funktionsgarantie versehen als verwendungsfähiges Wissenspaket akzeptiert und auf diese Weise selbst wieder zum kognitiven, sozialen und ökonomischen Orientierungsrahmen und neuer technischer Entwicklung wird. Wir hatten weiter darauf verwiesen, daß im Prozeß dieser Institutionalisierung technischen Wissens die zeitlich befristeten Bedingungen des Entstehungskontextes in die Konfiguration fest "eingeschrieben", maschinell stabilisiert und sozial "gehärtet" werden. Mit der Konstituierung des "herrschenden Standes der Technik" ist damit auch der "Prozeß der De-Kontextualisierung" schon soweit abgeschlossen, daß die sozialen und politischen Motive bei der Generierung und Absicherung der Wissenbestände "verschwunden" sind (vgl. Joerges, 1989a: 242). Bereits in der theoretischen und institutionellen Formung der Technischen Thermodynamik Mitte des 19. Jahrhunderts wurde die bis dahin vorherrschende Fixierung auf die Kolben-Dampfmaschine mit ihren grundlegenden Funktionsprinzipien und konstruktiven Merkmalen in den technik-wissenschaftlichen Diskurs übernommen und als willkommenes Strukturierungsangebot für die Konstruktion von Kraftmaschinen weiter fortgeschrieben. Diesels Plan, einen universellen und alle bisherige Wärmekraftmaschinen ersetzenden Motor zu bauen, der in seinen technischen Eigenschaften über die bisherigen Verwendungsmuster weit hinausreicht, wurde so bereits durch den Genuß der Hochschulausbildung auf das dort gepflegte und verbreitete Grundmuster des früheren 19. Jahrhunderts verpflichtet und schließlich im industriellen Entstehungskontext unter der Regie der MAN in

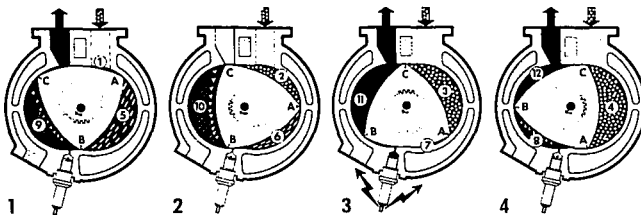
die "Branchenkultur" des Maschinenbaus eingepaßt. Um diese nach außen abgedichtete Technikstruktur in ihren Grundfesten aufzuweichen und die herrschenden Selektionskriterien und Perzeptionsmuster außer Kraft zu setzen, bedarf es daher eines wohl organisierten politischen Prozesses, bei dem das "technische Potential" oder die konstruktive Geschicklichkeit nur ein Element darstellt, der Glaube an die "bessere Technik" möglicherweise gar die Bedeutung der machtpolitischen Sicherheitsleinen des "herrschenden Wissens" unterschätzt. Wir werden in diesem Kapitel die einzelnen Etappen der gelungenen Genese des Dieselmotors zusammenfassend rekonstruieren und mit dem Vergleich eines ähnlichen, aber gescheiterten Projektes insbesondere die Bedeutung interner Bindekräfte und politischen Sicherungselemente institutionalisierter Wissensbestände herausarbeiten. Neben der Beobachtung der Einflüsse sozialer Kontexte auf die inhaltliche Gestaltung von Technik und deren Institutionalisierung leiten wir zu Fragen nach den Bedingungen und Voraussetzungen eines erfolgreichen Erzeugungsprojektes bzw. gescheiterter Entwicklungslinien über.

Das ausgewählte Projekt des NSU-Wankelmotors bietet sich für diese Vergleichsperspektive gleich aus mehreren Gründen an: Das in den 50er, 60er und 70er Jahren realisierte Vorhaben ermöglicht eine Ausweitung des analytischen Bezugsrahmens von Geneseprozessen über das ausgehende 19. Jahrhundert hinaus auf aktuelle Forschungs- und Entwicklungsabläufe, ohne daß der für die gesamte Untersuchung ausgewählte Branchenkontext verlassen werden muß und daher in einer vergleichbaren Situation die Bedeutung institutionalisierter Wissensbestände für die Entstehung und Entwicklung unkonventioneller Technikgeneseprojekte geprüft werden kann. Der NSU-Wankelmotor galt nämlich den zeitgenössischen Beobachtern ähnlich wie das Diesel-Projekt als "Revolution" im Verbrennungsmotorenbau (Löbsack, 1959), da hier ein vom klassischen Hubkolben-Triebwerk abweichendes Konstruktionsprinzip vom Status einer "technischen Option" in einen "herrschenden Stand" überführt werden sollte und zumindest für Teilbereiche des automobilen Spektrums einen grundlegenden Wandel der technischen Grundlagen bedeutet hätte. Während in beiden üblichen Konstruktionen der hin- und herschiebende Kolben im Zylinder erst mittels Pleuelstange und Kurbelwelle in rotierende Bewegung übersetzt werden muß, versucht der NSU-Wankelmotor die

angestrebte Rotationsbewegung direkt durch eine entsprechende Triebwerksgestaltung zu erreichen, indem ein Läufer in einem festen Gehäuse die für einen Verbrennungsprozeß notwendigen Verdichtungs- und Expansionsräume schafft (vgl. Wankel/Froede, 1960: 1ff.). Eine solche Konstruktionsform stellte - ähnlich wie das dieselmotorische Verfahren - vollkommen neue Anforderungen an die Optimierung von Brennräumen und Gemischbildung, entwertete also den bislang so gehegten und gepflegten Erfahrungsschatz im Verbrennungsmotorenbau, zwang zu einer Neufassung der fertigungstechnischen Infrastruktur und brachte durch veränderte motortechnische Eigenschaften auch Auswirkungen für das Nutzungsverhalten mit sich.

Beide Projekte wurden zudem von zwei "Außenseitern" initiiert, die zunächst ohne Rückversicherung auf die in der Branche herrschenden Standards an die Realisierung ihrer abweichenden Ideen gingen. In der für den Wankelmotor entwicklungsentscheidenden Phase suchte man regelrecht den Vergleich zum "Gewinner" Diesel. Eine von der VDI-Fachgruppe Fahrzeugtechnik 1960 in München veranstaltete Tagung, bei der zum ersten Mal der neue Motor vorgestellt werden sollte, wurde in Anlehnung an die VDI-Versammlung 1897 in Kassel, der ersten öffentlichen Präsentation des Dieselmotors, geplant und durchgeführt (vgl. VDI-Berichte Nr. 45, 1960: 6). Auch Felix Wankel selbst zog bei Vorhaltungen über die scheinbar unüberwindbaren Entwicklungsprobleme immer wieder den Vergleich mit den schwierigen und mühevollen Jahren bei der Realisierung des Dieselmotors heran (Der Spiegel, 1961: 30).

Abb. 14: Funktionsweise des NSU/Wankelmotors



Die Buchstaben A, B und C bezeichnen die Ecken des im Uhrzeigersinn kreisenden Kolbens (Läufers), sie zeigen also, wie er jeweils steht.

Die Zahlen 1 – 12 markieren den jeweils laufenden Stand des Gaswechsels für das Viertakt-Verfahren. Man verfolge die Zahlen in ihrer Reihenfolge auf den Schema-Zeichnungen 1 bis 4. Alle drei Kolbenseiten beteiligen sich am Gaswechsel-Prozeß.

Im einzelnen bedeuten:

Bild 1: Beginn des Ansaugvorgangs (1), Verdichten (5), Verbrennen und Arbeitstakt (9). Ein Gasrest wird noch ausgeschoben.

Bild 2: Ansaugen (2), Verdichten (6), Verbrennen und Arbeitstakt (10). Der Auslaß bei C wird gleich durch den rotierenden Kolben wieder geöffnet.

Bild 3: Ende des Ansaugens (3), Zündung der komprimierten Ladung (7), Ausschieben des verbrannten Gases (11).

Bild 4: Ende des Ansaugvorgangs (4), Beginn der Verbrennung (8), Ausschieben wieder den Einlaß für den nächsten Ansaug-Takt.

Der Kolben sitzt drehbar direkt auf der Exzenterwelle (Bild rechts, dort Mitte unten). Eine Innenverzahnung im Kolben kämmt mit einer fest im Seitenteil des Gehäuses angebrachten Außenverzahnung. So erhält der Kolben in seinem ovalförmigen Gehäuse eine kreisende Bewegung, die erst das Viertakt-Verfahren ermöglicht.

Quelle: Elberth u.a., 1989: 104

Wir werden die Etappen beider Projekte entsprechend dem konzeptionellen Verständnis als einzelne Phasen - "Einbruch", "Schließungs- und Konsolidierung" sowie "Institutionalisierung" - beschreiben und bei den Umgangsweisen mit den institutionellen Wissensbeständen auf die verschiedenen Politikstrategien und die im Vergleich zur Jahrhundertwende veränderten Bedingungen der Technikgenese eingehen.

Einbruch

Der Kältetechniker Diesel und der Autodidakt Wankel kamen keineswegs zufällig auf die Idee, eine neue Kraftmaschine zu entwickeln. Gleichwohl orientierten sich beide Außenseiter eben nicht wie viele ihrer erfinderischen Zeitgenossen an dem streng geordneten und diszi-

plinierten Wissensvorrat des "Standes der Technik", sondern an "technischen Optionen", die abseits der herrschenden Techniken als durchaus wünschenswerte, aber leider offenkundig nicht realisierbar erscheinende Ideen und Konstruktionsvorschläge galten. Bei Diesel war es der von Carnot angegebene "ideale Kreislauf", dessen technische Umsetzung eine Wärmekraftmaschine mit sehr hohen Wirkungsgraden in Aussicht stellte. Wankels Vorstellungen konzentrierten sich ganz auf das Rotationstriebwerk für Verbrennungsmotoren, das bei fast allen Wärmekraftmaschinen längst schon alltäglich, auch in der Automobilindustrie immer wieder angekündigt (vgl. Riedler, 1921b: 65ff.), aber bis dahin nicht verwirklicht worden war. Als beide "Erfinder" in die Phase erster konkreter Entwürfe eintraten, zwangen die komplexen Probleme bei der Umsetzung der Ideen in einen stabil reproduzierbaren Mechanismus zu einem Rückgriff auf bereits geschnürte Wissenspakete des "herrschenden Standes", um zumindest bei Teilbereichen über einen funktionsfähigen Modus verfügen zu können. Beide nutzten so das Viertakt-Arbeitsverfahren, dessen unbedingte Realisierung im Falle des Wankelmotors sogar als entwicklungsstrukturierendes Eliminierungskriterium für die verschiedenen Optionen der Rotationskonzepte diente (vgl. Korb, 1975: 17). Dieser Rückgriff zwang bei beiden Konzeptentwicklungen - dem isothermischen Verbrennungsprozeß sowie der rotierenden Triebwerksgestaltung - zu subtilen Anpassungsleistungen, die im Ergebnis für beide Projekte zwar mehr konstruktive Sicherheit aber auch dem Reformpotential unangemessene Entwicklungskorridore bedeuteten.

Dieser "Überformung" des ursprünglichen Motivs durch die Nutzung zur Verfügung stehender, also herrschender Elemente, standen auf der anderen Seite aber durchaus auch riskante Erweiterungsversuche entgegen, die in beiden Fällen überhaupt nicht mit den jeweils "herrschenden" Konstruktionsverständnissen in Einklang zu bringen waren. Diesels unbekümmerter Umgang mit hohen Zylinderdrücken verschlug den erfahrenen Motoren- und Maschinenbauern genauso die Sprache wie Wankels sichelartiger Brennraum, der in seiner Form gegen alle bis dahin geltenden technik-wissenschaftlichen und praktischen Erkenntnisse verstieß (vgl. Simsa, 1982: 48). Beiden Projekten wurde auf formalem Wege der Zugang zur industriellen Welt verwehrt. Die Vorschläge waren offenkundig auch nicht dazu geeignet, den bis dahin geltenden und als "herrschenden Stand der Technik" in-

stitutionalisierten Konsens zu erschüttern. Diesels zunächst erfolglose Bittgänge haben wir schon skizziert (vgl. Kap. 6). Wankels Projektentwurf zum Bau einer Rotationskolbenmaschine - zunächst in den 30er Jahren bei mehreren Unternehmen eingereicht (Daimler-Benz, BMW), nach dem Kriege nahezu allen Automobilunternehmen angeboten - kam offenbar jedesmal zu einem Zeitpunkt in die Diskussion, als sich die Industrie gerade gegenseitig nochmals der unbeirrten Fortschreibung des "herrschenden Standes der Technik" versicherten. Die Begründungsmuster für die Weigerung, sich mit unkonventionellen und nicht legitimen Konstruktionsideen beschäftigen zu müssen, blieben auch in den 40er und 50er Jahren die gleichen wie zu Zeiten Diesels. Allerdings wurde mit steigendem Produktionsausstoß das in fertigungstechnische Anlagen gebundene Kapital immer umfangreicher, ein grundlegender Wechsel der Produktlinie finanziell zu einem immer größeren Risiko und die Fortführung der eingeschlagenen Pfade von stärkeren Legitimationszwängen bestimmt. Opel erklärte kategorisch: "Bessere Motoren als unsere gibt es nicht" und BMW-Aufsichtsratsmitglied Quandt begründete die Ablehnung gegenüber dem Wankelprojekt mit der erhellenden Aussage: "Dann müßten wir zugeben, daß wir 34 Millionen für Hubkolben falsch investiert haben" (zit. nach Korp, 1973: 50; vgl. Korp, 1975: 31ff.). Auch bei dem traditionsreichen schwäbischen Fahrrad- und Motorradhersteller NSU in Neckarsulm sah man zu Beginn der 50er Jahre in der Forschungsabteilung überhaupt keinen Anlaß, den hohen Stand der Hubkolbenentwicklung zur Disposition zu stellen. Die über lange Jahre gesammelten Erfahrungen hatten immerhin zu beachtlichen Motorrad-Rennerfolgen der "hochgezüchteten" Maschinen geführt, und man beabsichtigte nicht, diesen sicheren Grund ohne Not zu verlassen, denn "das Gebiet der Drehkolbenmaschinen ist noch fast unerforschtes Neuland, dessen Erschließung bei vorsichtiger Schätzung 5 bis 10 Jahre in Anspruch nehmen dürfte", gab die entsprechende Abteilung in einem Antwortschreiben auf Wankels Projektvorschlag zu bedenken. "Bei aller Anerkennung der Bedeutung, die derartigen Kraftmaschinen einmal zukommen kann, übersteigt eine solche Entwicklungsarbeit unsere Möglichkeiten so weit, daß wir davon Abstand nehmen müssen, uns mit diesem Projekt näher zu befassen" (zit. nach Korp, 1975: 41).

Beide Projekte konnten den letztlich doch noch erreichten industriellen Zugang nur über die Aktivierung informeller Kontakte anbah-

nen, bei denen zwischen "Erfinder" und einzelnen Unternehmensmitarbeitern ein grenzüberschreitender "Sinnzusammenhang" konstituiert bzw. aktiviert wurde. Diesel nutzte die Beschäftigung als angestellter Ingenieur bei dem angesehenen Carl Linde hierfür weidlich und sehr geschickt aus. Zudem verfügte Diesel über enge Kontakte zum Leiter der Eismaschinenabteilung, war dem Direktor bereits bekannt und baute diese Beziehung systematisch aus, um so die Voraussetzungen für eine Resonanzfähigkeit auch eines so abseits vom herrschenden Wissenstand liegenden Projektvorschlag zu schaffen. Wankel hingegen hatte sich als Abdichtungsexperte für Drehschiebermotoren einen Bekanntheitsgrad erworben, der ihm während des Zweiten Weltkrieges nicht nur die Gründung einer eigenen kleinen Forschungs- und Entwicklungsfirma, der "Wankel-Versuchs-Werkstatt", ermöglichte und ihm lukrative Forschungsaufträge des Luftfahrtministeriums einbrachte, sondern auch zu intensiven Arbeitsbeziehungen mit der "Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt" (DVL) in Berlin-Adlershof geführt hatte. Alle entscheidenden Kontakte Wankels zur Industrie sollten später über Ingenieure eingefädelt, abgesichert und ausgebaut werden, die ebenfalls bei der DVL gearbeitet hatten und die Wankel aus dieser Zeit kannten.

Nachdem alle von Wankel angeschriebenen Firmen die Befassung mit einer solchen Maschine abgelehnt hatten, konnte er mit dem Chef der Rennmotorenabteilung der NSU, dem Ingenieur Fröde, immerhin für sein nach Ende des Krieges neugegründetes Unternehmen "Technische Entwicklungsstelle" (TES) einen Beratervertrag im Rahmen eines Projekts für Drehschiebermotoren erhalten (vgl. Hütten, 1986: 199f.). Über die Zusammenarbeit auf abgesichertem Terrain gelang es Wankel, nach und nach mit Fröde eine zentrale Figur eines Industrieunternehmens in die Welt der Rotationskolbenmaschinen einzuweißen und als Bündnispartner zu gewinnen. Gegenüber Diesels Strategien, durch den Aufbau eines externen Unterstützer-Netzwerkes die unternehmerischen Entscheidungen zu beeinflussen, konnte Wankels Vorgehen damit mehr unter dem Begriff "Trojanisches Pferd" zusammengefaßt werden, das aber bald im Unternehmen erkannt wurde und die alten Vorbehalte reaktivierte: "Ganz vernünftiger Kerl, der Wankel, nur soll er uns mit seinen Drehkolben vom Halse bleiben" (zit. nach Korp, 1975: 37). Damit waren zwar die Kommunikationswege geebnet und Übersetzungsleistungen erbracht, ohne daß jedoch

notwendige Ressourcen mobilisiert, Freiräume geschaffen und die Einbruchstellen in die Phalanx der herrschenden Technik bereits markiert waren. In beiden Projekten ermöglichte erst eine Verschiebung externer Bedingungen, den "herrschenden Stand der Technik" soweit unter Legitimationszwang zu setzen, daß die Projektvorschläge bei den Geschäftsleitungen Resonanz erzeugten und für einen Einstieg der Industrie - der allerdings bei beiden Projekten in sehr unterschiedlicher Qualität gelang - genutzt werden konnten. Dies erreichte durch äußerst geschickt geführte wechselseitige Verhandlungen mit Krupp und der Maschinenfabrik Augsburg bzw. später auch mit Sulzer, daß vor dem Hintergrund unkalkulierbarer Veränderungen in der zukünftigen Energienutzung seinem Motorenprojekt als Teil unternehmerischer Vorsorge- und Zukunftsplanungen eine prominente Stellung eingeräumt wurde. Während zu Zeiten Diesels der sich drastisch ausweitende Bedarf an dezentral verfügbarer Energie den bis dahin von den Maschinen- und Motorbauunternehmen gepflegten und gestützten Konsolidierungskonsens durcheinanderzuwirbeln drohte, war es im Falle des Wankelmotors ein zu Beginn der 50er Jahre grassierendes "Turbinen-Fieber", das die im "Stand der Technik" repräsentierten Wissens- und Erfahrungsbestände in ihrer Alleinherrschaft bedrohte. Das englische Unternehmen Rover startete 1950, General Motors und Fiat zogen 1954 nach und zwei Jahre später stellte Renault den Prototyp eines Fahrzeuges mit Gasturbine vor, andere Unternehmen wie Daimler-Benz experimentierten ebenfalls an Versuchswagen mit Turbinen-Triebwerk (vgl. Hütten, 1988: 444; Eckermann, 1981: 191f.). Die von der Öffentlichkeit und der Fachpresse mit großer Aufmerksamkeit verfolgten Versuchsfahrten stimulierten und beförderten eine breite Diskussion darüber, ob nun endlich auch beim Automobilmotor das antiquierte Kolbentriebwerk durch eine Turbinenkonstruktion ersetzt würde. "Die Verbrennungsmaschinen sind aber bisher nur als schwerfällige, kostspielige Kolbenmaschinen betriebsbrauchbar durchgeführt", hatte Alois Riedler schon 1921 kritisiert (Riedler, 1921b: 65). Während Turbinen in allen bedeutenden Anwendungsfeldern von Wärmekraftmaschinen - Flugzeuge, Schiffe, stationäre Kraftanlagen - durchgesetzt wurden und das Hubkolbentriebwerk längst nicht mehr zum Bestandteil des Konsolidierungskonsenses der jeweiligen Branchen gehörte, verteidigte nur noch die Automobilindustrie in zäher Manier das für ein motorisches

Triebwerk suboptimale Konstruktionsprinzip (vgl. Die Zeit, 6. April 1950, zit. nach Die Zeit, 6. April 1990, S. 53). Insbesondere unter dem Eindruck spektakulärer Erfolge der Strahltriebwerke im Flugzeugbau schien - so wurde in der Öffentlichkeit spekuliert - es auch nur eine Frage der Zeit, wann diese Triebwerkstechnik auch in dem "herrschenden Stand" der Automobilantriebe Terrain gewinnen würde. Unter diesen Umständen herrschte in der Autoindustrie erhöhte Alarmbereitschaft, und alle Entwicklungsprojekte abseits des gesicherten Terrains mußten mit größter Aufmerksamkeit verfolgt werden. Im Fall Wankel gelang eine Verknüpfung dieser externen Veränderungsprozesse mit dem Rotationsprojekt dadurch, daß der Maschinen- und Anlagenbaukonzern Borsig in einen recht unverbindlichen Kontakt mit der TES in Lindau getreten war, um über verschiedene Anwendungsmöglichkeiten von Rotationskolbenmaschinen - insbesondere für Kompressoren - zu verhandeln. Entwicklungschef Froede gelang es in einem Bericht an den NSU-Vorstand, diese Begegnungen zwischen Borsig und der TES als stabilen Arbeitszusammenhang darzustellen und in der Beschreibung der geplanten Projekte genau Wankels Idee einer Drehkolbenmaschine unterzubringen, deren technische Eigenschaften den Eindruck einer gefährlichen Konkurrenzsituation für die NSU-Absatzmärkte kleiner hochtouriger Motoren entstehen lassen mußte. "Bei Drehzahlen von 20 bis 30.000 U/min, die für eine reine Rotationskolbenmaschine ohne Schwierigkeiten beherrschbar sind, kann eine Baugröße, die etwa einer 1-Liter-Konservendose entspricht, 20 bis 50 PS abgeben" (Froede, zit. nach Korp, 1975: 43). Unter diesen Voraussetzungen durfte sich die Geschäftsführung dem Wankel-Projekt nicht entziehen, wollte man nicht in Gefahr geraten, daß ein Wettbewerber früher - und dann mit einem Erfahrungsvorsprung - angestammte Marktsegmente besetzte. Im Februar 1954 erweiterte man daraufhin den Beratervertrag mit Wankel um das Entwicklungsprojekt einer Rotationskolbenmaschine.

Die Situation für NSU war in dieser Zeit insofern mit der von MAN bzw. der Maschinenfabrik Augsburg zu Beginn der 90er Jahre des 19. Jahrhunderts vergleichbar, als die Zukunft der angestammten Produktlinie nicht gesichert schien. Obwohl die NSU AG - die Dresdener Bank kontrollierte über 50 % des Aktienkapitals - 1955 noch zum weltweit größten Zweiradproduzenten aufstieg, 6.626 Mitarbeiter über 25.000 Einheiten zusammenschraubten, 200 Mio. DM Umsatz erwirt-

schafteten, eine Dividende von 10 % auszahlen, zeichneten sich gravierende strukturelle Umbrüche in diesen Märkten bereits deutlich ab, die sogar die Existenz des Unternehmens bedrohten. Der Fahrradabsatz war schon seit längerem überwiegend zu einem Saisongeschäft geworden und auf das Frühjahr begrenzt, während die Ansprüche an die motorisierte Fortbewegung mit dem allgemeinen wirtschaftlichen Wohlstand ständig gestiegen waren und kaum noch durch die NSU-Erzeugnisse (Moped, Motorrad und Motorroller) aufgefangen werden konnten (vgl. Schneider, 1985: 185ff.; 249).

Der industrielle Zugang war Wankel damit zwar gelungen, allerdings zeigte dieses Kooperationsmuster deutlich andere Konturen als die von Diesel zusammengezwimmte Industriegruppe. Diesel war von Beginn an darauf bedacht gewesen, die Entwicklung und industrielle Fertigung seines Motorenprojektes nur in Zusammenarbeit mit den führenden Maschinenbauanstalten zu beginnen. Mit sicherem Gespür für die Notwendigkeit politischer Absicherungsmaßnahmen starteten die Versuchsarbeiten erst, als mit MAN, Krupp und Sulzer die Branchenführer so eingebunden werden konnten, daß die Gefahr einer Sabotagepolitik eines der führenden Unternehmen und die Formierung einer Gegen-Gruppe weitgehend minimiert werden konnte. Diesel hatte die ersten konzeptionellen Vorarbeiten auch weitgehend allein geleistet und von den ersten konstruktiven Umsetzungsschritten an eng mit der Industrie zusammenarbeiten und sich mit den dort vorherrschenden Interessen abstimmen müssen. Wankel hingegen verfügte mit der TES in Lindau über einen kleinen Stamm an erfahrenen Mitarbeitern, die ihm eine größere Eigenständigkeit in der Projektierungsphase ermöglichten und den Zugang zur Industrie weniger dringlich erscheinen ließen. Jedenfalls bemühten sich weder Wankel noch Wankels Promotor Froede um eine breitere industrielle Absicherung des Projektes und starteten die Entwicklungsarbeit an dieser motortechnischen Revolution in einem vergleichsweise kleinen Industrieunternehmen, das - nachdem 1929 der Automobilzweig an den FIAT Konzern verkauft werden mußte - als Branchenaußenseiter noch über keinen Marktzugang im Kraftwagenbereich verfügte. Erst 1957 meldete sich der schwäbische Zweiradhersteller mit dem "NSU-Prinz I" in den Kreis der Automobilanbieter zurück. Dieser Wiedereinstieg wurde aber von der Branche bereits argwöhnisch betrachtet und kommentiert (VW-Chef Nordhoff über NSU: "Die kleinste Automobil-

fabrik mit dem größten Maul", zit. nach Korp, 1975: 171), denn einmal verfügte NSU über eine solide finanzielle Basis, aber kaum noch über Erfahrungen im Bau von Autos und drohte somit, als Branchenneuling ohne Einbindung in die unternehmensübergreifenden Diskurse, zu einem "Wackelkandidat" bei der Verwaltung und Sicherung des bisherigen Konsolidierungskonsenses der technischen Einsatzkonzepte zu werden. "Ja, wir haben damals viel Geld verdient" und "wir haben in jenen Jahren so vieles probiert", erinnerte sich der damalige Vorstandschef v. Heydekampf rückblickend an diese Situation Mitte der 50er Jahre (zit. nach Korp, 1975: 44). Aus dieser optimistischen Grundstimmung heraus ist es auch zu verstehen, daß auf eine Bündnispolitik verzichtet und zu dieser Zeit auch noch keine aktive Lizenzpolitik betrieben wurde. Die Entscheidung, die Entwicklung einer Rotationskolbenmaschine aufzunehmen, sollte diese von NSU lange Zeit regelrecht kultivierte Außenseiterrolle noch bekräftigen. Als dieser Alleingang immer mehr zu einem unkalkulierbaren finanziellen und technischen Abenteuer geriet, war der schmale Grad zwischen Kooperation und Konfrontation im Verhältnis zur übrigen Branche bereits überschritten, die Widerstände schon formiert und wenige Jahre später, 1961, hing "zum ersten Mal in der 77jährigen Geschichte der NSU-Werke" der gesamte Kredit und das Börsenprestige des Unternehmens "an einer einzigen technischen Erfindung, dem Rotationskolben-Motor des Felix Wankel" (Der Spiegel, 1961, S. 22).

Ganz anders die Situation im Falle des Dieselpjekts. Hier hatte sich insbesondere für die MAN die konjunkturelle Lage auf den Absatzmärkten der angestammten Produkte wieder soweit stabilisiert, daß zunächst gar nicht an die Fertigung des neuen Motors im großen Maßstab gedacht wurde und der innerbetriebliche Stellenwert des Motors während der ersten Entwicklungsperiode eher noch zurückging. Ende 1956 bemühte sich die Geschäftsleitung der NSU beim Landesgewerbeamt in Baden-Württemberg um ein bedingt rückzahlbares Forschungsdarlehen. Doch während im Falle des Dieselmotors die Kontakte zu den öffentlichen Stellen politisch sehr gut vorbereitet waren und immer unter Wahrung der Definitionsmacht bei der Formulierung der Bedingungen und Festlegung der Konditionen geknüpft werden konnten, ließ die Behörde hier den von NSU eingereichten Förderantrag von einem leitenden Entwicklungsingenieur der Daimler-Benz AG prüfen und begutachten. Daimler-Benz befürwortete

nicht nur eine staatliche Unterstützung, sondern zeigte sich nun, nachdem vor wenigen Jahren noch Wankel ein Absage erteilt worden war, jetzt überaus aufgeschlossen und kündigte gleich die Absicht zu einer umfassenden Beteiligung an dem Entwicklungsprojekt an. In dem nur wenige Kilometer entfernten Unternehmenssitz der NSU war man von solcher Gönnerfreude aber keineswegs angetan und sah sich bereits als Standort "Untertürkheim-Nord" in den Konzernverbund integriert (vgl. Korp, 1975: 158). Bei NSU vermutete man wohl zu Recht hinter diesem "tückischen Angebot" von Daimler-Benz den Versuch des "Todkaufens" und die Stilllegung einer die herrschenden Techniken bedrohenden Entwicklungslinie. Damit deutete sich für Wankel und die NSU aber bereits an, welche Risiken die industrielle Zusammenarbeit mit sich bringt, wenn erst nach dem Start eines Projektes damit begonnen wird. Während Diesel von Beginn an die zentralen Akteure der Branche einbinden konnte, deren Interessenprofile damit auch die Designentwicklung sowie die "Schließungs- und Konsolidierungsentscheidungen" definierten, konnte sich selbst ein langsames Auseinanderfallen der "Diesel-Gruppe" nicht mehr negativ auf den erreichten Entwicklungsstand auswirken. Die NSU Geschäftsleitung hingegen verpaßte diesen Zeitpunkt der Absicherung und eröffnete den neu einsteigenden Unternehmen die Möglichkeit, vom gesicherten Terrain des "herrschenden Standes der Technik" die bisherigen Konzepte und Konsolidierungsentscheidungen zu verteidigen. Wankel selbst dämmerte dieses drohende Fiasko offensichtlich, als er angesichts des hohen Entwicklungsaufwandes und der scharf beobachtenden Konkurrenz Ende der 50er Jahre überlegte, ob eine industrielle Interessengemeinschaft "Neue Kolbenmaschine" mit den Firmen NSU, Borsig, Daimler-Benz, Kugelfischer, einer Finanzgruppe und Forschungseinrichtungen der Fraunhofer-Gesellschaft nicht doch erfolgreichere Bedingungen geboten hätten (vgl. Korp, 1975: 162). Als mit Ernst Hutzenlaub - "Ich verhandle nie über den Stand der Technik, sondern immer nur über den möglichen Stand der Technik" (zit. nach Korp, 1975: 164) - ein weltgereister und verhandlungserprobter Finanzfachmann Ende der 50er Jahre in das Projekt einstieg (vgl. Sehherr-Thoss, 1979: 455) und nun eine aktive Lizenz- und Bündnispolitik gestartet werden sollte - Vorstandschef v. Heydekampf: "Wir haben den Motor wie Sauerbier angeboten" (Korp, 1975: 164) -, standen die ersten Prototypen der NSU-Wankelmaschine schon auf den Prüfständen.

den: Die "Schließungsentscheidungen" waren längst gefallen, ohne daß ein Automobilunternehmen in diesen "Konsolidierungskonsens" zwischen der TES und den NSU hatte eingebunden werden können.

Wie unterschiedlich in der Tat diese ersten Einbruchversuche in die Phalanx der herrschenden Strukturen verlaufen waren, läßt sich in einem Vergleich der Situation nach der ersten fachöffentlichen Präsentation der Projekte - Diesel 1897 in Kassel, Wankel 1960 in München - ermessen. In Kassel wie in München waren jeweils die führenden Vertreter der Motorenbauerzunft und der Industrie versammelt, und auch in München begleiteten technik-wissenschaftliche Gutachter die Vorstellung des Entwicklungsprojektes (vgl. Huber, 1960a: 13ff.; E. Schmidt, 1960: 7ff.; Hütten, 1988: 362). Unter den Fittichen des "Bismarcks des deutschen Maschinenbaus", dem Kommerzienrat Buz und einer Industriegruppe, der mit der Friedrich Krupp AG und den Gebr. Sulzer die renomiertesten Maschinenbauanstalten angehörten, sowie die namhaftesten Vertreter der Technischen Thermodynamik und des Theoretischen Maschinenbaus auf seiner Seite, löste Diesel in Kassel einen regelrechten "Diesel-Boom" aus. Im Falle Wankel fand die Präsentation dieser Revolution keinswegs den ungeteilten Beifall der Fachwelt. Die Öffentlichkeit nahm die Münchener Präsentation durchaus mit regem Interesse zur Kenntnis, die NSU-Aktien, die im Schnitt bei 365 DM gelegen hatten, kletterten 1960 sogar auf den Rekordstand von 3.200 DM! Die Dresdener Bank als Mehrheitsaktionär verdiente am Verkauf und nach einer entsprechenden "Kurspflege" durch den Rückkauf von Aktienpaketen des Unternehmens immerhin etwa 80 Mio. DM (Der Spiegel 1961, S. 26), doch die Branchenvertreter standen dem neuen Projekt reserviert und insbesondere dem Alleingang des Neulings NSU ablehnend gegenüber. Während führende Maschinen- und Motorenbauanstalten in der "Diesel-Gruppe" vereint waren und weitere namhafte Unternehmen Lizenzverhandlungen aufnahmen, gestalteten sich diese Bedingungen für die Absicherung eines neudefinierten, branchenweit gültigen Konsolidierungskonsenses ungleich günstiger als im Falle des Wankelprojektes. Als der Vorstandschef des Branchenführers VW, Nordhoff den Motor als "totgeboresenes Kind" und das Konzept einer Rotationskolbenmaschine als neue Entwicklungslinie zwischen Hubkolben- und Gasturbinenriebwerk für einen falschen technischen Weg hielt, signalisierten diese Aussagen offenbar für alle anderen Unternehmen die Botschaft, daß der

bisher im "Stand der Technik" institutionalisierte Konsolidierungskonsens in seinem herrschenden Charakter nicht in Frage gestellt werden sollte. Nordhoff verriet aber, daß man sich mit Wankel vielleicht aus "repräsentativen Gründen" beschäftigen werde, um offensichtlich der Gefahr eines innovationsfeindlichen Geschäftsgebarens von vorneherein vorbeugen zu können (vgl. Korp, 1975: 171; Korp, 1973: 50). Nach der Veranstaltung in München zeigte auch kein anderer Automobilhersteller Interesse, diese abseits des herrschenden Terrains verlaufenden Entwicklungswege aufzugreifen oder zu promovieren. Angesichts der mittlerweile großen technischen und finanziellen Probleme, die mit der Rotationskolbenmaschine entstanden waren, drohte diese Haltung der Branche das Gesamtprojekt aber zu gefährden. "Kein Großkonzern-Gewaltiger würde glauben, daß NSU mit seiner 7.000 Mann starken Belegschaft und einem Jahresumsatz von knapp 200 Mio. DM zu einer umwälzenden technischen Pionierarbeit fähig sei. Deshalb braucht man - auch abgesehen von der notwendigen Finanzhilfe - unbedingt einen Eisbrecher" (Der Spiegel, 1961, S. 25). Diesen "Eisbrecher" glaubte NSU schließlich in dem US-amerikanischen Flugzeugwerk Curtiss-Wright gefunden zu haben, einem Unternehmen, das den Übergang vom Kolbenmotor zum Strahltriebwerk in der Flugzeugtechnik verpaßt hatte und aus einer technologischen Defensive heraus mit den Rotationskolbenmaschinen verlorenes Terrain wiederzugewinnen versuchte (vgl. Bentele, 1961: 187ff.). Sicherlich für die deutsche Autoindustrie kein überzeugender Grund, die bisherige Abwehrfront zu überdenken und Ressourcen zu mobilisieren.

Einen wichtigen Baustein in der "Einbruch-Strategie" Diesels stellte die Interessenkoalition mit den Lehrstuhlvertretern der verschiedenen technik-wissenschaftlichen Disziplinen dar, denen Diesels Motorenkonzept als Referenzprojekt zum Nachweis der Praxisrelevanz theoretischer Konstruktionsarbeiten diente. Diesel konnte damit die beginnende Phase der Verwissenschaftlichung technischer Erzeugungsprozesse zur Aufkündigung alter, erfahrungsdominierter Wissensbestände nutzen. Zu Zeiten Wankels hatten sich die Formen und Inhalte der Zusammenarbeit zwischen Automobil- und Motorenindustrie sowie der technik-wissenschaftlichen Forschung verändert. Beide Akteursgruppen betrieben seit den 20er Jahren eine viel engere und arbeitsteilig aufeinander abgestimmte Zusammenarbeit, und insbesondere die Technikwissenschaften entwickelten sich in Forschung

und Lehre durch den Aufbau einer umfassenden Apparate-Infrastruktur mehr und mehr zum Garanten stabiler Randbedingungen. Einen Überschuß an technologischen Ideen und Utopien außerhalb des "herrschenden Standes der Technik" gab es im Verbrennungskraftmaschinenbau zumindest nicht mehr in einer konsolidierten und damit koalitionsfähigen Form. Im Falle des Dieselmotors konnte mit Moritz Schröter, dem Lehrstuhlnachfolger Carl Lindes, ein führender Vertreter der Hochschulwissenschaften für die wissenschaftliche Bewertung gewonnen werden, der diese Aufgabe zu einem Angriff auf den bisherigen Konsolidierungskonsens im Wärmekraftmaschinenbau zu nutzen verstand. Bei der Münchener Wankel-Veranstaltung stand mit dem Leiter des "Instituts für Motorenbau", dem Privatdozenten Dr. Huber, nur eine Außenseiterfigur der Zunft zur Verfügung. Die durchgeführten Messungen und Untersuchungen waren ganz im Gegensatz zu dem Gutachterverfahren beim Dieselprojekt vom Bestreben gekennzeichnet, bei dem neuen NSU-Wankelmotor Merkmale bereits bekannter und für den bisher "herrschenden Stand" typischer Konstruktionen zu identifizieren und in thermodynamischer und konstruktiver Hinsicht die Anschlußfähigkeit zu den herrschenden motor-technischen Diskursen zu sichern (vgl. Huber, 1960b: 57ff.). Auch eine ja denkbare Abstimmung mit den Kalkülen und Perspektiven der "Gasturbinen-Gemeinde" im Flugmotorenbau oder im stationären Kraftmaschinenbau fand zur Durchsetzung der Rotationskolbenmaschine nicht statt (vgl. Hütten, 1988: 356ff.).

Schließung und Konsolidierung

Die Strategien beim Versuch, abseits herrschender Entwicklungslinien einen Entwicklungsfreiraum zu schaffen, fielen daher im Ergebnis sehr unterschiedlich aus und sollten sich im Falle des Wankelprojektes noch als ein irreversibler Makel herausstellen. So unterschiedlich die beiden "Erfinder" Wankel und Diesel bislang agiert hatten, so zeigte der Vergleich der Veranstaltungen in Kassel und München allerdings auch, daß beide in einer Hinsicht das gleiche Schicksal teilen mußten, "Opfer" innerbetrieblicher Schließungsprozesse zu sein. Obgleich Diesel weiter an der Rückgewinnung universeller technischer Eigenschaften seiner milieugeschädigten Maschine arbeitete und Wankel die konsequente Umsetzung seiner Rotationsidee verfolgte,

hatte sich der industrielle Entwicklungskontext zum Zeitpunkt der publikumswirksamen Präsentationen längst geschlossen und beide Erfinder mit ihren ambitionösen Projekten sozusagen vor der Tür gelassen. Dieser "Schließungsprozeß" verlief unter der Regie der Maschinenfabrik Augsburg aber ungleich rigider als im Falle der Zusammenarbeit von Wankels TES mit der NSU. Die Augsburger Unternehmensleitung gewährte zwar dem neuen Projekt einen Schutz- und Freiraum zur Erprobung nicht gesicherter Konstruktionsprinzipien und "parkte" zu diesem Zweck das Projekt in der Eismaschinenabteilung, die Rahmenplanungen blieben aber auf den möglichen Ersatz der bisher gefertigten Kolben-Dampfmaschinen konzentriert. Abmessungen, technische Eigenschaften, Leistungsprofil, Bauform usw. stellten Korsettstangen dar, mit denen die in Kolben-Dampfmaschinen geronnenen Wissensbestände auch in die Entwicklungsbahn des neuen motorischen Verfahrens eingezogen wurden; für "abweichende" Experimente mit dem Zweitaktarbeitsverfahren, Kohlenstaub oder Spiritus als Brennstoffvarianten oder dem Verbundmotor, Diesels "eigentlichem Dieselmotor", standen, wenn überhaupt, nur sehr begrenzt Zeit und Geld zur Verfügung. Bei NSU suchte man für den Motor erst noch Einsatzgebiete, wobei die Geschäftsleitung von vorneherein "auf eine geradezu fanatisch den Zweitakter verteidigende Glaubensschar" (Korb, 1975: 52) stieß und daher den Motor alsbald ausschließlich für den Einsatz der neu aufgenommenen Automobilfertigung auswählte. Die Entwicklungsarbeiten an dem Projekt unterstanden hier der Obhut der alten Rennmotorenabteilung, in der schon bald nach der Aufnahme der Arbeiten Anfang 1954 zwischen Wankel und NSU Konflikte darüber aufbrachen, welche der vielen möglichen Anordnungen von Rotationskolbenmaschinen man den Vorzug geben sollte. Im Gegensatz zum deduktiv vorgehenden Diesel blieb Wankel auch während der Entwicklungsphase weiter Empiriker und experimentierte im heimischen Lindau an einer Optimierung von Drehzahlverhältnissen und Läuferkonturen (vgl. Wankel/Froede, 1960: 3f.). Diesel leistete die ersten Versuchsarbeiten zwar selbständig, aber unter der direkten Kontrolle der Geschäftsführung, Wankel hingegen konnte grundlegende Vorarbeiten noch unter eigener Regie durchführen, was aber die kontroversen Auseinandersetzungen über mögliche "Schließungsentscheidungen" verschärfte. Die "Vielzahl der möglichen Formen für Rotationskolben, die zwar den Erfinder anzog, aber auch

verwirrte", verhinderte zunächst ein von allen Seiten akzeptiertes Ergebnis (Huber, 1960b: 57). Im Bestreben, aber sehr bald eine mögliche Formation festzuschreiben, um dann die Funktionstauglichkeit neuer Betriebsergebnisse und Fabrikationsprobleme austesten zu können, wurden die Planungen der NSU-Entwicklungsabteilungen immer wieder von dem an einer optimalen Umsetzung des Rotationsgedankens interessierten Wankel torpediert. Man einigte sich zunächst auf eine sogenannte "Drehkolbenmaschine", deren charakteristische Merkmale ein optimaler Massenausgleich durch die Drehung von Läufer und Gehäuse war (vgl. Korb, 1975: 65). Wie wenig strukturiert und labil der Erkenntnisstand über Rotationskolbenmaschinen in der Tat noch war, zeigte sich auch daran, daß erst einmal von einem Professor für darstellende Geometrie und angewandte Mathematik der Technischen Hochschule Stuttgart die ausgewählte Figur als eine "Epitrochoide mit innerer Hüllfigur" identifiziert werden mußte, der auch die strikte Befolgung mathematischer Gesetzmäßigkeiten bescheinigte. Ein Nachweis, der vom Patentamt zur Auflage für die Erteilung von Schutzrechten gemacht worden war. Aber obwohl den Professor "die Schönheit der Kinematik" erfreute und er sich auch sonst sehr beeindruckt von dem Entwurf zeigte (vgl. Korb, 1975: 57; Baier, 1960: 31ff.), bildeten Wankels Entwürfe doch nicht den Ausgangspunkt einer Kampagne, um eigene professionelle Interessen mit Zielen des Projektes zu verknüpfen und gegen die Vorherrschaft der kinematisch äußert fragwürdigen Hubkolbenmaschinen zu argumentieren. Koalitionen, die für den Dieselmotor von Beginn an aber sehr gute Vorbereitungsarbeit für eine Aufweichung des bis dahin dominierenden Konsolidierungskonsens geliefert hatten.

Erst Ende 1957, also drei Jahre nach Entwicklungsaufnahme, endete diese bislang "offene" und gegenüber dem "Erfinder" Wankel - im Vergleich zum Augsburger Verhalten - sehr nachgiebige Politik der Geschäftsleitung durch eine resolute "Schließungs"-Entscheidung: Man verzichtete gegen heftigen Widerstand Wankels auf die Weiterentwicklung der Drehkolbenmaschine und konzentrierte alle Versuche nur noch auf Kreiskolbenmotoren, einer Konstruktionsform, bei der im Gegensatz zum Drehkolbenmotor das Gehäuse festgestellt ist und nur der Läufer mittels planetenartiger Kreisfiguren die für einen Verbrennungsprozeß notwendigen Räume schafft. Wankel sah seine Idee der Rotationskolbenmaschine durch den Kreiskolbenmotor verwässert.

"Zumindest", so räumte er später ein, "hätte man dem Drehkolbenmotor eine weitere Phase der Erprobung zugestehen sollen, bevor man den Motor in einer Volksausgabe ...- entwickelt" (Korp, 1975: 84). Hintergrund dieser ersten "Schließungs- und Konsolidierungsentscheidung" der NSU waren wachsende Anschlußzwänge. An Drehkolbenmaschinen konnten wegen der "doppelten" Rotationsbewegung gar keine direkten Messungen zur Feststellung der Leistungsfähigkeit organisiert werden, sondern die Ergebnisse mußten erst mit einem aufwendigen Verfahren umgerechnet werden. "Nur bei einem stehenden Außenläufer", so argumentierte der wissenschaftliche Begleiter PD Dr. Huber "kann ich indizieren" (zit. nach Korp, 1975: 83/84). Auch hier konzentrierte sich der Beitrag der Technikwissenschaften also auf eine Angleichung der Entwicklungsarbeiten an die im "herrschenden Stand der Technik" zusammengefaßten Wissensbestände. Nur kurze Zeit später erfolgte die zweite "Kastraktion" der Rotationsidee. Die hohen Drehzahlbereiche, die den Motor in völlig neue Leistungs- und Nutzungsdimensionen katapultieren sollten, mußten gekappt und auf Leistungsbereiche konventioneller Hubkolbenmotoren zurückgeschraubt werden. Würde der "Motor für höhere Drehzahlen entwickelt, hätte das auch für die Anbau-Aggregate zu geschehen, so für die Lichtmaschine wegen des höheren Drehzahlbereiches, für die Zündanlage, Wasser- und Ölpumpe, für das Getriebe oder den Achsantrieb. Für diesen Teil der Arbeit müßte aber die Zulieferindustrie gewonnen werden. Dieses Risiko scheint zu groß", kalkulierte die Geschäftsleitung der NSU und führte das Projekt langsam wieder an den zwar gesicherten, aber eben auch einschränkenden "Stand der Technik" heran (Korb, 1975: 98/99). Dieser Adaptionspolitik fehlte aber in Neckarsulm, insbesondere in der Vergleichsperspektive zur Augsburger Entstehungsphase, die letzte Konsequenz. Die "eigensinnigen" Kalküle der Forschungs- und Entwicklungsabteilung blieben im Falle NSU mächtiger und bestimmender als die Möglichkeiten des "Diesel-Teams" in Augsburg. Unter der Regie der ehemaligen Ingenieure und Konstrukteure der Rennabteilung konnten sich dort vorherrschende Orientierungen auch beim neuen Motorenprojekt weitgehend erhalten und fortschreiben. Das sich im Kontext der Entwicklung von Rennmotoren eingebürgerte "laß sie saufen" - dort zur unbedingten Stabilisierung hoher Leistungsbereiche durchaus berechtigt - büßte als Prämisse bei der Konfiguration von Alltagsmotoren an Tauglichkeit ein.

Auch später, im Rahmen weiterer Schließungsprozesse, blieb die laxe Einstellung der Brennraumkonstrukteure gegenüber dem Kraftstoffverbrauch ("den kriegen wir schon hin") als Perzeptionsmuster weiter erhalten. (vgl. Korp, 1975: 75/90). Diesels universelle Wärmekraftmaschine wurde während der Augsburger Entwicklungsphase zu einer "Dampfmaschine des 20. Jahrhunderts" transformiert, die Perzeptionsmuster des Schwermaschinenbaus weithin sichtbar in die Konstruktion der Maschine "eingeschrieben", später über die Aufnahme in den "herrschenden Stand der Technik" als gemeinsam getragener Konsolidierungskonsens der Branche fest institutionalisiert. Das neue Antriebssystem erhielt die von der "Diesel-Gruppe" avisierten exklusiven Verwendungsfelder zugeschrieben, die internen "Schließungs- und Konsolidierungsprozesse" konnten auf der Grundlage einer gesicherten Definitionsmacht mit den externen Absicherungsstrategien abgestimmt werden.

Bedrohliche finanzielle Spielräume und sich formierende externe Widerstände verhinderten im Falle des NSU-Wankelprojektes einen auch nach außen abgesicherten konsequenten "Schließungs- und Konsolidierungskurs". Da man lange Zeit überhaupt keinen Automobilbauer als Lizenznehmer gewinnen konnte, aber unbedingt zur Absicherung des Motors auf finanzielle Ressourcen und der Hinzugewinnung von Entwicklungs- und Fertigungserfahrungen angewiesen war, mußten schließlich auch im weiteren Verlaufe mit solchen Industrieunternehmen Kooperationen eingegangen werden, die von einem ganz anderen Branchenkontext aus agierten und deren Interessen sicherlich nicht zu einer Konzentration auf ganz bestimmte Marktsegmente beitrug. Nachdem mit dem Flugzeugbauer Curtiss-Wright als erstem Unternehmen überhaupt Ende 1958 eine Lizenz abgeschlossen werden konnte, traten 1960 mit der Fichtel & Sachs AG sowie der Yanmar Diesel Co. zwei weitere Nicht-Autobauer in den "Wankel-Club" ein, deren Interessen und Branchenhintergründe nun fast das gesamte Einsatzspektrum motorischer Antriebssysteme repräsentierten: "Vom Rasierer bis zum Flugzeug ist alles möglich". Diese Kalkulation "widersprach freilich einer frühen Froede-Prognose, wonach Kleinmotoren bis zu 10 oder 20 PS ein Reservat der billigeren luftgekühlten Hubkolbenzweitakter bleiben würden" (Hütten, 1988: 363). Die ursprüngliche Ankündigung des NSU-Entwicklungschefs vor der Gemeinde der Verbrennungsmotorenbauer, erst einmal nur ganz

bestimmte Terrains für den "allgemeinen Stand" bei Wärmekraftmaschinen sozusagen probeweise auszuwählen (vgl. Froede, 1960: 39ff.), wurde von den Zwängen der Lizenzpolitik also unterlaufen und behinderte nicht nur eine schnelle Einigung auf die gemeinsam von allen Mitgliedern des "Wankel-Clubs" getragene konsolidierte Entwicklungslinie, sondern auch die Bezeichnung einer klar identifizierbaren "Sollbruchstelle" für den Einstieg in den "herrschenden Stand der Technik". Die Strategie der Unternehmensleitung von MAN - gegen den ausdrücklichen Widerstand Diesels - ausschließlich für ein begrenztes Einsatzfeld zu planen, ließ den Motor zwar milieugeschädigt in die weiteren Entwicklungsphasen eintreten, schaffte dafür aber die Voraussetzung für schnelle Verständigungen der neuformierten "Diesel-Gruppe" und beförderte durch die rasche Einigung den Prozeß der Institutionalisierung.

Institutionalisierung

Die gegenüber der politischen Situation in der Autoindustrie eher naive Herangehensweise zu Beginn der Entwicklung einer Rotationskolbenmaschine hatte verhindert, daß sich im Gegensatz zum Dieselprojekt sofort eine Interessenskooperation mit führenden Branchenvertretern der Automobilindustrie konstituieren konnte. Lizenzpolitik, für Diesel ein elementarer Baustein seiner Absicherungspolitik, spielte für die NSU erst zu einem Zeitpunkt eine Rolle, als der Motor als Prototyp bereits existierte und die Automobilindustrie ihre Gegen-Koalition schon formiert hatte. Unter diesen Bedingungen geriet die absichernde Wirkung der Lizenzverträge aber in Gefahr und mußte durch besondere Vertragskonditionen kompensiert werden. Bei der Abwehrhaltung der etablierten Automobilindustrie bestand ja die Gefahr des sogenannten "Todkaufens", wenn finanzkräftige Unternehmen wie Daimler-Benz oder VW als Lizenznehmer in den "Wankel-Club" einstiegen und sich durch die Zahlung hoher Beiträge Exklusivrechte sicherten, um anschließend das Projekt einfach in der Schublade verschwinden zu lassen. In Neckarsulm arbeitete man daher sogenannte "Lizenztypenverträge" aus, die neben einer hohen Eintrittsgebühr eine genaue Kennzeichnungspflicht der jeweiligen Vorhaben und Strategieüberlegungen beinhalteten sowie eine gemeinsame Verwaltung der Erkenntnisfortschritte vorsahen. Schließlich war in

das Vertragswerk noch ein "Nichtangriffspakt" mit aufgenommen worden, in dem sich alle Parteien dazu verpflichten mußten, keine direkten oder indirekten Maßnahmen gegen andere am Projekt beteiligte Einrichtungen zu unternehmen (vgl. Korp, 1975: 200). Die aus juristischer Sicht möglicherweise recht ansprechend gestalteten Typenverträge, die den von Diesel abgeschlossenen und später von der "Allgemeinen Gesellschaft für Dieselmotoren" verwalteten Lizenzverträgen vergleichbar waren, konnten die gewünschte stabilisierende Wirkung aber nicht entfalten. Während beim Diesel-Projekt die Krupp AG darüber klagte, daß man zusammen mit MAN die Hauptlasten der Entwicklung trage, Diesel aber den Löwenanteil der Gewinne aus den Lizeinahmen für sich behalten konnte, sicherte sich im Falle NSU die zwischenzeitlich gegründete Wankel GmbH 40 % der Einnahmen aus den gemeinsam mit NSU gehaltenen Schutzrechten. Als beide "Erfinder" schon längst keine substantiellen Beiträge zur Entwicklung "ihrer" Motoren lieferten, entzogen sie den federführenden Unternehmen die dringend benötigte Finanzmasse und untergruben so ihre eigenen Absicherungsmaßnahmen. Die Unternehmen der von Diesel formierten Industriegruppe verfügten allerdings über genügend finanzielle Potenz, die Erfahrungen und Erkenntnisse zu stabilisieren und "winterfest" zu machen und damit auch dann noch verfügbar zu halten, als der Konsolidierungskonsens der bisherigen "Diesel-Gruppe" aufgekündigt wurde und sich die externen Bedingungen für erfolgreiche motortechnische Innovationen ungünstiger gestalteten. Für die NSU sollten die bisherigen Lizenzpartner nicht die erhofften Beiträge bei der Sicherung der unternehmerischen Definitionsmacht liefern können, um das Unternehmen ähnlich wie MAN in die Lage zu versetzen, über schwierige Phasen einen faktischen Stand der Entwicklung zu sichern.

In der Lizenzpolitik von NSU änderte sich die Situation, als 1961 mit dem japanischen Werkzeugmaschinen- und Automobilkonzern Toyo Kogyo das erste Unternehmen der Fahrzeugbranche ("Mazda") in den "Wankel-Club" eintrat und damit die deutschen Unternehmen, die jahrelang scheinbar "uninteressiert abseits" gestanden hatten (Eicker, 1971: 65), zu einer aktiven Sicherungspolitik des bisherigen "Standes der Technik" zwang (vgl. Seherr-Thoss, 1979: 452). "Wir müssen einen Fuß in der Tür haben" (zit. nach Korp, 1975: 178), faßte der im Vorstand der Daimler-Benz AG für Forschung und Entwicklung zustän-

dige Ingenieur Nallinger die Gründe für den Einstieg zusammen. Daß ausgerechnet der ansonsten eher zögerliche Daimler-Benz-Konzern als erster deutscher Automobilkonzern Lizenzverhandlungen mit der NSU aufnahm, lag daran, daß mit dem Leiter der Abteilung Forschung und Entwicklung, Wolf-Dieter Bensinger, ein ehemaliger Mitarbeiter der DVL in Berlin-Adlershof als "Übersetzer und Promotor" der Wankelprojekte fungieren konnte. Die Zusammenarbeit mit dem Konzernnachbarn sollte sich für NSU als ein zweischneidiges Schwert erweisen. Die Wissensbasis über Rotationskolbenmaschinen konnte zwar erheblich erweitert werden, was u.a. auch in über 140 weiteren Patenten zum Ausdruck kam, doch verlor das kleine Unternehmen NSU mit einem so gewichtigen Partner langsam die Definitionsmacht über das Projekt, der auf technischem Gebiet mit Daimler-Benz zunächst erreichte Konsolidierungskonsens konnte machtpolitisch nicht mehr kontrolliert werden. In Untertürkheim kreierte man im Zusammenhang mit dem Einstieg in das Wankelprojeket das Projekt eines "fahrendes Labors" (C 111), ein Forschungsauto, das mit deutlichen Reminiszenzen an die alten, aber damals nicht mehr existierenden "Silberpfeile" zugleich als Spielwiese für Ingenieure sowie als Nachweis für das unternehmerische Engagement in der Erforschung von Zukunftstechnologien diente (vgl. Barthel/Lingnau, 1986: 326ff.; Enke/Löffler, 1970: 195ff.). Als NSU zu Beginn der 70er Jahre längst schon die unternehmerische Selbständigkeit verloren hatte und alle Augen auf Daimler-Benz gerichtet waren - das Unternehmen hatte bereits mehrmals den Serienstart des neuen Kreiskolbenmotors in der S-Klasse angekündigt -, ließ Entwicklungsschef Nallinger im kleinen Kreis verkünden: "Ich glaube, daß es Zeit ist, ihn einschlafen zu lassen" (Korp, 1973: 47). Das ganze Wankelprojekt "C 111" war offenbar von Anfang an unter der Devise, "es muß etwas geschehen, aber es darf nichts passieren" konzipiert, eingeführt und abgewickelt worden (vgl. Korp, 1975: 178ff.). Etwas unspektakulärer, aber im Sinne des Erhaltes des technologischen "status quo" nicht weniger gelungen, verlief das Engagement der ehemaligen "Diesel-Gruppe", die numehr als "Diesel-Ring" ihre bisherige Konsolidierungspolitik vor dem Hintergrund der drohenden Genese einer Rotationskolbenmaschine ebenfalls verteidigen mußten. Mit der Klöckner-Humboldt-Deutz AG, der MAN, der Friedrich Krupp GmbH, später komplettiert durch die Dieselmotorenabteilung der Daimler-Benz AG, tauchten die Branchen-

führer 1961 im "Wankel-Club" auf. Ausgehend vom "herrschenden Stand der Technik" überprüften die Unternehmen in den ersten Versuchsprogrammen, ob die gültigen Entscheidungen im "herrschenden Stand" der Dieseltechnik, - Brennkammerformen, Arbeitsverfahrens und Triebwerksgestaltung - durch einen Kreiskolbenmotor vor ernsthafte Revisionsprobleme gestellt werden würde (vgl. Korp, 1975: 183). Bereits Mitte der 60er Jahre beendete der "Diesel-Ring" die Entwicklungsarbeiten mit der Erkenntnis, daß für das bisher kultivierte Dieselfahrerfahren die sichelförmige und langgestreckte Brennkammer der Kreiskolbenmaschinen eine zu große spezifische Oberfläche bedeutete und sich auch nachteilig auf die Höhe des Mitteldruckes auswirkte. Daß der "Diesel-Ring" offensichtlich gar nicht an einer ernsthaften Neubestimmung des gesicherten Wissensbestandes interessiert gewesen war und alles vermieden hatte, was zur Gefährdung des bisherigen "Standes der Technik" zu führen drohte, ließen kurze Zeit später die Ergebnisse des britischen Rolls-Royce-Konzerns erahnen. Außerhalb des "Diesel-Ringes" entwickelte man hier ein zweistufiges, miteinander verkoppeltes System, das es ermöglichte, die unterschiedlichen Funktionen wie Vorverdichtung und Nachausdehnung sinnvoll - im Sinne der alten Diesel-Idee des Compoundmotors - miteinander zu verbinden und das mit vielversprechenden Ergebnissen aufwarten konnte (vgl. Korp, 1975: 185; G.Hack, 1987: 164f; Feller, 1970: 139ff.).

Die von der NSU selbst eingeleiteten Schritte zur Konstituierung eines "faktischen Standes von Kreiskolbenmotoren" begannen 1961 unter ähnlichen Gesichtspunkten, wie sie knapp 60 Jahre zuvor auch bei MAN existiert hatten. Man suchte zunächst den geschützten Marktzugang. Doch während es MAN dank der ökonomischen Möglichkeiten gelang, das erhöhte Risiko für Auftraggeber zu neutralisieren und im angepeilten Marktsegment daher von einem befreundeten Unternehmen nahezu optimale Bedingungen für einen Praxistest eingeräumt bekam, mußten in Neckarsulm zunächst einmal Umwege gegangen werden, um die Bedingungen der Markteinführung zu optimieren. Dabei "schreckte" die Geschäftsleitung (in den Augen Wankels) nicht davor zurück, beispielsweise mit einem "Wasserski-Schleppboot" eine ganz neue, für die Einführung eines Antriebssystems wenig seriöse Produktlinie zu entwerfen, nur damit dort sofort als "herrschender Stand", ohne die Vergleiche mit anderen konsolidierten und auch betriebssicheren Lösungen, die Vorzüge eines Kreiskol-

benmotors demonstriert werden konnten. Bei einem testweise vorgenommenen Einsatz als Bootsmotor hoffte man bei den technisch interessierten Freizeitkapitänen auf eine größere Toleranzbereitschaft gegenüber den Kinderkrankheiten des Motors und auch auf eine höhere Wertschätzung der technischen Eigenschaften des Kreiskolbenprinzips (vgl. Froede, 1963: 122).

Für die herrschenden Diskurse im Automobil- und Motorenbau ließen diese aus der Not geborenen exotischen Ausflüge der NSU, die Idee der Rotationakolbenmaschine, freilich nicht attraktiver erscheinen. "Es gab eindeutig gegen den neuen Motor gerichtete Absprachen, fern aller Objektivität - es stand zu viel Kapital auf dem Spiel", faßte Dieter Korp in seinem "Protokoll einer Erfindung" diese nun einsetzende Entwicklungsstufe zusammen (Korp, 1975: 203), in der sich ja die Automobilindustrie gegenüber dem neuen serienmäßig angebotenen Motor verhalten mußte. Für die Industrie hatten die "Eskapaden" der Markterschließung die Befürchtungen bestätigt, daß der Neuling NSU wohl kaum auf die herrschende Branchendisziplin verpflichtet werden konnte. Und schon 1961 wußte "Der Spiegel" zu berichten, daß Vorstandsmitglieder des Mehrheitsaktionärs Dresdener Bank offen darüber spekulierten, daß es "NSU bald genauso wie Borgward ergehen" werde, einem ebenfalls sehr unkonventionellen Automobilbauunternehmen, das wenige Jahre zuvor unter ominösen Umständen in Konkurs gegangen war (Der Spiegel, 1961, S.31; Meyer-Larsen, 1978: 196ff.). Die Vorbehalte der Autobauer wurden noch größer, als NSU Mitte der 60er Jahre die Entwicklung eines völlig neuen Fahrzeugs der gehobenen Mittelklasse ankündigte. "Als die NSU-Ingenieure darangingen, den NSU Ro 80 " - so die Typenbezeichnung des Autos - zu planen, "hatten sie völlig freie Hand in der Wahl ihrer Konstruktionsdetails. Keine (möglicherweise verstaubte) Tradition stand im Wege, keine Rücksicht mußte auf kostensparende Fabrikationen genommen werden", verkündete das Unternehmen stolz den abweichenden Kurs (zit. nach Kruse, 1984: 106). Schon 1963 war in einem kleinen Sportwagen, dem "NSU-Spider", erstmals ein Kreiskolbenmotor in einem Serienfahrzeug angeboten worden. Der Motor mit einer Leistung von 31 PS konnte im Vergleich zu konventionellen Hubkolbenmaschinen sehr viel kleiner und kompakter gebaut werden und entwickelte in höheren Drehzahlen sehr angenehme Laufeigenschaften. Als 1967 schließlich der Ro 80 in der Öffentlichkeit erschien, war nun auch

äußerlich die Aufkündigung des bisherigen Konsolidierungskonsenses im Automobilbau sichtbar, zumal sich die übrigen Anbieter offenbar gerade eine innovatorische Ruhepause gönnten. "Technisch war man auf dem Stand der 50er Jahre und stylistisch nicht viel weiter. Mercedes klammerte sich noch immer an die Pendelachse und schob ganz unaerodynamisch einen dicken Kühler durch den Wind. Ford schien endgültig von der Linie der Vernunft abgekommen und geriet mit dem 17/20 M P7 in die Krise...; VW zeigte sich von allen guten Geistern verlassen und brauchte sich schon bei der Vorstellung des Nasenbärs Typ 411 um den Spott der Presse nicht zu sorgen" (Kruse, 1984: 104). Bei der Konzeption des Ro 80 war man in Neckarsulm davon ausgegangen, daß in gehobenen Wagenklassen die Entwicklungskosten "besser zu verstecken" waren und bei einem solchen Fahrzeug besonders experimentierfreudige Fahrer erwartet werden durften, die auch die allzu schnell verschleißenden Zündkerzen gerne selbst einmal auswechselten. Allerdings ging dieser Versuch zur Schaffung eines "geschützten" Praxistests nicht auf, da die Resonanz auf das Auto so groß war und Ehrungen wie "Auto des Jahres" die Vorstellung des neuen NSU/Wankel-Autos zu einem Medienereignis besonderen Ausmaßes werden ließen, bei dem auch die feinsten technischen Mängel sofort erkannt und bewertet wurden. Neben dem große Verschleiß von Zündkerzen stand der hohe Ölverbrauch und ein unruhiges Fahrverhalten in niedrigen Drehzahlbereichen ganz oben auf der Mängelliste. Insgesamt aber hielten sich die technischen Probleme in engen Grenzen, obwohl praktisch "aus dem Stand heraus" für die rotierenden Teile des Motors eine völlig neue Abdichtungsphilosophie entwickelt werden mußte. Testfahrten mit dem Ro 80 wurden von der internationalen Fachpresse beispielsweise als ein "seltener Genuß" mit "begeisterten Fahreigenschaften" des neuen "revolutionären" Antriebsaggregats gelobt und ließen erkennen, daß in Nutzerkreisen sehr wohl das Interesse an neuen Systemen bestand, auch wenn nicht die gewohnte technische Zuverlässigkeit der Hubkolbenentriebwerke erwartet werden konnte. Die NSU-Firmenleitung entschloß sich - ähnlich wie MAN im Vertragswerk mit der Kemptener Zündholzfabrik - zu einer kulanten Haltung gegenüber Reklamationen, um den im Vergleich zum "herrschenden Stand der Technik" mangelhaft ausgebildeten maschinellen Charakter des Antriebssystems finanziell zu kompensieren (Automobil-Revue, 1970: 82ff.). Als NSU rückwirkend zum 1.1.1969

von der VW-"Tochter" Auto-Union übernommen wurde, lag der Ro 80 in der Reklamationsstatistik nicht schlechter als der ebenfalls neue "konventionelle" Audi 100 (vgl. Eicker, 1971: 68). Eine überraschend große Nachfrage ließ sogar längere Lieferfristen entstehen (vgl. Schneider, 1985: 238). Wenn wir uns in dieser Phase der Absicherungspolitik nochmals die Situation des Dieselmotor um die Jahrhundertwende vor Augen halten, nehmen sich die technischen Probleme des NSU-Wankelmotors vergleichsweise bescheiden aus. Wir erinnern uns: Der erste Dieselmotor mußte, nachdem ihm sowieso schon "Schongang" verordnet war, Tag und Nacht beaufsichtigt werden, und erst nach einem erneuten Umbau konnte der maschinelle Charakter dieser Antriebstechnik gesichert werden. An den großen Problemen brach zwischenzeitlich die "Diesel-Gruppe" auseinander, neu eingestiegene Lizenzunternehmen scheiterten bei der technischen Reproduktion des nicht transferfähigen Wissens. Eine erste, eigens zur Fertigung von Dieselmotoren gegründete Fabrik ging bereits nach kurzer Zeit in Konkurs. Im Vergleich dazu schien die Situation des NSU/Wankelmotors Ende der 60er Jahre sehr viel günstiger zu sein. Der Motor verkaufte sich gut, zwischen 1964, dem ersten "NSU-Wankel"-Jahr (351,7 Mio. DM) und 1969, dem letzten Jahr der unternehmerischen Selbständigkeit, konnte NSU den Umsatz mehr als verdoppeln (788 Mio. DM). Die Beschäftigtenzahl stieg im selben Zeitraum von 8.758 auf 11.504 Mitarbeiter an (vgl. Schneider, 1985: 248) und nach anfänglichen Zögern waren nun neben Daimler-Benz mittlerweile fast alle namhaften deutschen Automobilhersteller als Lizenznehmer in den "Wankel-Club" eingetreten.

Entscheidend für das Gelingen der Genese des Dieselmotor wirkte sich die Tatsache aus, daß mit der MAN ein Unternehmen über genügend Definitionsmacht verfügte, den von der "Diesel-Gruppe" vorbereiteten und hinterlassenen Konsolidierungskonsens so weit "härten" zu können, daß in einer kleinen Baureihe der Motor als "faktischer Stand" konserviert und bei veränderten Kontextbedingungen wieder zur Verfügung stehen konnte. Hier war also ein unsicheres technisches Projekt mit bescheidenen Resultaten in die Eigeninteressen der Industrie "implantiert" worden, das auch in Krisenzeiten über eine politische Absicherung verfügte. Nahezu umgekehrt verhielt sich die Situation im Falle des NSU/Wankelmotors. Die vergleichsweise glänzenden technischen Erfolge täuschten darüber hinweg, daß die Auto-

mobilindustrie über die Beibehaltung des bisherigen Konsolidierungskonsens eine Verständigung erzielt und daher - so muß vermutet werden - längst auch über das ökonomische Schicksal von NSU entschieden hatte, einem Unternehmen, das sich als Neueinsteiger nicht in die Branchendisziplin einbinden ließ und abseits des "herrschenden Standes der Technik" mit dem Aufbau einer konkurrierenden alternativen technischen Linie den bisher so stabilen Grund der Konstruktionsentwicklung des Automobilbaus aufzuweichen drohte. Unter diesen Voraussetzungen geriet die anfangs selbstgewählte, später sich zwangsläufig einstellende Außenseiterposition der NSU in der Automobilindustrie zu einem immer unhaltbareren Zustand, der schließlich über die zunehmend unsichere ökonomische Existenz des Unternehmens auch den Erfolg der Genese des NSU/Wankelmotors gefährden sollte. Die großzügig gewährte Kulanz - mittlerweile von Kunden weidlich ausgenutzt - führten bei dem vergleichsweise kleinen Unternehmen zu erheblichen finanziellen Problemen, die nicht wie im Falle der MAN durch andere lukrative Produkte kompensiert werden konnten. "Heute sind wir gesund, noch gesund". "Ob wir das bei einem Alleingang auch morgen und übermorgen noch von NSU sagen können", diese selbstgestellte Frage beantwortete sich die Geschäftsleitung mit der Aufnahme von Übernahmeverhandlungen der in Ingolstadt angesiedelten VW-Tochter Auto-Union. "Wir haben das Gesetz der großen Zahl gegen uns, und dagegen läßt sich in einer Marktform wie der des Pkw-Marktes auf die Dauer nicht mit der erforderlichen Erfolgswahrscheinlichkeit operieren. Wir wären zu einem ständigen Modellerfolg verurteilt; ein Fehlgriff, ein Ausrutscher könnte lebensgefährlicher werden" (zit. nach Schneider, 1985: 241). Wir erinnern uns an die Überlegungen des Vorstandschef der MAN, Anton Rieppel, der ebenfalls nach dem Ende des Ersten Weltkrieges durch die veränderten politischen und wirtschaftlichen Bedingungen Ausschau nach Möglichkeiten der unternehmerischen Sicherung hielt und schließlich im GHH-Konzernverbund eine eigenständige Forschungs- und Entwicklungspolitik auf sicherem ökonomischen Grund fortsetzen konnte. Eine ähnliche Strategie muß wohl auch der NSU-Geschäftsleitung vorgeschwebt haben. "Die NSU-Leute fühlten sich sozusagen als Retter von VW" (Schneider, 1985: 242), da in Wolfsburg bereits mehrere Jahre erfolglos an einem Käfer-Nachfolgemodell gearbeitet wurde und das Riesenunternehmen dringend neue technologische Impulse benö-

tigte. Die Herauslösung der Lizenzeinnahmen der Wankelentwicklung, die bei der Bildung der neuen Gesellschaft Audi-NSU-Auto-Union-AG vereinbart wurde und die zukünftig über neu ausgegebene Genußscheine vorwiegend den ehemaligen Kleinaktionären der NSU zugute kommen sollte, bewertete die Geschäftsleitung als einen besonderen Erfolg. Übersehen wurde allerdings im vertrauensseligen Glauben an die Durchsetzungsfähigkeit der besseren Technik, daß mit dieser Konstruktion der VW-Konzern nicht einmal mehr an einer kurzfristigen Pflege des bisher erreichten "Standes der Rotationkolbenmaschinen" interessiert sein konnte. In Windeseile wurden die zur vollständigen Beherrschung der NSU-Geschäftspolitik noch fehlenden Kapitalanteile aufgekauft und alsbald angekündigt, daß im Konzern an der Weiterentwicklung des Ro 80 kein Interesse mehr bestehe, und das zu einem Zeitpunkt, als in Neckarsulm gerade mit der Auslieferung einer verbesserten Version des Motors begonnen wurde (vgl. Schneider, 1985: 242). Andere Vertreter der Automobilindustrie äußerten nun plötzlich ebenfalls große Skepsis gegenüber den Zukunftsaussichten einer Rotationskolbenmaschine. "Für mich hat er überhaupt keine Vorteile", meinte ein für Forschung und Entwicklung zuständiges Vorstandsmitglied von BMW. "General Motors wird er eher schaden als nützen. Und bei Daimler-Benz wäre man froh, wenn man ihn los wäre" (zit. nach Korp, 1975: 151). Als ein von NSU gemeinsam mit Citroen geplantes joint venture zur Sicherung und zum Ausbau der unternehmerischen Basis von der Wolfsburger Konzernzentrale storniert wurde und sich auch die Daimler-Benz AG plötzlich wieder an die längst überfällige Modernisierung der konventionellen Vierzylinder-Hubkolbenmotoren erinnerte (vgl. Barthel/Lingnau, 1986: 320), war in kurzer Zeit die industrielle Trägerschaft des NSU-Wankelprojektes vollständig zusammengebrochen.

Die zwischenzeitlich eher zögerlich angelaufenen Versuche, das bisher generierte Wissen zu bündeln, aus den engen unternehmerischen Entwicklungskontexten herauszutransferieren und für eine Aufnahme in die motortechnische "Community" aufzubereiten, kamen daher viel zu spät. Wolf-Dieter Bensing, der seit 1971 Vorlesungen an der TH Stuttgart über "Rotationskolben-Verbrennungsmotoren" hielt, veröffentlichte erst 1973 eine Monographie mit Lehrbuchcharakter, wo er "all das zusammenfaßte", "was an Stoff heute vorliegt, um einerseits Fehlwege zu vermeiden und andererseits die Arbeiten zu

erleichtern". Im Bemühen um eine Fixierung der bisher von allen an der Rotationskolben-Forschung beteiligten Akteuren akzeptierten "Schließungs- und Konsolidierungsentscheidungen" aus der sehr frühen Entwicklungszeit bei NSU mündeten diese Konservierungsarbeiten in dem Versuch, einen "Stand der Technik" für Rotationskolbenmaschinen zu definieren. "Aus der großen Zahl von Vorschlägen für Rotationskolbenmotoren hat sich nur der Wankel/Kreiskolbenmotor durchgesetzt, er hat einen sehr hohen Entwicklungsstand erreicht, und es ist damit zu rechnen, daß ihm in Zukunft eine große Bedeutung zukommen wird", hieß es in Bensingers Schlußwort. "Alle anderen Bauarten blieben am Anfang stecken, es ist kaum vorstellbar, daß eine einfachere und günstigere Lösung als der Wankel-Kreiskolbenmotor gefunden wird" (Bensinger, 1973: 148). Trotz der medienwirksam inszenierten Tagung in München und dem Bemühen um die Parallelen mit der "Diesel-Revolution" blieb die technische Entwicklung der Rotationskolbenmaschinen in der Motorenbauer-Zunft weitgehend unbeachtet und wurde - wie so viele andere unkonventionelle Antriebssysteme - nicht in den technik-wissenschaftlichen Diskurs aufgenommen. Die vergleichsweise wenigen Aufsätze in den beiden führenden Fachorganen, der "Automobiltechnischen Zeitschrift" sowie der "Motortechnischen Zeitschrift", stammten von den federführenden Entwicklungsingenieuren der NSU bzw. der Lizenznehmer und wurden nur durch einige Beiträge interessierter Motorjournalisten ergänzt (vgl. Bensinger, 1973: 1ff; 149ff.). Bensinger, der während seiner aktiven Zeit in der Forschung bei Daimler-Benz das Wankel-Projekt eingeführt und promoviert hatte und daher als Interpret der Rotationskolbenmaschine im Rahmen der Auseinandersetzung mit dem "herrschenden Stand der Technik" hätte fungieren können, starb, noch bevor die angekündigte zweite Auflage des "Lehrbuchs" erscheinen konnte. Wankel selbst, dem Autodidakten und Bastler, blieb die technik-wissenschaftliche Darstellungs- und Kommunikationsweise eher fremd. Sie wurde von ihm wohl auch mehr als Pflichtübung begriffen (vgl. auch Damolin, 1989: 40). Jedenfalls betrachtete er die führenden Lehrbuchverfasser und Lehrstuhlverwalter der Verbrennungsmotorenforschung nicht als Bündnispartner zur Durchsetzung und Absicherung seines Motorenprojektes. Diese hatten ihrerseits das ganze meßtechnische Instrumentarium, vom Einsatz optischer Sonden angefangen bis zu Laserstrahlen und der Hochgeschwindigkeitsphotogra-

phie, ganz auf die ottomotorischen bzw. dieselmotorischen Verbrennungsprozesse im konventionellen Hubkolbenmotor konzentriert. Die Forschung mußte die im "herrschenden Stand der Technik" kultivierten Erfahrungen, Konstruktionsweisen und Perzeptionsmuster genauso wie die Automobilindustrie gegenüber unkonventionellen Bauformen verteidigen, drohte damit doch ein Verlust der ordnungs- und strukturstiftenden Funktion des bisherigen Apparate-Paradigmas einzutreten (vgl. Pischinger, 1989: 289; 294): "Wer den Wankel nicht haben will, hat die Schulweisheit auf seiner Seite" (Elberth u.a., 1989: 104). Ganz anders Diesel. Als ausgebildeter und theoretisch interessierter Ingenieur plazierte er sich mit seinem Habitus und seiner Orientierung inmitten der, freilich im Unterschied zur Zeit Wankels, damals noch existierenden technik-wissenschaftlichen Kritik an den herrschenden Formen der Energietechnik und konnte mit seinem Konstruktionsvorschlag eine entsprechende Resonanz auslösen, die für die Reformierung des "herrschenden Standes der Technik" einen entscheidenden Beitrag lieferte und parallel zu den betriebspraktischen Versuchen die Rückführung und Absicherung in die Literatur der Technische Thermodynamik sowie des Theoretischen Maschinenbaus beförderte.

Bereits das Beispiel von Junkers' Gegenkolben-Motor hatte ja gezeigt, daß ein "faktischer Stand der Technik", sei er konstruktiv noch so fortgeschritten, allein überhaupt keine Garantie für einen erfolgreichen Geneseprozess ist. Wenn sich mit einem neuen technischen Verfahren nicht gleichzeitig eine neue Nutzungsform etabliert und neue Märkte geschaffen werden können, ist eine solche Technik in einer bereits vorhandenen Struktur auf die Aufnahme in den "herrschenden Stand der Technik" und die Zuweisung eines exklusiven Verwendungsbereiches angewiesen. Für diesen Absicherungsprozess, für den die herrschenden sozialen und kognitiven Bindekräfte aufgebrochen und die formierten machtpolitisch gesicherten Strukturen neu geordnet werden müssen, sind daher umfangreiche organisatorische Maßnahmen zu treffen. Im Vergleich zu dem hohen technischen Stand des Junkers-Diesels und der "Produktionsreife" des NSU-Wankelmotors, befand sich der ortsfeste Dieselmotor nach Abschluß der ersten Entwicklungsstufe in einem technisch äußerst kritischen Zustand. Die maschinelle Funktionsfähigkeit außerhalb des MAN-Labors war nur durch Mitnahme eines ganzen Systems von Hilfsaggregaten gelungen.

Beim NSU/Wankelprojekt hatte aber der frühe Alleingang der NSU und die spätere unkontrollierte Lizenzpolitik frühzeitig "Risse" in der industriellen Basis entstehen lassen. Die MAN war in der Lage, einen rigiden "Schließungs- und Konsolidierungskurs" nach innen mit der Absicherungs politik nach außen abzustimmen und durch Verhandlungen mit Vertretern lukrativer Marktsegmente die Sollbruchstelle in der Phalanx der herrschenden Linie genau zu markieren; dagegen blieb dem Branchenaußenseiter NSU nur die "Flucht nach vorn" und das Anerbieten des neuen Antriebskonzept für nahezu alle bisher bekannten Verwendungsgebiete von Verbrennungsmotoren. In einer für beide Geneseprojekte schwierigen Situation, beim Dieselmotor kurz nach der Jahrhundertwende, beim NSU-Wankelmotor zu Beginn der 70er Jahre, wirkten sich veränderte externe Bedingungen daher auch völlig unterschiedlich aus: Mit Beginn der Aufrüstungsphase und der Einführung einer neuen Waffengattung konnten durch eine konsequente Pflege des Behördengeschäfts seitens der MAN dem Dieselmotor neue Verwendungsoptionen erschlossen werden, die letztlich den entscheidenden Beitrag zur dauerhaften Stabilität und der Aufnahme in den "herrschenden Stand der Technik" lieferten. Der MAN-Dieselmotor wurde mit in ein Rüstungspaket eingeschnürt, was dem Motor beispielsweise im Vergleich zu dem nicht berücksichtigten Junkers-Gegenkolben-Motor in wenigen Jahre einen uneinholbaren Erfahrungs- und Verbreitungsvorsprung verschaffte. Für das NSU-Wankelprojekt stellten sich die kriegs- und rüstungspolitischen Kontexte selbstverständlich anders, aber auch nicht ohne Perspektive dar. Tatsächlich konnte 1958 mit dem Bundesministerium für Verteidigung ein kleines Fördervorhaben vereinbart werden, bei dem Rotationskolbenmaschinen für den Einsatz von Dieselmotorkraftstoff und anderen Energieträgern getestet wurden. Allerdings "schlief" die Zusammenarbeit wieder ein (Korp, 1975: 79). An eine zur Verbreiterung der industriellen Basis ja denkbare Verbindung zum "Diesel-Ring" und Bildung einer Kooperation dachte offenbar zu diesem Zeitpunkt in Neckarsulm niemand; wenige Jahre später tauchten diese Dieselhersteller tatsächlich im "Wankel-Club" auf, diesmal aber unter veränderten Vorzeichen. Die 1973 ausgebrochene "Ölkrise", bei der die bisherige Wachstumsphilosophie ihre erste Schramme erhielt und urplötzlich auch die Zukunft der Automobilindustrie auf dem Spiel stand, führte zu einer qualitativen Verschiebung von Nutzungsprofilen der Automo-

bilkäufer. Die gewachsenen Anforderungen an einen rationelleren Einsatz der nun auch im Bewußtsein der Menschen knapper werdenden Energieträger zwang die Branche zu einem technischen Reformprogramm, das für Rotationskolbenmaschinen - zu dieser Zeit existierte bereits kein industrieller "Wankel-Akteur" mehr - keine neuen Perspektiven im Kontext von Neubewertungen bisheriger Entwicklungslinien und neu zu verhandelnder Konsolidierungsentscheidungen bot. Im Gegenteil: Die erwachte Sensibilität für den Kraftstoffverbrauch gab den Automobilunternehmen endlich auch die technischen Argumente gegen den "ungeschützten" NSU/Wankelmotor an die Hand. Der im "herrschenden Stand der Technik" der Hubkolbenmaschinen über 100 Jahre lange Wissens- und Erfahrungsvorsprung ermöglichte durch den Rückgriff auf die zwar bislang nur auf den "hinteren Reihen" plazierten dieselmotorischen Antriebssysteme, in sehr kurzer Zeit ein maschinell vollkommen ausgereiftes und zudem ökonomisch günstiges Aggregat zu präsentieren. Erst knapp ein Jahrzehnt später stellte man fest, daß diese schnellen Erfolge in der Präsentation eines wirtschaftlicheren Motors nur auf Kosten einer hohen Schadstoffbelastung möglich gewesen waren. Der NSU-Wankelmotor hätte durch die völlig andere Brennraumgestaltung nicht nur bessere Voraussetzungen zum Einsatz erneuerbarer Energieträger geboten (vgl. Povel, 1987: 187), sondern die konstruktiven Besonderheiten des Motors wirken sich auch sehr günstig auf eine geringere Emissionen von Stickoxiden aus, ein Problem, an dessen Beseitigung die Dieselmotorenforschung schon seit geraumer Zeit erfolglos arbeitet (vgl. Elberth u.a., 1989: 102ff.; v.Basshuysen/Hornfeck, 1971: 222).

Bis auf einen vom japanischen Toyo Kogyo-Konzern mit einer Rotationskolbenmaschine angebotenen Sportwagen ist der NSU/Wankelmotor aus der "Automobil-Szene" wieder verschwunden und da auch kein neuer industrieller Träger dieses Antriebskonzeptes in Sicht ist, mangelt es an Versuchen, den erreichten Wissensstand unter veränderten Bedingungen neu zu bündeln und einzuklagen. Zur Zeit wird wieder nur aus repräsentativen Gründen an solchen Maschinen gearbeitet (vgl. Albach/Pay/Okamuro, 1989: 35ff.). Für den NSU/Wankelmotor konnte somit die Phalanx der konventionellen Motortechnik nicht durchbrochen und dieses Wissen nicht im "herrschenden Stand der Technik" abgesichert werden. Der Motor fiel damit auf den Status einer "technischen Option" zurück. "Eine breite Anwendung blieb ihm

versagt", stellte ein führender Verbrennungsmotorenforscher rückblickend fest. Die Formulierung "blieb ihm versagt" sollte dabei durchaus wörtlich genommen werden. "Und wenn auch heute die Suche nach anderen Wegen nicht aufgegeben werden sollte, so ist doch der Weiterentwicklung der heutigen Technik der Vorrang zu geben", denn "alles in allem: Es wird sich erweisen, daß das Entwicklungspotential des Verbrennungsmotors noch lange nicht erschöpft ist und daß seine Technik auch die Anforderungen der Zukunft erfüllen kann" (Pischinger, 1989: 289; 295). Es war der erklärte Wille zum Konsens von allen an der Motorenentwicklung beteiligten Akteuren, den Unternehmen, Professionsvereinigungen und technik-wissenschaftlichen Forschungseinrichtungen zur Fortführung der bisherigen technischen Linie. Obgleich diese Entscheidung kognitive und ökonomische Vorteile bedeutete, mußte sie - um die Vorzüge gegenüber alternativen Lösungsmodellen auch unter veränderten externen Bedingungen zu sichern - immer wieder sozial neu bestätigt und machtpolitisch abgesichert werden. Insofern ist die Abwehrhaltung gegenüber solchen Projekten, diesen Konsens aufzubrechen und neu formieren zu wollen, normal bzw. funktional gerechtfertigt und Absprachen gegen den NSU-Wankelmotor mit Sicherheit anzunehmen. Man muß sich daher bei sozialwissenschaftlichen Rekonstruktionsarbeiten von "Verlierer-Projekten" davor hüten, im Ausschließen technischer Optionen etwas Besonderes, Außergewöhnliches und nur gegen diese bestimmte Option gerichtetes Verhalten zu vermuten. Diesel gelang in seiner Bündnispolitik die frühzeitige Einbindung der jeweiligen Eigeninteressen von industriellen und technik-wissenschaftlichen Akteuren, während im Falle des NSU-Wankelprojektes wie auch des Junkers-Gegenkolben-Motors entweder ganz auf eine Absicherungs politik verzichtet oder viel zu spät mit der Formierung einer industriellen Kerngruppe begonnen wurde, die den Vertretern der "herrschenden Linie" den Aufbau und die Abwicklung von "Sabotageaktionen" ermöglichte. Die einer zielgerichteten Manipulation entzogenen äußeren wirtschaftlichen, politischen oder kulturell motivierten Veränderungen üben ihre Wirkung damit auf unterschiedlich gut "bestellte Felder" aus. Der "geschützte" Dieselmotor wurde durch das Aufrüstungsprogramm der Reichsregierung in wenigen Jahren an die Spitze der Verbrennungsmotoren katapultiert, während der "ungeschützte" NSU-Wankelmotor nach dem Schock der Ölkrise ganz aus der Öffentlichkeit verschwand.

11. Technische Lösungen mit überschrittenem "Verfallsdatum": Der "herrschende Stand der Technik" und sein politischer Preis

Gegenstand dieser Arbeit war, die Prozesse der Entstehung und Entwicklung von Techniken unter dem Blickwinkel der Bedeutung von Strukturen des organisierten Wahrnehmens, Bewertens und Handelns für die konkrete Ausprägung technischer Geräte zu analysieren und die institutionellen Bedingungen der Durchsetzung bzw. Nichtdurchsetzung technischer Optionen sowie der zugrundeliegenden Eliminierungsentscheidungen zu rekonstruieren. In diesem letzten Abschnitt wollen wir dieses Konzept, technische Entwicklung aus einem bestimmten Grundverständnis heraus als "Schließungs- und Konsolidierungsprozeß zu beschreiben, resümieren und insbesondere Bedingungen und Voraussetzungen benennen, die für solche Technikgeneseprojekte organisiert bzw. durchgesetzt werden müssen, die nicht auf die als "Stand der Technik" legitimierten Wissensbestände zurückgreifen. Schließlich werden einige technologiepolitische Implikationen erörtert, die sich aus den hohen Anschlußzwängen der versiegelten und daher nicht mehr zur Disposition stehenden Wissensbestände als Barriere für neue - und den aktuellen Problemen möglicherweise angepaßteren - Lösungen ergeben.

Einschreiben, Festschreiben, Schließen und Konsolidieren: Die Institutionalisierung technischer Wissensbestände

Aus der im ersten Kapitel formulierten Kritik an der sozialwissenschaftlichen Forschung, den Untersuchungsgegenstand "Technik" aus einer forschungskonzeptionell und erkenntnistheoretisch begründeten zu großen Distanz zu untersuchen und Technik entweder immer erst als "geronnene" und dann bereits politikstrukturierende Tatsache wahrzunehmen oder die Prozesse der Entstehung von Technik aus dem vorhandenen Bestand an Deutungsmuster zu deduzieren, wurde für diese Arbeit eine forschungskonzeptionelle Konsequenz gezogen: Es galt den Erzeugungsprozeß einer Technik - angesichts eines offenkundig vorhandenen Defizits an Aufklärungswissen über Optionen einer politischen Gestaltung konkreter technischer Prozesse - einmal unmittelbar, gleichsam "vor Ort", in den organisatorischen und insti-

tutionellen Entstehungszusammenhängen zu erfassen, die Generierung und Eliminierung der Wissensbestände zu rekonstruieren und für einen sozialwissenschaftlichen Erklärungsansatz aufzubereiten.

Ein erster vorbereitender Untersuchungsschritt widmete sich deshalb dem Versuch, die für technische Arbeit spezifischen Bedingungen und Bedürfnisse herauszuarbeiten. Entwickelt wurde die These, daß der Prozeß der technischen Wissensgenerierung in erheblichem Maße von dem Problem der maschinellen Stabilisierung geprägt wird, also vorhandene Erkenntnisse in einen orts- und zeitunabhängigen, vorhersagbaren und exakt reproduzierbaren Programmablauf "einzuschreiben" und dauerhaft zu stabilisieren. Denn im Unterschied zur wissenschaftlichen Forschung ist das Ergebnis technischer Arbeit durch die eindeutige Zwecksetzung im Ergebnis leichter zu kontrollieren und zwingt die Akteure zu einem höheren Grad an innerer Konsistenz. Unterschiedliche, oft mehrdeutige Anforderungen an technische Lösungen bedrohen potentiell die genau aufeinander abgestimmten Elemente des maschinellen Gefüges und werden deshalb nach einem "seriellen Muster" abgearbeitet, d.h. in integrierbare und für den maschinellen Zusammenhang ohne Risiko abzuarbeitende Aufgabenpakete übersetzt. Erleichterung bietet die Möglichkeit, mit einem bereits gesicherten Wissensbestand und auf der Grundlage erprobter Regeln zu operieren und bei komplexen Aufgabenstellungen auf Elemente zurückzugreifen, denen schon aus anderen Zusammenhängen eine "Funktionsgarantie" attestiert wurde. Damit werden kognitive Strukturierungsvorteile und konstruktive Sicherheit gewonnen und eine kosten- und risikoreiche Forschungsarbeit vermieden. Eindeutige und weithin akzeptierte Regeln wirken für die berufliche Praxis zudem "identitätsstiftend", da hierdurch auch hilfreiche Orientierungen für professionsgerechte Verhaltensweisen vermittelt werden. Diese organisationsübergreifenden Wissensbestände, zu denen auch Regeln, Absprachen, Konstruktionsprinzipien, Konstruktionselemente, Verständnisse über Einsatzkonzepte gehören, haben wir als "Stand der Technik" bezeichnet. Gehegt, gepflegt und verteidigt werden diese institutionellen Gebilde von allen FuE-treibenden Akteure eines jeweils genau definierten Geltungsbereiches. Industrie, Forschung, technische Lehre, intermediäre Einrichtungen der "wissenschaftlich-technischen Gemeinschaftsarbeit" (VDI, VDE, TÜV) bringen mit faktischen, interpretativen und moderierenden Beiträgen die jeweiligen Eigeninter-

sen ein, suchen aber auch die unbedingte Verständigung auf gemeinsam zu nutzende Orientierungs- und Referenzrahmen sowie Empfehlungen zur Lösung technischer Problemstellungen zu erreichen. Denn die gewünschten kognitiven, sozialen und ökonomischen Vorteile entstehen nur dann und können auch nur dann als stabile Grundlage gesichert werden, wenn alle Beteiligten eines bestimmten Geltungsbereiches hierauf verpflichtet und diszipliniert werden können.

Kernelement eines "Standes der Technik" ist der frühzeitig um ein technisches Problem gebildete Konsolidierungskonsens bei dem sich die beteiligten Akteure auf Grundorientierungen der Entwicklungsarbeit einigen und die weitere Generierung und Implementierung technischen Wissens durch gemeinsame Selektionsmuster festschreiben. Diese strukturierten Bedingungen bieten kognitive Vorteile der Wissensakkumulation und repräsentieren für neu einsteigende Einrichtungen attraktive Einlassungsmöglichkeiten. Der "Stand der Technik" erhält so vor allem durch den exklusiven Charakter der hier repräsentierten Strukturierungsangebote seine zentrale Funktion, die aber sofort eingebüßt wird, sobald sich für einen Geltungsbereich konkurrierende Angebote konstituieren können. Zur Vermeidung eines solchen Revirements - bei dem die zentrale Bedeutung dieser Wissensbestände gefährdet ist - sind deshalb zusätzlich politische Sicherungsleistungen notwendig. Denn im "Stand der Technik" sind ja keinesfalls alle Wissensbestände eines Technikfeldes repräsentiert, sondern nur die für einzelne Verwendungsgebiete als "zuständig" und "legitim" ausgewählten Konstruktionsgrundlagen und Lösungswege. Je nach Tradition und Forschungsintensität eines Feldes existieren selbstverständlich darüber hinaus noch weitere Ideen, Konstruktionsvorschläge und Elemente, die wir als "technische Optionen" bezeichnet haben und die für Geneseprojekte eine Art "Verfügungsmasse" bilden.

Ebenfalls nicht in den "Stand der Technik" aufgenommene, aber faktisch vorhandene technische Lösungen, die von einzelnen Technikproduzenten im Alleingang und ohne Anerkennung durch die herrschenden technik-wissenschaftlichen Diskurse angeboten und vertrieben werden, haben wir in einer dritten Kategorie als "faktischen Stand der Technik" bezeichnet. Diese zum "herrschenden Stand" der Technik konkurrierenden Linien sind ohne Absicherung in der technischen Lehre ganz an die Definitionsmacht des jeweiligen Anbieters gekoppelt und drohen, sobald die hierfür notwendigen ökonomischen und

politischen Ressourcen nicht mehr mobilisiert werden können, wieder zu verschwinden.

Mit dieser dem "Stand der Technik" zugewiesenen Bedeutung haben wir bei den untersuchten Branchen den institutionellen Bedingungen eine weitaus größere Prägestkraft bei der Technikgestaltung eingeräumt als einzelnen organisatorischen Handlungsmöglichkeiten. Für die der Maschinen-, Motoren- und Automobilindustrie konnten wir feststellen, daß von allen an der Technikentwicklung beteiligten Einrichtungen die Grundmuster und die Zuteilungen der verschiedenen Konfigurationen für die spezifizierten Einsatzfelder akzeptiert wurden. Alle Automobilhersteller verwenden beispielsweise in Fahrzeugen einen Hubkolben-Verbrennungsmotor; für Lastwagen in der dieselmotorischen -, für Personenkraftwagen vorwiegend in der ottomotorischen Variante. Allerdings entstehen selbst bei einer gelungenen Verpflichtung auf ein solches gemeinsames Grundmuster in der konkreten Konstruktionspraxis mehrdeutige Interpretationen technischer Probleme. Sobald Entwicklungsarbeiten weiter fortgeschritten sind, werden neue Erfahrungen und Erkenntnisse generiert, für die bisher gültige Selektionskriterien nun zu grob sind und für die erst in einem Abstimmungsprozeß neue Strukturierungshilfen gefunden werden müssen. Über einen begrenzten Zeitraum werden daher - in einem freilich institutionell definierten Rahmen - durchaus organisationsspezifische Lösungswege beschritten. Nach dem gelungenen Konsolidierungskonsens trat im Dieselmotorenbau beispielsweise nach dem Ende des Ersten Weltkriegs eine solche Situation ein, als durch die umfangreichen Erfahrungen des Kriegseinsatzes einzelne Konstruktionsfragen Neubewertet werden mußten, etwa ob das Viertakt- oder das Zweitaktverfahren günstiger sei, die Motoren mit oder ohne Kompressor gebaut werden sollten, oder - einige Zeit später -, ob Direkteinspritzung oder das Kammervverfahren für schnellaufende Motoren genutzt werden sollte. Die erweiterten Strukturierungshilfen konnten, nach zunächst entstandener Übersichtlichkeit, durch eine differenzierte Zuteilung der einzelnen Verfahren auf verschiedenen Anwendungsgebiete geschaffen werden und eine Konkurrenzsituation zukünftig damit ausgeschlossen bleiben. Durch die Neubewertung und Verfeinerung von Selektionskriterien war die benötigte Übersichtlichkeit wiedergewonnen und die Voraussetzungen für einen raschen und geordneten Entwicklungsprozeß erneut gegeben.

Die Erzeugung einer neuen Technik ist in den hier untersuchten Kontexten als ein Prozeß zu verstehen, bei dem die zum Entstehungszeitpunkt gültigen Bedingungen, d.h. vorhandenen Vorstellungen, Erkenntnisse, Erfahrungen und Regeln auf ihre Verwendungstauglichkeit für eine neue Aufgabenstellung geprüft und insbesondere auf die Möglichkeit zur Bildung eines dauerhaften maschinellen Funktionsmodus untersucht werden, über die Aufnahme im "Stand der Technik" als legitimes Wissen anerkannt und durch eine genaue und abgestimmte Zuteilung des Verwendungsgebietes auch "sozial gehärtet" werden. Bei neu entstehenden Märkten ist zu erwarten, daß sich solche Geneseprojekte durchsetzen, bei denen die federführenden Akteure sehr schnell über grundlegende Entscheidungen und Konstruktionsprämissen Konsens erzielen, der dann festgestellt, als stabiles Selektionsmuster eine rasche Kulmination der Erkenntnisgewinnung durch ein rigides "Schließen" gegenüber weiteren Optionen ermöglicht und schon nach kurzer Zeit in einem Wissens- und Erfahrungsvorsprung dokumentiert werden kann, dessen Übernahme oder Anerkennung für neue Projekte attraktiver ist als die Aufnahme oder Weiterverfolgung eigener Entwicklungsarbeiten.

Freilich werden damit einmal gesetzte Selektionsmuster auch für neue Aufgabenprofile fortgeschrieben und neues technisches Wissen für veränderte Lösungsaufgaben im wesentlichen durch Analogiebildung mobilisiert (Knorr-Cetina, 1984: 112). Der Geneseprozeß gewinnt daher im Rahmen der technischen Gesamtentwicklung insofern einen für die Gestaltung besonders prägenden Einfluß, als durch die Aufnahme in den "Stand der Technik" eine Anerkennung und Institutionalisierung der in maschinelle Lösungsmuster fixierten Interpretation der jeweils herrschenden Bedingungen erfolgt und dort möglicherweise über das "Verfallsdatum" hinaus festgeschrieben bleibt. Denn was unter kurzfristigen Kalkülen an Konstruktionsüberlegungen den "Schließungs- und Konsolidierungsentscheidungen" zum Opfer fällt, kann später, wenn sich die externen Bedingungen verschoben haben, in den mittlerweile erzeugten maschinellen Funktionsmodus nicht einfach mehr eingearbeitet und den neuen Verhältnissen angepaßt werden! Wir konnten dies am Beispiel des gescheiterten Projektes eines Verbundmotors sowie dem ebenfalls mißglückten Versuch, nachwachsende Rohstoffe als Brennstoff für den Dieselmotor zu verwenden, be-

obachten. Die zu erwartenden Turbulenzen für die mühsam erreichte Funktionssicherheit der Maschinen werden in ihrer Bedrohung höher gewichtet als eventuell entstehende Funktionserweiterungen. Sobald die Entwicklungsgrundlagen konsensuell abgesichert werden konnten, scheinen veränderte externe Bedingung sogar eher dazu zu führen, daß die festgelegten Konventionen in ihrer Substanz noch verteidigt werden. Der Hubkolben-Verbrennungsmotor, der in seiner Funktionsweise und den Konstruktionselementen das technische Wissen des ausgehenden 19. Jahrhunderts repräsentiert oder die Hauptsätze der Technischen Thermodynamik, die mit ihrem "Dampfmaschinenblick" auch heute noch die technikwissenschaftlichen Lehrpläne dominieren, sind Beispiele für diese den heutigen Ansprüchen völlig unangepaßten, aber nicht zur Disposition stehenden versiegelten Wissensbestände, deren nach wie vor in der technischen Arbeit hoch geschätzte Strukturierungsleistungen aber auf der anderen Seite als Sachzwänge der heutigen Technikentwicklung erscheinen. Je intensiver diese unternehmens- und organisationsübergreifenden Interaktionsprozesse betrieben werden und der gemeinsam verwaltete und beharrlich ausgeweitete Wissens- und Erfahrungsbestand gepflegt und gesichert wird, umso größer ist die Bedeutung dieser Altbestände als Orientierungsgröße für neue technische Lösungen. Zugespitzt lautet daher die Quintessenz der Untersuchung: In der technischen Arbeit wird in erster Linie auf die Anschlußfähigkeit vorhandener und bewährter Wissensbestände und die dort angegebenen Regeln der Konstruktionsarbeit geachtet, um Funktionssicherheit zu gewährleisten, und erst in zweiter Linie können Wünsche und Bedürfnisse der Nutzer oder Auftraggeber berücksichtigt werden und auch nur in dem Maße, wie sie mit dem gesicherten Erkenntnisstand bearbeitbar sind. Diese Definitionsmacht der Anbieter und der primär "selbstbezogene" Erzeugungsprozeß ist vermutlich in traditionellen Branchen und Technikfeldern wie dem Motoren- und Automobilbau, der Eisen- und Stahlindustrie oder der Chemiebranche ausgeprägter als in Industriebereichen, die erst in die Phase der Branchenbildung eintreten und noch nicht über ein feingesponnenes, unternehmensübergreifendes Kommunikationsnetzwerk zur Institutionalisierung eines konsolidierten Wissensbestandes verfügen. Der unternehmerische Wettbewerb in diesen Alt-Branchen wird auf der Basis dieser formierten Wissensbestände ausgetragen, die Absprachen und Konventionen stehen als Bestandteil

eines übergeordneten Verständigungsprozesses durch die ökonomisch motivierte Konkurrenzsituation nicht zur Disposition. Neue Wettbewerber neigen offenkundig dazu, wenn keine Anzeichen eines Revirements und einer Gefährdung der Stabilität des "Standes der Technik" erkennbar sind, die hier zusammengefaßten Angebote wegen der hohen Funktionsgüte im Nutzen höher zu bewerten als die Kosten, die beim Aufbau einer neuen, den Bedürfniserwartungen wohlmöglich angepaßteren technischen Angebotsstruktur entstehen.

Technikgenese als Projekt der Destabilisierung und Neuformierung institutionalisierter Wissensbestände

Wie schwierig unter diesen festgefühten Bedingungen traditioneller Technikfelder und formierter Branchen überhaupt noch Geneseprojekte zu organisieren sind, die in ihrem Kern auf nicht legitimierte und im "Stand der Technik" abgesicherte Wissensbestände - auf die hier so bezeichneten "technischen Optionen" - zurückgreifen, konnten wir am Beispiel der beiden Motorenprojekte Diesel- und NSU/Wankelmotor verfolgen, deren "Einbruchversuche" zu verschiedenen Zeitpunkten mit sehr unterschiedlichem Ergebnis abgeschlossen wurden. Es zeigte sich, in welchem Umfang für den Erfolg oder Mißerfolg eines Erzeugungsprozesses weniger die Genialität oder konstruktive Ausführung einer technischen Idee, sondern vielmehr ein machtpolitisches Gespür, organisatorische Fähigkeit und glücklich gewählte Zeitpunkte ausschlaggebend sind. Wenn man diese beiden untersuchten Geneseprojekte zugrunde legt, so muß konstatiert werden, daß für eine erfolgreiche Einführung und Absicherung einer grundlegenden technischen Neuerung auf einem bereits existierenden Markt erst ein Zusammenreffen mehrerer subjektiver und objektiver Faktoren die notwendigen Potentiale mobilisieren können, die zur Destabilisierung geronnener Strukturen notwendig sind:

* Der für das avisierte Verwendungsgebiet bereits existierende "Stand der Technik" muß einem starken Legitimationsdruck ausgesetzt sein, qualitative und quantitative Verschiebungen der Nutzungsstrukturen bei just zu diesem Zeitpunkt - und noch dazu in wohl organisierter und konsolidierter Form - auftauchenden technischen Alternativen sind Voraussetzungen dafür, daß die Frage nach Rückgriffsmöglichkeiten auf bisher gepflegte Wissensbestände bedenklich erscheinen muß.

* Um eine solche für den "herrschenden Stand" bedrohliche Situation tatsächlich auch für einen Einbruch neuer technischer Projekte zu nutzen, mit denen dann ein Revirement ausgelöst werden kann, sind zunächst die Instabilitäten der kognitiven, sozialen und ökonomischen Bindekräfte auszuloten und die Akteure des bisherigen Trägerkreises zu identifizieren, deren Eigeninteressen nicht mehr vollständig von den bestehenden Konventionen eingebunden werden und deshalb in den Aufbau eines Unterstützernetzwerkes integriert werden können. Diese Auflösungstendenzen, die freilich keineswegs "von selbst" laufen, sondern aktiv eingeleitet und politisch betreut werden müssen, erhöhen den Druck auf die zentralen, zumeist industriellen Akteure vor dem Hintergrund der Unsicherheiten in der Bewertung der bestehenden Wissensbestände, neuen technischen Projekten offener gegenüberzustehen.

* Dennoch scheint selbst bei solchen Konstellationen der Abschluß eines Kooperationsvertrages nur dann zu gelingen, wenn "unterhalb" offizieller Verhandlungsebenen informelle Kanäle gefunden und genutzt werden können, mit denen die völlig anderen Prämissen und Inhalte der "technischen Option" in die Sprache und Denkmuster des Unternehmens "übersetzt" werden können.

* Selbst wenn dieser Einbruch in formierten Denk- und Handlungsstrukturen gelungen ist, entscheidet über das weitere Schicksal des Geneseprojekts der Grad des wirklichen industriellen Interesses an der Entwicklung, da ja immer auch die Gefahr eines nur inszenierten Interesses besteht und Strategieüberlegungen mehr an einer Wiedereinsetzung der alten Wissensbestände orientiert sein können. Im Falle des Dieselpjektes gelang es, die Branchenführer gemeinsam an dem Projekt zu beteiligen und die Interessen so geschickt zu verschachteln, daß die Unternehmen wechselweise die Funktion des Schutzpatrons beim jeweils anderen Unternehmen ausübten und auf diese Weise für die tatsächliche Aufnahme und Abwicklung des Projektes im gewährten "Schutzraum" sorgten. Wie schmal der Grad von der Kooperation zur Konfrontation in der industriellen Zusammenarbeit ist und wie schnell dieser überschritten werden kann, wenn nicht von Beginn an eine breite Einlagerung in die industriellen Kernstrukturen gelingt, zeigte sich am Beispiel des NSU/Wankelmotors. Projekten, die in solchen stark strukturierten Technikfeldern nicht von den zentralen Akteuren aufgegriffen werden, droht das Schicksal, spätestens dann ein

Opfer von Sabotageaktionen zu werden, wenn sich die Träger und Verwalter des "herrschenden Wissens" nach zwischenzeitlich wieder stabilisierten Rahmenbedingungen auf eine Fortschreibung des bisherigen Konsolidierungskonsens einigen und sich daher gegen ein Reformprojekt entscheiden.

* Konnte die industrielle Kooperation aber gesichert werden, hängt der Erfolg sowie der letztlich erreichte Reformgrad des Projektes einerseits davon ab, wie weit Entwicklungsräume wirklich zur Verfügung gestellt und die herrschenden Selektionskriterien in ihrer eliminierenden Wirkung suspendiert werden können. Die Erfolgsaussichten einer Technik, als Branchenstandard etabliert zu werden, scheinen aber andererseits auch umso größer zu sein, je schneller und deutlicher sich die Mächte industrieller Kontexte durchzusetzen vermögen und in einem rigiden "Schließungs- und Konsolidierungskurs" den Generierungsprozeß organisieren. Im Ergebnis entsteht durch diese Inkorporierung mit schon bestehenden und bewährten Wissenselementen zwar eine "milieugeschädigte" Technik, die nur noch einen eingeschränkten, angepaßten Reformcharakter besitzt, dafür im technikwissenschaftlichen Diskurs sehr schnell Akzeptanz mobilisieren kann. Während Diesel über die Streichung vieler seiner Projekte durch die MAN lamentierte, aber eine - in seinem Sinne mit "technischen Krücken" arbeitende - Maschine als neuer Typ einer Verbrennungskraftmaschine bei Industrie, Publikum und Technikwissenschaft akzeptiert wurde, konnte sich Wankel zwar länger mit seinen Ideen und Vorstellungen im industriellen Zusammenspiel behaupten, dafür mußte er aber das Scheitern des gesamten Projektes in Kauf nehmen.

* Von welcher Qualität und Durchsetzungsmacht die industrielle Trägerstruktur des Projektes wirklich ist, erweist sich spätestens beim Transfer des generierten Wissens über die geschützten betrieblichen Entwicklungsräume hinaus in die industrielle Praxiskontexte. Offensichtlich können Nutzer tatsächlich nur dann zur Wahl eines neuen - vom "herrschenden Stand der Technik" abweichenden - Verfahrens bewogen werden, wenn das Risiko einer möglicherweise mangelhaft ausgebildeten Funktions- und Betriebssicherheit vom Anbieter durch Garantieleistungen kompensiert wird. Ökonomische Stärke ist auch eine Voraussetzung für die Erhaltung der technischen Definitionsmacht über das Projekt und damit die Option, eine zwischenzeitlich eingetretene Stabilisierung des "herrschenden Standes der Technik" abwarten

zu können. Die Möglichkeit, die gesammelten Erfahrungen und Erkenntnisse in einem maschinellen Funktionsmodus zu härten und zu konservieren, erlaubte es beispielsweise der MAN mit einem provisorischen Ergebnis so lange zu überwintern, bis im Rahmen eines erneuten Revirements der konservierte Wissensstand als attraktive technische Vorleistung für die veränderten Nutzungsstrukturen erscheinen konnte und die bisher realisierten "Schließungs- und Konsolidierungsentscheidungen" auch von anderen Unternehmen übernommen und weiter "ausgehärtet" wurden. Hierbei scheint die Bereitschaft zur Aufnahme neuer Konstruktionsformen umso größer zu sein, je eindeutiger die Einbruchstellen in die herrschende Phalanx markiert und das Einsatzgebiet umrissen ist.

* Der Zeitpunkt für eine erfolgreiche Absicherungspolitik ist insofern wichtig, als die Bereitschaft zur Aufnahme "fremder", d.h. risikoreicher Wissensbestände immer nur sehr begrenzt zu sein scheint und nach einer bereits eingeleiteten Reformierungsphase zunächst die Suche nach neuen stabilen Strukturen dominiert und die Aufnahme für weitere Projekte in die Diskurse daher zunächst wieder geschlossen wird.

* Bei einem Verzicht auf eine Absicherung generierter Wissensbestände, die durch die Verbreiterung der betrieblich ausgebildeten "Schließungs- und Konsolidierungsentscheidungen" zu einem branchenweit gültigen Selektionsmuster und durch Integration in technikwissenschaftliche Diskurse sowie in das Curriculum der technischen Ausbildung erreicht wird, und eine statt dessen erfolgte Konzentration auf einen "faktischen Stand der Technik" steht dabei vor der Gefahr, mit einem Verlust der unternehmerischen Selbständigkeit auch die Definitionsmacht zur Bewertung der promovierten Technik abzugeben. Nach einer Zerschlagung der industriellen Trägerstruktur - so wie es am Beispiel der Junkerswerke illustriert wurde - droht der generierte Wissensbestand verloren zu gehen und auf den Status einer nicht realisierbaren "technischen Option" zurück gestuft zu werden.

* Zufälle, die als nicht kalkulierbare, massive Verschiebungen externer Bedingungen eintreten, können damit je nach Grad der politischen Absicherung eine sehr unterschiedliche Wirkung auslösen. Während die umfangreichen Aufrüstungspläne der Militärverwaltungen des Deutschen Reiches auf einen von der MAN bestens präparierten "Stand der Technik" trafen und den Dieselmotor in kurzer Zeit eine

Spitzenstellung im Bereich des Kraftmaschinenbaus ermöglichten, bedeutete ein durch die erste "Ölkrise" ausgelöster Neubewertungsbedarf der technischen Angebotstruktur automobiler Antriebssysteme für den NSU/Wankelmotor das endgültige Aus.

Für die industriellen Akteure haben diese institutionalisierten Wissensbestände mittlerweile eine solche Bedeutung erlangt, daß deren Beachtung und Anerkennung als normative Komponente in den Forschungs- und Entwicklungsprozeß Eingang gefunden haben und offen eingeklagt werden. Die Empfehlung im ersten Lehrbuch des Verbrennungsmotorenbaus, lieber kontinuierlich an den bestehenden Konstruktionsformen zu arbeiten und nicht immer neue Lösungen erfinden zu wollen, findet knapp 90 Jahre später eine Fortsetzung in der harschen Kritik des Chefs der Zentralabteilung Forschung und Entwicklung der Siemens AG, Hans-Günter Danielmeyer, am Wunsch nach "unabhängiger Kreativität" europäischer und amerikanischer Ingenieure. Denn "daraus erklärt sich der westliche Hang zur perfekten, besseren, neuen, anderen und meist teureren technischen Lösung für Produkte und Systeme", die viel zu lange Vorlaufzeiten für Entwicklung und höhere Fertigungskosten nach sich ziehen. "Industrielle FuE muß nahtlos und rasch in die Fertigung einmünden; Spielraum für unabhängige schöpferische Aktivitäten kann gefährlich sein" (Danielmeyer, 1990: 16). Die amerikanische und europäische Automobilbranche wird sich sicherlich aber kaum "Defizite in adaptiver Kreativität" nachsagen lassen können. Der etablierte und institutionell verankerte Konsolidierungskonsens hat mittlerweile einen technischen Erkenntnisstand plus Sicherheitsnetzwerk generiert, der stabil und so "wandlungsfähig" ist, weil jenseits der "Bestandspflege" sogar noch genügend technisches Material für die Inszenierung von Innovationsfähigkeit existiert. Der erreichte "Stand der Technik" konnte nach außen so gut legitimiert werden, daß es für grundlegend neue technische Verfahren unter normalen Umständen kaum möglich sein dürfte, in diese Phalanx einzubrechen. Es hat vielmehr den Anschein, als ob die beinahe gelungene Genese des NSU/Wankelmotors der letzte "Ausrutscher" dieser kartellförmig organisierten Pflege technischer Wissensbestände automobiler Antriebssysteme gewesen wäre. Denn im Wankelprojekt konnten letztmalig so viele Ressourcen organisiert und eine entsprechend große Resonanz erzeugt werden, daß ein beachtlicher "fakti-

scher Stand" der Technik die im "herrschenden Stand" kultivierten Technikformationen erheblich in Nachweiszwänge brachte.

Erfolg oder Mißerfolg von Geneseprojekten sowie die letztlich realisierte Gestaltung der technischen Lösung ist daher in erheblichem Ausmaße das Produkt organisatorischer Fähigkeiten zur Bildung von commitments, die Freiräume schaffen und Ressourcen mobilisieren, Eigeninteressen aktivieren und Konsensbildungen destabilisieren und neu arrangieren. Bedingungen, Voraussetzungen und Faktoren, die auf die Durchsetzung und inhaltliche Gestaltung der Technik wirken, die durchaus die These unterstreichen, Technik als einen "sozialen Prozeß" zu verstehen, die aber andererseits alle Annahmen ins Leere laufen lassen, die damit auch eine eindeutige machtpolitische Zuweisung an einen einzelnen Akteur verbinden.

Technologiepolitische Implikationen

Die Bedeutung institutionalisierter Wissensbestände läßt die Frage nach externen Zugriffsmöglichkeiten auf die Gestaltung von Techniken eher schwierig erscheinen, da der Geneseprozess in eine lange Kette von Konsensen und Konventionen eingebunden ist, deren Inhalte vielfach von den geronnenen Entscheidungen längst vergangener Zeiten geprägt werden. Im Vergleich zur Situation des ausgehenden 19. Jahrhunderts sind diese Anschlußzwänge in den 60er und 70er Jahren eher noch größer geworden, da die technischen Grundsatzentscheidungen als stabile Selektionsmuster zum Ausgangspunkt der Entwicklung weitläufig ausdifferenzierter Forschungs- und Entwicklungszusammenhänge geworden sind. Die Autoindustrie hat große Kapitalmengen in fertigungstechnische Anlagen gebunden. Die Technikwissenschaften - noch zu Zeiten Diesels wichtigster Bündnispartner gegen die bis dahin herrschenden technischen Konventionen - haben sich, und zwar international, in Lehre und Forschung längst auf stabile Randbedingungen eingelassen, die für hohe Produktivität und eine mit den Beiträgen anderer Akteure kompatiblen Wissensproduktion Voraussetzung ist und deren Aufgabe die Entwertung der gesamten apparativen Infrastruktur bedeuten würde. Auf den hier untersuchten technischen Feldern der Auto- und Motorenindustrie - und man kann vermuten, daß sich dies bei anderen, altindustriellen Branchen nicht viel anders verhält - kommt dem "Stand der Technik" da-

her die Bedeutung von Institutionen im Sinne "stabilisierender Gewalten" zu, die zu "Gestalten eigenen Gewichts (gerinnen)" und "den Individuen gegenüber etwas wie eine Selbstmacht gewinnen", die zwar auch entlastende Funktionen ausüben, aber die Generierung und Organisierung technischer Lösungen zu einem extrem voraussetzungsvollen Projekt werden lassen, bei dem durch die Sicherung der Grundprinzipien bestimmte Deformationen weitergetragen werden (Gehlen, 1961: 71).

Vor diesem Hintergrund muß auch die jüngere Geschichte um die Diskussionen der sogenannten alternativen Antriebskonzepte, die vom Stirlingmotor über Elektro- oder Hybridantriebe bis zum Einsatz neuer Energieträger beispielsweise nachwachsender Rohstoffe oder flüssigen Wasserstoffs reichen, aus technologiepolitischer Sicht neu bewertet werden. Die bisherige private und öffentliche Förderpraxis in dieser Frage - so wie sie in Kapitel 4 ja schon erörtert wurde -, für einen begrenzten Zeitraum eine bestimmte Lösung zu favorisieren, zu protegieren, um anschließend technische Machbarkeitsprobleme einzuräumen, zur nächsten Alternative zu greifen und den Zyklus von Neuem beginnen zu lassen, erscheint objektiv eher als eine Schwächung der Chancen dieser Projekte (vgl. Kempkens, 1990: 134f.; Hoffmann, 1990: 32ff.; Olbert, 1990: 62ff.; Hütten, 1988: 434ff.; Povel, 1987: 175ff.). Diese rotierende Förderstrategie sorgt zwar dafür, daß eine breite Palette an alternativen Antriebsmöglichkeiten im Gespräch bleibt, aber das gerade durch die diskontinuierlichen Finanzströme und wechselnden Aufmerksamkeiten kein "Schließungsprozeß" einsetzen kann, der auf der Basis stabiler Selektionskriterien eine rasche Kulmination der Erkenntnisse ermöglicht. Vielmehr erlaubt diese "Teile-und-Herrsche"-Strategie in der bisherigen öffentlichen und privaten Förderpraxis, den in konventionellen Hubkolbenantrieben dokumentierten Wissensvorsprung gegenüber den "Alternativen" sogar noch zu stabilisieren und allen Forderungen nach dem Einsatz neuer Techniken mit dem Hinweis auf eine mangelnde Betriebstauglichkeit zu begegnen. Die Frage nach den Durchsetzungschancen alternativer technischer Entwürfe stellt sich nämlich auch - was bislang zu wenig beachtet wurde - als Problem einer nur mangelhaft ausgebildeten Fähigkeit zur Organisation eines Konsenses der Beteiligten über die grundlegenden Prinzipien und Elemente, die durch stabile und verbindliche Selektionskriterien einmal eine rasche Erkennt-

nisproduktion und andererseits eine bessere Absicherungspolitik nach Außen ermöglichen. Die großen "Sieger" in der Technik- und Wissenschaftsgeschichte, von denen wir der Technischen Thermodynamik, dem Verbrennungsmotor und letztlich auch dem Dieselfahren begegnet sind, diese Projekte zeichneten sich alle durch einen früh einsetzenden und dauerhaft gesicherten Einigungsprozeß aller beitragenden Akteure über grundsätzliche Prämissen aus und schafften daher die Voraussetzung für einen "Schließungs- und Konsolidierungsprozeß", der in kurzer Zeit in einem gut strukturierten Wissens- und Erfahrungsangebot dokumentiert werden konnte. Vergleicht man dagegen die Probleme beispielsweise im Bau von Windkraftanlagen, einer Energietechnik, der immerhin in der letzten Zeit wieder eine erhöhte Aufmerksamkeit zuteil geworden ist, zeigt sich die Situation eines von "Glaubensfragen" und durch die Bildung von "Schulen" unmöglich gewordenen Verständigungsprozesses über die elementaren technologischen Grundlagen (vgl. Muuß, 1987: 238). Man kann daher durchaus prognostizieren, daß diese "Daueralternative" auch zukünftig - unter günstigeren Randbedingungen - kaum aus dem bisherigen Windschatten der Energietechnik herauskommen wird.

Wenn also bei den internen Mechanismen der Generierung und maschinellen Realisierung technischen Wissens das Bedürfnis nach einem schnellen Konsolidierungskonsens und die Suche nach Planungssicherheit allen weiteren Kriterien in der technischen Arbeit übergeordnet ist und diese gemeinsame Grundorientierung im "Stand der Technik" zu einem Perzeptionsmuster mit "eingebauter Reformfeindlichkeit" institutionalisiert - was für neue, wohlmöglicherweise den modernen Problemen auch angepaßteren Lösungswege ein fast unüberwindbares Hindernis darstellt -, dann stellt sich tatsächlich zunächst die Aufgabe, nach Möglichkeiten einer kontrollierten Destabilisation, eines Revirements der formierten Strukturen zu suchen. Die zur Zeit existierenden hohen Anforderungen an die moderne Motorenentwicklung, nämlich nach noch stärkeren Energiespareffekten bei einer gleichzeitig geforderten drastischen Reduzierung des Schadstoffausstosses, verbunden mit dem Wunsch nach größeren Leistungsreserven in unteren und mittleren Drehzahlbereichen, dieser Forderungskatalog könnte durch eine staatliche Politik nicht nur bestätigt und stabilisiert werden, sondern durch Auflagen im Sicherheits- und Entsorgungsbereich noch erweitert werden. Auf diese Weise würde

das bisher dominierende serielle Verarbeitungsmuster in der technischen Arbeit vor große Probleme gestellt und die im "herrschenden Stand der Technik" zusammengefaßten Wissensbestände in ihrer Realitätstüchtigkeit relativieren. Solche Maßnahmen müssen aber gleichzeitig durch einen staatlich garantierten Schutzbereich begleitet werden, in dem "technische Optionen" gesammelt, gehegt und gepflegt und bereits in der präindustriellen Phase einem Konsensbildungsprozeß unterzogen werden, so daß der industrielle "Schließungsprozeß" seinen eliminierenden Charakter erst später, auf einem konsolidierteren Niveau beginnt und der Erfahrungsvorsprung etablierter Wissensbestände vor dem Hintergrund der staatlich verschärften Anforderungsprofile langsam abgebaut werden kann. Denn "es wäre ideal" - wünschte sich ein MAN-Ingenieur, das Dilemma der konventionellen Technikentwicklung vor Augen -, "wenn wir alle Entwicklungsmöglichkeiten nebeneinander praktisch verfolgen und ihre Ergebnisse in Ruhe auswerten könnten, um dann unsere Entscheidung zu fällen. Aber wir können fast immer nur einen Weg gehen in der Überzeugung, daß dieser Weg der richtige ist" (Sörensen, 1944: 1)

Die dem "Stand der Technik" zugewiesene Bedeutung einer zentralen analytischen Kategorie zur konzeptionellen Erfassung und Deutung von Geneseprozessen führt uns abschließend noch zu einer letzten technologiepolitischen Bemerkung. Denn dieser Begriff findet ja auch als Generalklausel in Gesetzestexten Anwendung und markiert auch eine tragende Säule staatlicher Regulierungspraxis (vgl. R. Wolf, 1986: 11ff.; Schuchard/Wolf, 1990: 9ff.). Eingeführt bereits im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts und bis zum ausgehenden 20. Jahrhundert erhalten geblieben, galt und gilt der Verweis auf den "Stand der Technik" ja gerade als ein Merkmal dynamischer Rechtssetzung, bei der sich der Staat aus einer engen bürokratisch-reglementierenden Kontrollfunktion zurückzieht und der Forderung nach Berücksichtigung des jeweils aktuellen Erkenntnisfortschritts dadurch erfüllt, daß er die technische Kompetenz permanent an der Gesetzesarbeit beteiligt. Im Ergebnis zeigte sich dabei aber eine schrittweise Rücknahme der staatlichen Definitionsmacht bei Fragen der Technikregulierung zugunsten einer sich als "wissenschaftlich-technische Gemeinschaftsarbeit" verstehenden Interessenstruktur der Ingenieur- und Technikerverbände. Grundlage hierfür war und ist die Annahme, daß in der

kompetenten Erörterung von Wissenschaftlern, Ingenieuren und Technikern in einem industrienahen Raum ein "gemeinschaftlicher" Regulierungsmodus gefunden werden kann, der den zwar formal rechtssetzenden, aber in der Sache ja eher inkompetenten staatlichen Organen überlegen ist (vgl. Dierkes/Knie/Wagner, 1988: 6). Der darauf aufbauende Regulierungsmodus, der zunächst als "Dampfkesselüberwachungsverein" (DÜV) - erst in den 30er Jahren als "Technische Überwachungsvereine" (TÜV) etwas allgemeiner gefaßt - fest verankert wurde und damit zu einem elementaren Bestandteil der staatlichen Fürsorgepflicht geworden ist (vgl. Marburger, 1979: 145ff.), scheint trotz der für Mensch und Umwelt immer bedrohlicheren Folgen des modernen Technikeinsatzes in seiner Bedeutung bislang noch kaum in Frage gestellt worden zu sein. Ob aber das im "Stand der Technik" verborgene Perzeptionsmuster wirklich mit der Wahrung und Sicherung gesamtgesellschaftlicher Interessen in Einklang zu bringen ist, muß mit Blick auf die hier herausgearbeitete eingebaute Reformfeindlichkeit eher fraglich erscheinen. "Das Normprogramm des unbestimmten Rechtsbegriffs allgemeiner anerkannter Regeln der Technik verzichtet damit nicht nur auf den Anspruch, innovative Anforderungen an die technische Entwicklung zu stellen, sondern enthält darüber hinaus einen durchaus konservativen Adaptionsmechanismus, der die Spitzentechnologien und Pilotprojekte aus dem administrativen Anforderungskatalog verbannt. Im Steuerungszentrum stehen damit nicht politisch-normativ gesetzte Anforderungen an die Technik, sondern die weitgehend von staatlichen Interventionen freien und autonom gesetzten technischen Standards selbst" (R. Wolf, 1986: 284).

Während zu Zeiten Diesels energietechnische Probleme zwar mit großer Unsicherheit, aber doch "offen" in verschiedene Richtungen hin diskutiert wurden, die Fragen, mit welchen technischen Verfahren die erweiterten Nutzungsstrukturen abgedeckt werden sollten, im Grundsatz sehr kontrovers erörtert wurden und die bis dahin herrschende Dampfmaschinentechnik mit Blick auf die gestiegenen Anforderungen einer kritischen Neubewertung unterzogen werden konnte, grassierte zu Zeiten Wankels mit dem "Turbinen-Fieber" und den vielen, weltweit anlaufenden Projekten zur Erprobung neuer mobiler Antriebssysteme immerhin auch noch die Hoffnung auf ein Ende des Hubkolbenantriebs im Automobil. Die "Energiekrisen" der 70er Jahre wirbelten die interne Ordnung des "herrschenden Standes" zwar nochmals

durcheinander, ohne daß aber im Konsolidierungskonsens und den etablierten Perzeptionsmuster grundsätzlich noch etwas verschoben wurde. Heute, wo die mit der Verbrennung fossiler Brennstoffe verbundenen Probleme der Versorgung mit mobiler Energie sicherlich nicht geringer geworden sind, scheint der "herrschende Stand der Technik" aber so stabil wie selten zuvor in der Geschichte der Wärmekraftmaschinen.

IV. LITERATUR

- Albach, H./dePay, D./Okamuro, H., Der Einfluß kultureller Faktoren auf den Innovationsprozeß, Akademie der Wissenschaften zu Berlin, (Manuskript) Berlin 1989
- Albrecht, U., Die Werturteilsfrage in der Technik, in: Zeitschrift für Wissenschaftstheorie, 1/2, 1970, S.161ff.
- Alemann, U.v./Schatz, H./Viefhues, D., Sozialverträgliche Technikgestaltung. Entwurf eines politischen Programms, in: Fricke, W. u.a. (Hg.): Jahrbuch Arbeit und Technik in Nordrhein-Westfalen 1985, Bonn 1985, S.349ff.
- Alemann, U.v./Schatz, H., Mensch und Technik, Opladen 1986
- Allmers, R.A.H./Kaufmann, R./Fritz, C./Kleinrath, E./Pflug, F. (Hg.): Das deutsche Automobilwesen der Gegenwart, Berlin 1928
- Alt, O., Die Probleme der Ölmaschine und ihre Entwicklung auf der Germaniaerwerft in Kiel, in: Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft, 21, 1920, S.318ff.
- Anderson, J.R., Kognitive Psychologie, Heidelberg 1988 (1980)
- Ansdale, R.F., The Wankel RC Engine. Design and Performance, London 1968
- Antal, A., Corporate Social Performance: Rediscovering Actors In Their Organizational Contexts, Diss., Berlin 1990
- Armanski, G. u.a., 100 Jahre Jahrhundertwende, Berlin 1988
- Asdonk, J./Tolksdorf, G., Orientierungsraster der Technikgenese am Beispiel der Produktionstechnik, Beitrag zur Tagung der Sektion Wissenschaftsforschung der Deutschen Gesellschaft für Soziologie, 15.-17.6.1989 in Rheine und Münster
- Atkins, P.W., Wärme und Bewegung. Die Welt zwischen Ordnung und Chaos, 1986 (1984)
- Automobil-Revue, Die Automodelle 1970, Bern 1970
- Baier, O., Die Kinematik der Drehkolben- und Kreiskolbenmaschine und ihre Fertigungsmöglichkeiten, in: VDI-Berichte, Nr. 45 (1960), S.31ff.
- Baehr, H.D., Thermodynamik, Berlin 1988
- Balogh, A., Diesels Vorträge, in: Technikgeschichte, 39, 1972, S.25ff.
- Bammé, A./Feuerstein, G./Genth, R./Holling, E./Kahle, R./Kempin, P., Maschinen-Menschen - Mensch-Maschinen. Grundrisse einer sozialen Beziehung, Reinbek 1983

- Bammé, A./Baumgartner, P./Berger, W./Kotzmann, E., Wissenschaftsdidaktik heißt heute Wissenschaftskritik, in: Bammé, A./Baumgartner, P./Berger, W./Kotzmann, E. (Hg.): Technologische Zivilisation und die Transformation des Wissens, München, 1988, S.9ff.
- Bammé, A./Berger, W./Kotzmann, E., Auf dem Wege zu einer Soziologie der Technik, in: Hochgerner, J./Bammé, A. (Hg.): Technisierte Kultur. Beiträge zur Soziologie der Technik, Wien 1989, S.29ff.
- Barth, H.M., Zwischen Belgien und Baltikum. Interessenpolitik und Kriegsziele in der Berliner Elektro-Großindustrie 1914-1918, in: Boberg, J./Fichter, T./Gillen, E. (Hg.): Die Metropole. Industriekultur in Berlin im 20. Jahrhundert, München 1986, S.86ff.
- Barthel, M./Lingnau, G., Daimler-Benz: Die Technik, Mainz 1986
- Bartsch, Ch., Neue Wege in die bessere Zukunft des Diesels, in: FAZ (Technik und Motor), 22. August 1989, S.T4
- Basshuysen, R.v./Hornfeck, W., Abgasentgiftung des Ro 80-Kreiskolbenmotors durch thermische Nachverbrennung, in: Automobiltechnische Zeitschrift, 73, 1971, S.218ff.
- Bauschlicher, A., Der Einfluß des Automobilbaues auf den allgemeinen Maschinenbau, in: Der Motorwagen, 10, 1908, S.635ff./S.677ff./S.814ff.
- Beasley, D., The Suppression of the Automobile, New York 1988
- Bebel, A., Die Frau und der Sozialismus, Berlin 1984 (1909)
- Beitz, W., Entwicklung und Konstruktion (1989), in: "Hütte". K1ff.
- Bensinger, W.D., Der heutige Entwicklungsstand des Wankelmotors, in: Motortechnische Zeitschrift, 31, 1970, S.10ff.
- Bensinger, W.D., Rotationskolben-Verbrennungsmotoren, Berlin 1973
- Bentle, M., Curtiss-Wright's Entwicklungen an Rotationsverbrennungsmotoren, in: Motortechnische Zeitschrift, 22, 1961, S.187ff.
- Benz, C., Lebensfahrt eines deutschen Erfinders, Leipzig 1936
- Benzol-Verband (Hg.): 40 Jahre Benzol-Verband, Berlin 1938
- Berger, P.L./Luckmann, Th., Die gesellschaftliche Konstruktion von Wirklichkeit, Frankfurt 1980 (1966)
- Berling, G., Die Entwicklung der Unterseeboote und ihrer Hauptmaschinenanlagen, in: Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft, 14, 1913, S.125ff.
- Berson, A. u.a., Junkers. Festschrift zum 70. Geburtstage, Berlin 1929
- Betz, L., Das Volksauto. Rettung oder Untergang der deutschen Automobilindustrie? Stuttgart 1931

- Bielefeld, F.E., Die Patente über Vorkammer-Dieselmotoren, Hamburg (Selbstverlag) 1927
- Bielefeld, F.E., Kommt der Kohlenstaub-Dieselmotor oder die Hochdruckgas-Dieselmotoren? München/Berlin 1928
- Bijker, W./Hughes, Th.P./Pinch, T.I. (Hg.): The Social Construction of Technological Systems, London 1987
- Bitterauf, O., Die Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg AG (MAN), Nürnberg 1924
- Blaich, F., Die "Fehlerrationalisierung" in der deutschen Automobilindustrie 1924 bis 1929, in: Tradition, 18, 1973, S.18ff.
- Blaich, F., Absatzstrategien deutscher Unternehmen im 19. und in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts, in: Zeitschrift für Unternehmensgeschichte, Beiheft 23, Wiesbaden 1982
- Bloch, E., Organizational Culture and Individual Responsibility for Scientists and Engineers, in: Technology in Society, 8, 1986, S.259ff.
- Blumtritt, O., Genese der Technikwissenschaften: Ein Resümee methodologischer Konzepte, in: Technikgeschichte, 55, 1988, S.75ff.
- Blunk, R., Hugo Junkers, Berlin 1940
- Böhme, G./Daele, W.v.d./Krohn, W., Die Verwissenschaftlichung von Technologie, in: Böhme, G. u.a., Die gesellschaftliche Orientierung des wissenschaftlichen Fortschritts (Starnberger Studien I), Frankfurt 1978, S.339ff.
- Boltzmann, L., Über die Entwicklung der Methoden der theoretischen Physik in neuerer Zeit (1889), in: Autrum, H.J. (Hg.): Von der Naturforschung zur Naturwissenschaft, Berlin 1987, S.204ff.
- Bönsch, H.W., Der schnelllaufende Zweitakter, Stuttgart 1982
- Bosch AG, Fünfzig Jahre Bosch, 1886-1936, Stuttgart 1936
- Brandenburg, G., Rudolf Diesel und die Firma Krupp, in: Krupp-Mitteilungen, 47, 1963, S.4ff.
- Braun, H.J., Allgemeine Fragen der Technik an der Wende zum 20. Jahrhundert, in: Technikgeschichte, 42, 1975, S.306ff.
- Braun, H.J., Methodenprobleme der Ingenieurwissenschaft, in: Technikgeschichte, 44, 1977, S.1ff.
- Braun, H.J., Internationale Zusammenarbeit in Energiefragen, in: Kultur und Technik, 2/1980, S.40ff.
- Braun, H.J., Die Dampfmaschine. Technische Entwicklung, wirtschaftliche und gesellschaftliche Ursachen und Auswirkungen, in: Buddensieg, T./Rogge, H. (Hg.): Die Nützlichen Künste, Gestaltende Technik und Bildende Kunst seit der Industriellen Revolution, Berlin 1981, S.82ff.

- Braun, H.J., Der Kohlenstaubmotor, in: Kultur und Technik, 3/1982, S.154ff.
- Braun, H.J., Technological education and technological style in German mechanical engineering, in: Kranzberg, M. (Hg.): Technological Education - Technological Style, San Francisco 1986, S.33ff.
- Braun, H.J./ Weber, W., Ingenieurwissenschaften und Gesellschaftspolitik, in: Rürup, R. (Hg.): Wissenschaft und Gesellschaft, Beiträge zur Geschichte der Technischen Universität Berlin, Bd. 1, Berlin 1979, S.285ff.
- Braun, I., Stoffwechseltechnik, Zur Soziologie und Ökologie der Waschmaschinen, Berlin 1988
- Bredow, W., Die Technik an der Jahrhundertwende, in: Die Gegenwart, Nr.1, 1900, S.8ff.
- Bredow, W., Buch der Erfindungen, Düsseldorf 1985 (1901)
- Breuer, B., Der Blick in die Zukunft, in: Fersen, O.v. (Hg.): Ein Jahrhundert Automobiltechnik, Düsseldorf 1986, S.664ff.
- Brinkmann, L., Der Ingenieur, Frankfurt 1908
- Brödner, P., Fabrik 2000. Alternative Entwicklungspfade in die Zukunft der Fabrik, Berlin 1985
- Bryant, L., The Origin of the Four-Stroke Cycle, in: Technology and Culture, 8, 1967, S.178ff.
- Bryant, L., Thermodynamics and Heat Engines, in: Technology and Culture, 14, 1973, S.152ff.
- Bryant, L., The Development of the Diesel-Engine, in: Technology and Culture, 17, 1976, S.432ff.
- Buchler, E., Der Dieselmotor im Kraftwagen, in: Allmers, R.A./Kaufmann, R./Fritz, C./Kleinrath, E./Pflug, F. (Hg.): Das deutsche Automobilwesen der Gegenwart, Berlin 1928, S.38ff.
- Büchner, F., Hundert Jahre Geschichte der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg, o.O., o.J., (1940)
- Bühler, O.P., Nutzfahrzeuggeschichte international, in: Fersen, O.v. (Hg.): Ein Jahrhundert Automobilgeschichte. Nutzfahrzeuge, Düsseldorf, 1987, S.10ff.
- Bunting, A., Economy proves decisive, in: Financial Times, July 12, 1989, S.VI
- Burchhardt, L., Standespolitik, Sachverstand und Gemeinwohl, in: Ludwig, K.H. (Hg.): Technik, Ingenieure und Gesellschaft, Geschichte des Vereins Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, 1981, S.167ff.
- Callon, M., Die Kreation einer Technik. Der Kampf um das Elektroauto, in: Rammert, W./Bechmann, G./Nowotny, H./Vahrenkamp, R. (Hg.): Technik und Gesellschaft, Jahrbuch 2, Frankfurt 1983, S.140ff.

- Callon, M., *Society in the Making: The Study of Technology as a Tool for Sociological Analysis*, in: Bijker, W./Hughes, Th.P./Pinch, T.I. (Hg.): *The Social Construction of Technological Systems*, London 1987, S.83ff.
- Carnot, S., *Betrachtungen über die bewegende Kraft des Feuers und die zur Entwicklung dieser Kraft geeigneten Maschinen*, Leipzig 1892 (1824)
- Christiansen, D. (Hg.): *Engineering Excellence. Cultural and organizational Factors*, New York 1987
- Clausius, R., *Über die bewegende Kraft der Wärme und die Gesetze (1850)*, in: Meyenn, K.v. (Hg.): *Lust an der Erkenntnis: Triumph und Krise der Mechanik*, München 1990, S.421ff.
- Conrad, R., *Zur Kritik der neuen Richtlinien im Automobilbau*, in: *Der Motorwagen*, 24, 1922, S. 43ff./ S.63ff.
- Conrad, R., *Vergasermotoren*, in: Allmers, R.A./Kaufmann, R./Fritz, C./Kleinrath, E./Pflug, F. (Hg.): *Das deutsche Automobilwesen der Gegenwart*, Berlin 1928 (1928a), S.31ff.
- Conrad, R., *Der gegenläufige Junkers-Fahrzeug-Diesel Motor*, in: *Der Motorwagen*, 30, 1928 (1928b), S.645ff.
- Conrad, R., *Betrachtungen über die internationale Automobilausstellung Berlin 1931*, in: *Automobiltechnische Zeitschrift*, 23, 1931, S.115ff.
- Constant II, E.W., *The Origins of the Turbo-Jet Revolution*, Baltimore 1980
- Constant II, E.W., *Communities and Hierarchies: Structure in Practice of Science and Technology*, in: Laudan, R. (Hg.): *The Nature of Technological Knowledge*, Dordrecht 1984, S.27ff.
- Crane, D., *Invisible Colleges. Diffusion of Knowledge in Scientific Communities*, Chicago 1972
- Damolin, M., *Der Eros der Motoren*, in: *Die Zeit*, 7. Juli 1989, S.40
- Danielmeyer, H.G., *Spielraum für schöpferische Aktivitäten ist gefährlich*, in: *VDI-Nachrichten*, 16. März 1990, S.16
- Dessauer, F., *Streit um die Technik*, Frankfurt 1956
- Dickson, D., *Alternative Technology and the Politics of Technology Change*, Fontana 1977 (1974)
- Dierkes, M., *Technikfolgen-Abschätzung als Interaktion von Sozialwissenschaften und Politik - die Institutionalisierungsdebatte im historischen Kontext*, in: Dierkes, M./Petermann, Th./Thienen, V.v. (Hg.): *Technik und Parlament*, Berlin 1986, S.115ff.
- Dierkes, M., *Technikgenese als Gegenstand sozialwissenschaftlicher Forschung*, in: *Verbund sozialwissenschaftliche Technikforschung*, Mitteilungen, 1/1987, S.166ff.

- Dierkes, M., Unternehmenskultur und Unternehmensführung, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 58, 1988, S.554ff.
- Dierkes, M., Technische Entwicklung als sozialer Prozeß, in: Die Naturwissenschaften, 77, 1990, S.214ff.
- Dierkes, M./Knie, A., Technikgenese: Zur Bedeutung von Organisationskulturen und Konstruktionstraditionen in der Entwicklung des Motorenbaus und der mechanischen Schreibtechniken, in: Lutz, B. (Hg.): Technik in Alltag und Arbeit, Berlin 1989, S.203ff.
- Dierkes, M./Knie, A./Wagner, P., Die Diskussion über das Verhältnis von Technik und Politik in der Weimarer Republik, in: Leviathan, 16, 1988, S.1ff.
- Diesel, E., Diesel - Der Mensch, das Werk, das Schicksal, München 1983 (1937)
- Diesel, E., Das Phänomen der Technik, Leipzig/Berlin 1939
- Diesel, E., Die Geschichte des Diesel-Personenwagens, Stuttgart 1955
- Diesel, E., Gepräge und Schicksal der MAN, in: MAN-Werkszeitung, 11/1965, S.6ff.
- Diesel, E./Strössner, G., Kampf um eine Maschine, Berlin 1950
- Diesel, E./Goldbeck, G./Schildberger, F., Vom Motor zum Auto, Stuttgart 1957
- Diesel, R., Theorie und Konstruktion eines rationellen Wärmemotors zum Ersatz der Dampfmaschinen und der heute bekannten Verbrennungsmotoren, Düsseldorf 1986 (1893)
- Diesel, R., Diesels rationeller Wärmemotor, in: Z-VDI, 41, 1897, S.785ff.
- Diesel, R., Solidarismus. Natürliche, wirtschaftliche Erlösung des Menschen, München/Berlin 1903
- Diesel, R., Die Entstehung des Dieselmotors, Berlin 1984 (1913)
- Dieselmotoren, Bde. I-IV, hg. vom VDI, Berlin 1923, 1926, 1927, 1929
- Domina, Th.D., Antriebstechnik, in: Fersen, O.v. (Hg.): Ein Jahrhundert Automobiltechnik. Nutzfahrzeuge, Düsseldorf 1987, S.120ff.
- Dosi, G., Technical Change and Industrial Transformation, London 1986 (1984)
- Dosi, G., Sources, Procedures, and Microeconomic Effects of Innovation, in: Journal of Economic Literature, 16, 1988, S.1120ff.
- Drkosch, J.F., Technik-Seminar: Brennräume, in: mot 23/1983, S.If.
- Dubbel, H., Zerstörung von Dieselmotoren, in: Industrie und Technik, 2, 1921, S.46f.
- Dunkmann, K., Zur Theorie der Technik, in: Z-VDI, 71, 1927, S.1619ff.

- Eberan-Eberhorst, R., 100 Jahre Viertakt-Ottomotor - Der Weg vom Deutzer Gasmotor 1876 bis zum Automobilmotor der ganzen Welt, in: Automobiltechnische Zeitschrift, 78, 1976, S.311ff.
- Ebers, M., Organisationskultur: Ein neues Forschungsprogramm? Wiesbaden 1985
- Eckermann, E., Vom Dampfwagen zum Auto. Motorisierung des Verkehrs, Reinbek 1981
- Ehmsen, E., 1876-1976. Ein Jahrhundert Verbrennungsmotor, in: Hansa, 113, 1976, S.565ff.
- Eibert, G., Unternehmenspolitik Nürnberger Maschinenbauer, Stuttgart 1979
- Eicker, H., Verdichtung und Wahrheit, in: Auto-Motor-Sport, 16/1971, S.64ff.
- Eisenstadt, S.N., Structure and History: Introductory Observations, in: International Political Science Review, 10, 1989, S.99ff.
- Elberth, C.P., u.a., Alles über Motoren, "mot-spezial", Stuttgart 1989
- Engelmeyer, P.K.v., Allgemeine Fragen der Technik, in: Dingers Polytechnisches Journal, 80, 1899, Bd. 311: Heft 2, Heft 5, Heft 7, Heft 9; Bd. 312: Heft 1, Heft 5, Heft 7, Heft 9, Heft 10; Bd. 313: Heft 2, Heft 5
- Enke, K./Löffler, E., Der Versuchswagen C111 von Daimler-Benz, in: Automobiltechnische Zeitschrift, 72, 1970, S.195ff.
- Enloch, O., Zur Wertung der Ricardo'schen Versuche, in: Der Motorwagen, 25, 1923, S.277ff./S.293ff.
- Erhard, L., Der Weg des Geistes in der Technik, in: Deutsches Museum, Abhandlungen und Berichte, 1, 1929, Heft 4
- Esser, J., Does Industrial Policy Matter? in: Fleischmann, G./Esser, J. (Hg.): Technikentwicklung als sozialer Prozeß, Frankfurt 1989, S.123
- Eyth, M., Lebendige Kräfte, Berlin 1908
- Feller, F., The 2-Stage Rotary Engine - A New Concept in Diesel Power, in: The Institution of mechanical engineers: Proceedings, 185, 1970/71, S.139ff.
- Fensterer, K.H., 50 Jahre Junkers-Flug-Diesel, in: Junkers-Nachrichten, 20, 1978, S.3
- Fersen, O.v., VW 2000 technisch betrachtet, in: mot, 6/1982, S.122ff.
- Fersen, O.v.(Hg.): Ein Jahrhundert Automobiltechnik. Personenwagen, Düsseldorf 1986
- Fiala, F., Innovation - die Chance für den Standort Europa, in: Gerwin, R. (Hg.): Wie die Zukunft Wurzeln schlug. Aus der Forschung der Bundesrepublik Deutschland, Berlin 1989, S.296ff.

- Fischer, C., Einiges über die Entstehung der Fertigung von Dieselmotoren im Werk Augsburg der MAN, in: Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie (Technikgeschichte), 32, 1940, S.132ff.
- Fischer, F., Technocracy and the Politics of Expertise, Newbury Park 1990
- Fleck, L., Die Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache, Frankfurt 1980 (1935)
- Fleischmann, G./Esser, J. (Hg.): Technikentwicklung als sozialer Prozeß, Frankfurt 1989
- Föppel, O./Strombeck, H./Ebermann, L., Schnellaufende Dieselmotoren, Berlin 1922
- Fortnagel, M., Neue Zeiten für den Diesel, in: VDI-Nachrichten, 3. Februar 1989, S.26
- Foster, R.N., Innovationen. Die technologische Offensive, Wiesbaden 1986
- Frankfurter Rundschau: FR-Beilage zur 53. Internationalen Automobilausstellung in Frankfurt/Main, Mittwoch, 13. September 1989
- Freeman, Ch. (Hg.): Desgin, Innovation and Long Cycles in Economic Development, London 1984
- Frey, E./Fischer, C., Ein neuer Fahrzeug-Schwerölmotor, in: Der Motorwagen, 26, 1924, S.28f.
- Fried, F., Das Ende des Kapitalismus, Jena 1931
- Frisch, F., Diesels alter Traum, in: Die Zeit, 24. November 1989, S.94
- Froede, W., Entwicklungsarbeiten an Drehkolben- und Kreiskolben-Verbrennungsmotoren, in: VDI-Berichte, Nr. 45 (1960), S.39ff.
- Froede, W., Kreiskolbenmotoren Bauart NSU-Wankel, in: Motortechnische Zeitschrift, 22, 1961, S.1ff.
- Froede, W., Auszüge aus neueren Entwicklungsarbeiten am Kreiskolbenmotor, Bauart NSU/Wankel, in: Motortechnische Zeitschrift, 24, 1963, S.113ff.
- Froede, W./Jungbluth, G., Der Kreiskolbenmotor des NSU-Spider, in: Automobiltechnische Zeitschrift, 68, 1966, S.150ff.
- Fürst, A., Das Weltreich der Technik, 4Bde., Düsseldorf 1985 (1923, 1924, 1927)
- Gagliardi, P., The Creation and Change of Organizational Cultures: A Conceptual Framework, in: Organizational Dynamics, 7, 1986, S.117ff.
- Gardiner, J.P., Desing Trajectories for Airplanes and Automobiles, in: Freeman, Ch. (Hg.): Desgin, Innovation and Long Cycles in Economic Development, London 1984, S.121ff.

- Gehlen, A., Anthropologische und sozialpsychologische Untersuchungen, Reinbek 1986 (1961)
- Gersdorff, K.v./Grasmann, K., Flugmotoren und Strahltriebwerke, Koblenz 1985
- Getzinger, G./Papousek, B. (Hg.): Soziale Technik. Wien 1987
- Geyer, M., Deutsche Rüstungspolitik 1860-1980, Frankfurt 1984
- Giger, H., Kolben-Flugmotoren, Stuttgart 1986
- Gilfillan, S.C., The Sociology of Invention, Cambridge 1970 (1935)
- Glaser, H., Das Automobil, München 1986
- Gloede, F./Bücker-Gärtner, H., Autonome Technik oder Technik als soziales Projekt, in: Hochgerner, J./Bammé, A. (Hg.): Technisierte Kultur. Beiträge zur Soziologie der Technik, Wien 1989, S.233ff.
- Goeudevert, D., Das Auto - trojanisches Pferd der Industriegesellschaft? in: VDI-Nachrichten, 20. April 1990, S.12
- Goldbeck, G., Aus der Frühzeit des Dieselmotors. Der Dieselmotorenbau in Deutz 1897-1900, in: Motortechnische Zeitschrift, 19, 1958, S.90ff.
- Goldbeck, G., Kraft für die Welt, Düsseldorf 1964
- Goldbeck, G., Gebändigte Kraft. Die Geschichte der Erfindung des Otto-Motors, München 1965
- Gottl-Ottlilienfeld, F.v., Der wirtschaftliche Charakter der technischen Arbeit, Berlin 1910
- Grashof, F., Theorie der Kraftmaschinen, Theoretische Maschinenlehre, Bd. 3, Hamburg/Leipzig 1890
- Guillet de Monthoux, P., Vulgärkantianische Unternehmenslehre. Eine Einführung in die Kunst, Industrie und Technologie zu konstruieren, München 1981
- Göldner, H., Entwerfen und Berechnen von Verbrennungskraftmaschinen, Berlin 1905
- Göldner, H., Entwerfen und Berechnen von Verbrennungskraftmaschinen, Berlin 1914
- Gulia, V., Der Energiekonserve auf der Spur, Frankfurt 1989 (1986)
- Gutermuth, M.F., Besprechung "Theorie und Konstruktion eines rationellen Wärmemotors", in: Z-VDI, 37, 1893, S.291f.
- Gutting, G., Paradigms, Revolutions, and Technology, in: Laudan, R. (Hg.): The Nature of Technological Knowledge, Dordrecht 1984, S.47ff.
- Habermas, J., Theorie und Praxis, Frankfurt 1984 (1963)
- Habermas, J., Technik und Wissenschaft als Ideologie, Frankfurt 1986 (1969)
- Hack, G., Der schnelle Diesel, Stuttgart 1987

- Hack, L., Vor Vollendung der Tatsachen, Frankfurt 1988
- Hack, L., Determinationen/Trajekte vs. Konfigurationen, in: Fleischmann, G./ Esser, J. (Hg.): Technikentwicklung als sozialer Prozeß, Frankfurt 1989, S.71ff.
- Hack, L./Hack, I., Die Wirklichkeit die Wissen schafft, Frankfurt 1985
- Halfmann, J., Die Entstehung der Mikroelektronik, Frankfurt 1984
- Hamberg, D., Invention in the Industrial Research Laboratory, in: The Journal of Political Economy, LXXI, 1963, S.95ff.
- Hamburger Stiftung für Sozialgeschichte des 20. Jahrhunderts (Hg.): Das Daimler-Benz Buch, Nördlingen 1988 (1987)
- Hanf, R., Im Spannungsfeld zwischen Technik und Markt, Zeitschrift für Unternehmensgeschichte, Beiheft 17, Wiesbaden 1980
- Hanffstengel, G.v., Technisches Denken und Schaffen, Berlin 1935
- Hansen, F., Konstruktionswissenschaft, München 1974
- Hard, M., In the Icy Waters of Calculation. The Scientifikation of Refrigeration Technology and the Rationalization of the Brewing Industry, Diss., Göteborg 1988
- Hartmann, S., Technik und Staat. Von Babylon bis heute, Stuttgart/Berlin 1929
- Hartwich, H.-H. (Hg.): Politik und Macht der Technik, Opladen 1986
- Haße, A., Wirkung von Dieselabgasen auf die menschliche Gesundheit, in: Umwelprobleme durch Dieselmotoren. Tagung Fortbildungszentrum Gesundheits- und Umweltschutz Berlin, 29.-30. März 1990, S.5ff.
- Hassler, F., Die technisch-geschichtlichen Arbeiten des Vereins Deutscher Ingenieure, in: Archiv für Geschichte der Mathematik, der Naturwissenschaften und der Technik, 12, 1929, S.188ff.
- Hausen, K./Rürup, R., Einleitung, in: Hausen, K./Rürup, R. (Hg.): Moderne Technikgeschichte, Köln 1975
- Häuser, E. u.a., Patente, in: DABEI - Deutsche Aktionsgemeinschaft Bildung - Erfindung - Innovation (Hg.): DABEI Handbuch für Erfinder und Unternehmer, Düsseldorf 1987, S.115ff.
- Hausfelder, L., Die kompressorlose Dieselmachine, Berlin 1928
- Heck, D., Motoren der Zukunft, in: Bild der Wissenschaft, 12/1988, S.128ff.
- Hedberg, B., How Organizations Learn and Unlearn, in: Handbook of Organizational Design, Bd. 1, hg. von Nystrom, P.C. u.a., Oxford 1981
- Heil, B., Neuer Wankelmotor. Hat der eine Chance?, in: mot 22/1982, S.40ff.
- Heiss, R. (Hg.): Die Sendung des Ingenieurs im neuen Staat, Berlin 1934
- Helfferrich, K., Deutschlands Volkswohlstand, Berlin 1913

- Heller, A., Motorwagen und Fahrzeugemaschinen für flüssigen Brennstoff, 1985 (1912)
- Hellige, H.D., Die gesellschaftlichen und historischen Grundlagen der Technikgestaltung als Gegenstand der Ingenieurausbildung, in: Technikgeschichte, 51, 1984, S.276ff.
- Helmholtz, H., Über die Entwicklungsgeschichte der neueren Naturwissenschaften (1869), in: Autrum, H.J. (Hg.): Von der Naturforschung zur Naturwissenschaft, Berlin 1987, S.32ff.
- Henssler, H., Die Rechtsvorschriften der EG auf dem Gebiet des Dieselmotors, in: VDI-Fahrzeugtechnik (Hg.): Die Zukunft des Dieselmotors, Düsseldorf 1988, S.45ff.
- Herchenröder, K.H./Schäfer, J./Zapp, M., Die Nachfolger der Ruhrkonzerne, Düsseldorf 1953
- Hermann, A., "Auf eine höhere Stufe des Daseins erheben" - Naturwissenschaft und Technik. Die Weltenergien unserer Tage, in: Nitschke, A. u.a. (Hg.): Jahrhundertwende. Der Aufbruch in die Moderne, Bd. 2, Reinbek 1990, S.312ff.
- Hertwig, A., Der geistige Wandel der Technischen Hochschulen in den letzten 100 Jahren, in: Deutsches Museum, Abhandlungen und Berichte, 18, 1950, Heft 1
- Hesse, F., Aus den Jahren 1925 bis 1950. Erinnerungen an Dessau, Bad Pyrmont (Selbstverlag) 1965
- Hildebrandt, E./Seltz, R., Wandel betrieblicher Sozialverfassung durch systemische Kontrolle? Berlin 1989
- Hindle, B./Lubar, St., Engines of Change. The American Industrial Revolution, Washington 1986
- Hirsch, J., Wissenschaftlich-technischer Fortschritt und politisches System, Frankfurt 1971
- Hochgerner, J., Die gesellschaftliche Konstruktion der Technik, in: Hochgerner, J./Bammé, A. (Hg.): Technisierte Kultur. Beiträge zur Soziologie der Technik, Wien 1989, S.73ff.
- Hochgerner, J./Bammé, A. (Hg.): Technisierte Kultur. Beiträge zur Soziologie der Technik, Wien 1989
- Hoffmann, A., Wasserstoff im Autotank. Löst die Sonne unsere Abgasprobleme? in: Kultur und Technik, 1/1990, S.32ff.
- Hoffmann, U., Computerfrauen, München 1987
- Holzer, M. (Bader, J.), Technik im Kapitalismus, Jena 1932

- Honolka, G./Elberth, C.P., Felix Wankel glaubt an das Drehkolbenprinzip, in: mot, 6/1983, S.108ff.
- Horch, A., Ich baute Autos, Berlin 1940
- Horn, N./Kocka, J. (Hg.): Recht und Entwicklung der Großunternehmen im 19. und frühen 20. Jahrhundert, Göttingen 1979
- Horras, G., Die Entwicklung der deutschen Automobilmarktes bis 1914, München 1982
- Hortleder, G., Das Gesellschaftsbild des Ingenieurs, Frankfurt 1970
- Hortleder, G., Ingenieure in der Industriegesellschaft, Frankfurt 1973
- Hounshell, D.A., From the American System to Mass Production. The Development of Manufacturing Technology in the United States, Baltimore 1984
- Huber, E.W., Thermodynamische Untersuchungen an der Kreiskolbenmaschine, in: VDI-Berichte, Nr. 45, 1960 (1960a), S.13ff.
- Huber, E.W., Rotationskolbenmaschinen als Verbrennungsmotoren, in: Automobiltechnische Zeitschrift, 62, 1960 (1960b), S.57ff.
- Hubka, V., Theorie Technischer Systeme, Berlin 1984
- Hughes, Th.P., Networks of Power, Baltimore 1983
- Humm, B., Rudolf Diesel und die Winterthurer Industrie, in: Motortechnische Zeitschrift, 19, 1958, S.88ff.
- Hummon, N.P., Organizational Aspects of Technological Change, in: Laudan, R. (Hg.): The Nature of Technological Knowledge, Dordrecht 1984, S.67ff.
- Hunecke, V., Der Kampf ums Dasein und die Reform der technischen Erziehung im Denken Alois Riedler, in: Rürup, R. (Hg.): Wissenschaft und Gesellschaft, Bd. 1, Berlin 1979, S.301ff.
- Hütte. Die Grundlagen der Ingenieurwissenschaften, hg. von H. Czichos, Berlin 1989
- Hütten, H., Motoren - Triebfedern der Mobilität, in: Fersen, O.v. (Hg.): Ein Jahrhundert Automobiltechnik. Personenwagen, Düsseldorf 1986, S.188ff.
- Hütten, H., Motoren: Technik, Praxis, Geschichte, Stuttgart 1988
- IG Metall (Hg.): Technologieentwicklung und Techniksteuerung, Köln 1988
- IG Metall (Hg.): Auto, Umwelt und Verkehr, Frankfurt, o.J. (1990)
- Institut für Konjunkturforschung, Parole Motorisierung. Ein Jahr nationalsozialistische Kraftverkehrsförderung, Berlin 1934
- Jacoby, E., Zur Theorie des Verbrennungsraumes, in: Automobiltechnische Zeitschrift, 34, 1931, S.275ff./S.310ff./S.332ff.
- Jewkes, J./Sawers, D./Stillerman, R., The Source of Invention, London 1969 (1962)

- Joerges, B., Gerätetechnik und Alltagshandeln, in: Joerges, B. (Hg.): Technik und Alltag, Frankfurt 1988, (1988a) S.20ff.
- Joerges, B., Computer als Schmetterling und Fledermaus, Über Technikbilder von Techniksoziologen, in: Soziale Welt, 39, 1988, (1988b) S.188ff.
- Joerges, B., Technische Normen - soziale Normen? in: Soziale Welt, 40, 1989 (1989a), S.242ff.
- Joerges, B., Soziologie und Maschinerie - Vorschläge zu einer "realistischen" Techniksoziologie, in: Weingart, P. (Hg.): Technik als sozialer Prozeß, Frankfurt 1989 (1989b), S.44ff.
- Johanning, A., Der Dieselmotor, seine Entwicklung und volkswirtschaftliche Bedeutung, Nürnberg 1901
- Jokisch, R. (Hg.): Techniksoziologie, Frankfurt 1982
- Jorissen, H.D., Forschung auf Rädern, in : Fersen, O.v. (Hg.): Ein Jahrhundert Automobiltechnik, Düsseldorf 1986, S.630ff.
- Junkers, H., Studien und experimentelle Arbeiten zur Konstruktion meines Gegenkolbenmotors, in: Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft, 13, 1912, S.264ff.
- Junkers, H., Grundsätze technisch-wissenschaftlicher Forschung (1932), in: Junkers-Nachrichten, 4, 1962, S.3ff.
- Jürgens, U./Malsch, T./Dohse, K., Moderne Zeiten in der Automobilindustrie, Berlin 1989
- Kanitscheider, B./Nitschke, A., Das Weltbild der Physik, in: Nitschke, A. u.a.(Hg.): Jahrhundertwende. Der Aufbruch in die Moderne, Bd. 2, Reinbek 1990, S.119ff.
- Kapp, E., Grundlinien einer Philosophie der Technik, Braunschweig 1877
- Keck, O., Der Schnelle Brüter. Eine Fallstudie über Entscheidungsprozesse in der Großtechnik, Frankfurt 1984
- Kempkens, W., Pflanzen im Tank, in: WirtschaftsWoche, 15/1990, S.134ff.
- Keherer, D.M., Nur wer wagt gewinnt. Erfolgreiche Unternehmer über die Kunst des kalkulierten Risikos, Frankfurt 1989
- Kern, H./Schumann, M., Ende der Arbeitsteilung? München 1984
- Kesselring, F., Bewertung von Konstruktionen, Düsseldorf 1951 (1943)
- Ketteringham, J.M./Nayak, P.R., Senkrechtstarter, Große Produktideen und ihre Durchsetzung, Düsseldorf 1987 (1986)
- Kidder, T., Die Seele einer neuen Maschine, Basel 1982 (1981)
- Kind, R., Ein Volk, ein Reich, ein Wagen, in: Die Tageszeitung, 7.4.1990, S.15f.

- Kirchberg, P., Erfahrungen und Erkenntnisse bei der Konstruktion von Kraftfahrwagen zwischen 1902 und 1929 und ihr Niederschlag in der Zeitschrift "Der Motorwagen", in: Kirchberg, P. (Hg.): Das Beste aus "Der Motorwagen", Teil 1: 1902-1922, Solingen 1988, S.9f.
- Klapper, E., Die Entwicklung der deutschen Automobilindustrie, Berlin 1910
- Klemm, F., Geschichte der Technik, Reinbek 1986 (1983)
- Klöppel, K., Die Entwicklung der Ingenieurwissenschaften, in: Z-VDI, 103, 1961, S.1145ff.
- Kluke, P., Hitler und das Volkswagenprojekt, in: Vierteljahresshefte für Zeitgeschichte, 8, 1960, S.342ff.
- Knorr-Cetina, K., Die Fabrikation von Erkenntnis, Frankfurt 1984
- Knorr-Cetina, K., Spielarten des Konstruktivismus, in: Soziale Welt, 40, 1989, S.86ff.
- Koch, H., Informationen für den Stand der Technik durch Technische Regelwerke, in: DIN-Mitteilungen, 56, 1977, S.633ff.
- Kocka, J., Industrielles Management: Konzeptionen und Modelle in Deutschland vor 1914, in: Vierteljahresschrift für Sozial- und Wirtschaftsgeschichte, 56, 1969, S.332ff.
- Kocka, J./Siegrist, H., Die hundert größten deutschen Industrieunternehmen im späten 19. und frühen 20. Jahrhundert, in: Horn, N./Kocka, J. (Hg.): Recht und Entwicklung der Großunternehmen im 19. und frühen 20. Jahrhundert, Göttingen 1979, S.55ff.
- Köhler, O., Theorie der Gasmotoren, Leipzig 1887
- Köhler, O., Der rationelle Wärmemotor im Vergleich mit anderen Wärmemotoren, in: Z-VDI, 37, 1893, S.1103ff.
- König, W., Die Ingenieure und der VDI als Großverein in der wilhelminischen Gesellschaft, in: Ludwig, K.H. (Hg.): Technik, Ingenieure und Gesellschaft, Düsseldorf, 1981, S.235ff.
- König, W., Männer machen Technikgeschichte, Die "Matschoß-Felhaus-Kontroverse", in: Matschoß, C., Männer der Technik, Düsseldorf 1985, S.Vff.
- König, W., Der Technikhistoriker Carl Matschoß, in: Matschoß, C., Geschichte der Dampfmaschine, Bd. 1., Düsseldorf 1987, S.Xff.
- König, W., Theorie und Praxis des Konstruierens bis zum ersten Weltkrieg, Anlage zum Arbeitsbericht des Teilprojektes Konstruktionsentwicklung der Forschergruppe Konstruktionshandeln, Manuskript, Berlin 1990
- Köppen, Th., Die Rolle der Firma Jakob Lohner & Co bei der Entwicklung von Hybridantrieben im Automobilbau, in: Technikgeschichte, 55, 1988, S.95ff.

- Köppen, Th., Elektromobilzeit, in: Kultur und Technik, 1/1990, S.50ff.
- Korp, D., Europa wankelt anders, in: Auto-Motor-Sport, 8/1973, S.47ff.
- Korp, D., Der Wankelmotor. Protokoll einer Erfindung, Stuttgart 1975
- Körting, J., Über den Unterricht im Konstruieren und seine Belebung durch die Technikgeschichte, in: Technikgeschichte, 38, 1971, S.177ff.
- Kraft, H.J., Auto und Umwelt: Probleme - Ziele - Technologien, in: VDI-Nachrichten, 5. Mai 1989, S.63
- Kranzberg, M. (Hg.): Technological Education - Technological Style, San Francisco 1986
- Kreibich, R., Die Wissenschaftsgesellschaft, Frankfurt 1986
- Krell, G. Die Diskreminierung des Lebendigen: Arbeitswissenschaften und Maschinenkultur nach Maß des Mannes, in: Hausen, K./Nowotny, H. (Hg.): Wie männlich ist die Wissenschaft? Frankfurt 1986, S.145ff.
- Krohn, W., Die Verschiedenheit der Technik und die Einheit der Techniksoziologie, in: Düsseldorfer Debatte, 1988, Heft 4, S.17ff.
- Krupp, H./Weyer, J., Die gesellschaftliche Konstruktion einer neuen Technik, in: Blätter für deutsche und internationale Politik, 9 und 10/1987; S.1086/S.1249
- Kruse, J., Meilensteine der Automobiltechnik: Mercedes 170D, in: mot, 8/1982, S.114ff.
- Kruse, J., Meilensteine der Automobiltechnik: NSU Ro 80, in: mot, 5/1984: S.104ff.
- Kubisch, U., Automobile aus Berlin, Berlin 1985
- Kuhlmann, A., Kontrollaufgaben des Staates und Eigenverantwortung der Wirtschaft bei Nutzung der Technik mit Risikopotentialen, in: Zöpel, Ch., Technikkontrolle in der Risikogesellschaft, Bonn 1988, S.33ff.
- Kuhn, Th., Die Erhaltung der Energie als Beispiel gleichzeitiger Entdeckungen (1959), in: Kuhn, Th., Die Entstehung des Neuen, Frankfurt 1977, S.125ff.
- Kuhn, Th., Neue Überlegungen zum Begriff des Paradigma (1974), in: Kuhn, Th., Die Entstehung des Neuen, Frankfurt 1977, S.389ff.
- L'Orange, P., Ein Beitrag zur Entwicklung der kompressorlosen Dieselmotoren, Berlin 1934
- Lange, B., Das Buch der deutschen Luftfahrttechnik, Mainz 1970
- Lange, H., Technik im Kapitalismus, Köln 1977
- Latour, B., Science in Action. How to follow scientists and engineers through society, Cambridge 1987

- Laudan, R., Cognitive Change in Technology and Science, in: Laudan, R. (Hg.): The Nature of Technological Knowledge, Dordrecht 1984, S.83ff.
- Laudan, R. (Hg.): The Nature of Technological Knowledge, Dordrecht 1984
- Lauster, I., Entstehung und Entwicklung des Dieselmotors, in: Dieselmotoren, Bd. II, Berlin 1925, S.31ff.
- Laux, J.M., Les moteurs Diesel pour les transports, in: cultur technique; 19, 1989, S.20ff.
- Leib, O., Die deutschen Flugmotoren: Jumo 205, Berlin 1940
- Lichte, A., Die Junkerstragödie: Entziehung und Kaufpreis, in: Junkers-Nachrichten, 4, 1962, S.5
- Lieckfeld, G., Die Petroleum- und Benzinmotoren, München/Leipzig 1894
- Linde, C., Aus meinem Leben und von meiner Arbeit, Düsseldorf 1984 (1916)
- Linde, H., Soziale Implikationen technischer Geräte, in: Jokisch, R. (Hg.): Techniksoziologie, Frankfurt 1982, S.1ff.
- Lindner, H., Technische Entwicklung und das Problem der Mehrfacherfindung, in: Jokisch, R. (Hg.): Techniksoziologie, Frankfurt 1982, S.394ff.
- Linser, J., Unser Auto - ein geplante Fehlkonstruktion, Frankfurt 1977
- Lippart, G., Über wissenschaftliche Arbeit und Forschung in der Maschinenindustrie, in: Z-VDI, 68, 1924, S.89ff.
- List, H., Zum 100. Geburtstag Rudolf Diesel, in: Motortechnische Zeitschrift, 19, 1958, S.65ff.
- Löbsack, Th., Revolution im Motorenbau, in: "Die Zeit", 18.12.1959
- Löffler, St./Riedler, A., Ölmaschinen, Berlin 1916
- Lohmann, H., Die Technik und ihre Lehre, in: Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Hochschule Dresden, 3, 1953/54, S.601ff.
- Lomonosoff, G., Die Diesel-Elektrische Lokomotive, Berlin 1924
- Lomonosoff, G., Diesellokomotiven, Berlin 1929
- Lorenz, H., Die Entwicklung der Maschinentheorie im 18. und 19. Jahrhundert, in: Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie, 29, 1940, S.1ff.
- Lüders, J., Der Dieselmithos, Berlin 1913
- Ludwig, K.H., Technik und Ingenieure im Dritten Reich, Königstein 1979 (1974)
- Ludwig, K.H. (Hg.): Technik, Ingenieure und Gesellschaft, Geschichte des Vereins Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 1981
- Lundgreen, P., Forschungsförderung durch technisch-wissenschaftliche Vereine, in: Rürup, R. (Hg.): Wissenschaft und Gesellschaft, Berlin 1979 (1979a), S.265ff.

- Lundgreen, P., Technisch-wissenschaftliche Vereine zwischen Wissenschaft, Staat und Industrie, in: Technikgeschichte, 46, 1979 (1979b), S.181ff.
- Lundgreen, P., Die Vertretung technischer Expertise, in: Ludwig, K.H. (Hg.): Technik, Ingenieure und Gesellschaft, Düsseldorf, 1981, S.67ff.
- Lürmann, F., Die Differential-Gasmaschine von Atkinson, in: Z-VDI, 30, 1886, S.702f.
- Lutz, A., Automobilbau und Hochschule, in: Der Motorwagen, 7, 1905, S.660ff.
- Lutz, B., Zum Verhältnis von Analyse und Gestaltung in der sozialwissenschaftlichen Technikforschung, in: Rauner, F. (Hg.): Gestalten. Eine neue gesellschaftliche Praxis, Bonn 1988, S.15ff.
- Lutz, B., Tendenzen und Probleme sozialwissenschaftlicher Technikforschung, in: Lutz, B., Technik in Alltag und Arbeit, Berlin 1989, S.7ff.
- Maass, H., Gestaltung und Hauptabmessungen von Verbrennungskraftmaschinen, Berlin 1979
- Mach, E., Über das Prinzip der Erhaltung der Energie (1896), in: Mach, E., Populärwissenschaftliche Vorlesungen, Wien 1987 (1923), S.167ff.
- Mackenzie, D./Wajcman, J., Introductory essay and general issues, in: Mackenzie, D./Wajcman, J. (Hg.): The Social Shaping of Technology, Milton Keynes 1985, S.1ff.
- Mader, O., Weiterentwicklung des Junkers-Doppelkolbenmotors, in: Z-VDI, 69, 1925, S.1369ff.
- Magg, J., Dieselmotoren. Grundlagen, Bauarten, Probleme, Berlin 1928
- Mai, M., Die Bedeutung des fachspezifischen Habitus von Ingenieuren und Juristen in der Politikberatung, Frankfurt 1989
- Malmstern, W., Soziologie und Technik, in: Archiv für angewandte Soziologie, 1928/29, S.28ff.
- Manegold, K.H., Technischer Fortschritt und Promotionsrecht, in: Technikgeschichte, 36, 1969, S.291ff.
- Manegold, K.H., Universität, Technische Hochschule und Industrie, Berlin 1970
- Manegold, K.H., Geschichte der Technischen Hochschulen, in: Boehm, L./Schöbeck, Ch. (Hg.): Technik und Bildung, Reihe: Technik und Kultur, Bd. 5, Düsseldorf 1989, S.204ff.
- Marburger, P., Die Regeln der Technik im Recht, Köln 1979
- Martin, J./Siehl, C., Organizational Culture and Counterculture, in: Organizational Dynamics, Herbst 1983, S.52ff.
- Matschoß, C., Die Entwicklung der Dampfmaschine, 2 Bde., Düsseldorf 1987 (1908)

- Matschoß, C., Geschichte der Maschinenfabrik Nürnberg, in: Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie, 5, 1913, S.244ff.
- Matschoß, C. (Hg): Werner Siemens. Ein kurzgefaßtes Lebensbild nebst einer Auswahl seiner Briefe, 2 Bde., Berlin 1916
- Matschoß, C., Aus der Geschichte der Gasmaschine, in: Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie, 11, 1919, S.1ff.
- Matschoß, C., (Hg.) Männer der Technik, Düsseldorf 1985 (1925)
- Mauel, K., Die Rivalität zwischen Heißluftmaschine und Verbrennungsmotor als Kleingewerbemaschinen, Düsseldorf 1967
- Mauel, K., Technische und wirtschaftliche Kriterien für Entwicklung und Verwendung von Kraftmaschinen am Ende des 19. Jahrhunderts, in: Humanismus und Technik, 16, 1972, S.159ff.
- Mauersberg, H., Deutsche Industrien im Zeitgeschehen, Stuttgart 1966
- Mayntz, R., Zur Entwicklung technischer Infrastruktursysteme, in: Mayntz, R. u.a. (Hg.): Differenzierung und Verselbständigung, Frankfurt 1988, S.233ff.
- Mclaughlin, Ch., The Stanley Steamer: A Study in Unsuccessful Innovation, in: Explorations in Entrepreneurial History, 7, 1954, S.37ff.
- Memorandum zur sozialwissenschaftlichen Technikforschung in der Bundesrepublik Deutschland: Stand, Aufgaben, künftige Forschungen. Vorgelegt von Dierkes, M./Friedeburg, L.v./Lutz, B./Mayntz, R./Schumann, M./Zapf, W.; Februar 1984
- Meurer, S., Möglichkeiten zur Weiterentwicklung von Fahrzeug-Dieselmotoren, in: Motortechnische Zeitschrift, 6, 1944, S.3ff.
- Meurer, S., Das erstaunliche Entwicklungspotential des Dieselmotors, in: VDI-Gesellschaft Fahrzeugtechnik (Hg): Die Zukunft des Dieselmotor, Düsseldorf 1988, S.1ff.
- Meyer, P., Beiträge zur Geschichte des Dieselmotors, Berlin 1913
- Meyer, P., Aus der Entstehungsgeschichte des Dieselmotors, in: Schweizerische Bauzeitung, 66, 1948, S.485ff.
- Meyer, P., War der Dieselmotor jemals durch Patente geschützt? in: Schweizerische Bauzeitung, 67, 1949, S.303ff.
- Meyer-Berkhout, B., Typenbeschränkung und Rationalisierung in der deutschen Kraftwagenindustrie, Dresden 1942
- Meyer-Larsen, W., Der Untergang des Unternehmens, München 1978
- Mitteilungen aus dem Archiv der MAN, Werk Augsburg, Der Weg zum Fahrzeugdiesel, in: Automobiltechnische Zeitschrift, 44, 1941, S.9ff.

- Modersohn, F., Druckeinspritzung oder Vorkammervverfahren, in: Dieselmotoren, Bd. III, Berlin 1927, S.64ff.
- Mönnich, H., BMW. Eine deutsche Geschichte, Wien/Darmstadt 1989
- MTU - Motoren- und Turbinen-Union München (Hg.): Erinnerungen, 1934-1984 Flugtriebwerksbau in München, München 1985 (1984)
- Müller, J., Zur Bestimmung des Begriffs "Technik" und "technisches Gesetz", in: Deutsche Zeitschrift für Philosophie, 15, 1967, S.1431ff.
- Müller, J., Methoden, Vorgehensweise und Denkstil der schöpferischen Ingenieurarbeit - neue Erkenntnisse und Erfahrungen, in: Maschinenbautechnik, 34, 1985, S.273ff.
- Mumford, L., Mythos der Maschine, Frankfurt 1984 (1964, 1966)
- Münzinger, F., Ingenieure. Betrachtungen über Beruf und Stellung von Ingenieuren, Berlin 1941
- Muster, M., Mit Volldampf ans Stauende. Kampf der Titanen in der Autoindustrie, in: Sozialismus, 7,8/1989, S.57ff.
- Muuß, H., Der Beitrag der Windenergie zu einer regenerativen Energiewirtschaft, in: Scheer, H. (Hg.): Die gespeicherte Sonne. Wasserstoff als Lösung des Energie- und Umweltproblems, München 1987, S.229ff.
- Nägel, A., Die neuere Entwicklung der ortsfesten Ölmaschine, in: Z-VDI, 55, 1911, S.1318ff.
- Nägel, A., Diskussionsbeitrag zur Entstehungsgeschichte des Dieselmotors, in: Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft, 14, 1913, S.360ff.
- Nägel, A., Die Dieselmachine der Gegenwart, in: Dieselmotoren, Bd. I, Berlin 1923, S.3ff.
- Nägel, A., Der Dieselmotor als Kraftfahrzeugmaschine, in: Dieselmotoren, Bd. III, Berlin 1927, S.79ff.
- Nägel, A., Der Junkersmotor, in: Berson, A. u.a., Junkers. Festschrift zum 70. Geburtstag, Berlin 1929, S.8ff.
- Nägel, A., Gedanken zur Schnellläufigkeit des Dieselmotors, in: Z-VDI, 80, 1936, S.1036ff.
- Nau, H., National Politics and International Technology, Baltimore 1974
- Nelson, W.H., Die Volkswagen-Story, Biographie eines Autos, München 1965
- Nernst, W., Zur neueren Entwicklung der Thermodynamik (1912), in: Autrum, H. (Hg.): Von der Naturforschung zur Naturwissenschaft, Berlin 1987, S.341ff.
- Neumann, K., Untersuchungen an der Dieselmachine. Die Dieselmachine als Kraftfahrzeugmotor, in: Dieselmotoren, Bd. IV, Berlin 1929, S.11ff.

- Nirk, R., 100 Jahre Patentschutz in Deutschland, in: Deutsches Patentamt (Hg.): Hundert Jahre Patentamt, Köln 1977
- Noble, D., America by Design, Oxford 1977
- Noble, D., Forces of Production, New York 1984
- Noble, D., Maschinenstürmer oder die komplizierten Beziehungen der Menschen zu ihren Maschinen, Berlin 1986
- NRC - National Research Council (Hg.): The Behavior and Social Science, Washington 1988
- Öchelhäuser, W.v., Ein Beitrag zur Geschichte der Großgasmaschine, in: Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie (Technikgeschichte), 6, 1914, S.109ff.
- Oelsner, R.F., Zur Entwicklung einer Konstruktionswissenschaft im 20. Jahrhundert, Manuskript, Berlin 1990
- Olbert, R., Der Elsbett-Motor. Saubere Energie aus Pflanzenöl? in: Kultur und Technik, 2/1990, S.62ff.
- Ohnesorge, O., "Schraubill". Geschichte einer Erfindung, Berlin 1937
- Ostwald, Walter, Um die Zukunft der deutschen Kraftfahrt, in: Automobiltechnische Zeitschrift, 34, 1931, S.225ff.
- Ostwald, Walter, Zwischen Benz und Diesel. Unerforschte Gebiete im Motorenbau? in: Automobiltechnische Zeitschrift, 35, 1932, S.457ff.
- Ostwald, Walter, Führt die Entwicklung autobahnfähiger Fahrzeugmotoren zu neuen Motoren und neuen Kraftstoffen? in: Brennstoff- und Wärme-wirtschaft, 16, 1934, S.89ff.
- Ostwald, Walter, Gegenwärtige und mögliche künftige Entwicklung der motorischen Verbrennung, in: Automobiltechnische Zeitschrift, 38, 1935, S.208ff.
- Ostwald, Walter, Über die Lenkbarkeit der motorischen Verbrennung, Wien 1937
- Ostwald, Walter, Rudolf Diesel und die motorische Verbrennung, in: Deutsches Museum, Abhandlungen und Berichte, 24, 1955, S.3ff.
- Ostwald, Wilhelm, Die Forderung des Tages, Leipzig 1910
- Otten, D., Die Welt der Industrie, 2 Bde., Reinbek 1986
- Ouchi, W./Wilkins, A., Organisational Culture, in: Annual Review of Sociology, 11, 1985, S.457ff.
- Overy, R., Cars, Roads, and Economic Recovery in Germany 1932-1938, in: The Economic History Review, 28, 1975, S.466ff.
- P.E., Das Gasturbinenauto, in: Die Zeit, 6. April 1990, S.53 (1950)
- Pahl, G./Beitz, W., Konstruktionslehre, Berlin 1986

- Paulinyi, A., Kraftmaschine oder Arbeitsmaschine? In: Technikgeschichte, 45, 1978, S.173ff.
- Paulinyi, A., Industrielle Revolution. Vom Ursprung der modernen Technik, Reinbek 1989
- Paulsen, H., Die Entwicklung der Konstruktion im Maschinenbau im Spiegel technischer Zeitschriften, unveröff. Magisterarbeit, TU Berlin 1989
- Pelz, D.C./Andrews, F.M., Scientists in Organizations, New York 1966
- Peter, W., Der russfreie PKW-Dieselmotor, in: Umwelt, 19, 1989, S.54ff.
- Petsch, J., Geschichte des Auto-Designs, Köln 1982
- Piore, M.J./Sabel, Ch.F., Das Ende der Massenproduktion, Berlin 1985 (1984)
- Pischinger, F., Forschung am Verbrennungsmotor - Basis einer weltbewegenden Technik, in: Gerwin, R. (Hg.): Wie die Zukunft Wurzeln schlug. Aus der Forschung der Bundesrepublik Deutschland, Berlin 1989, S.288ff.
- Pischinger, F./Schulte, H./Jansen, J., Grundlagen und Entwicklungen der dieselmotorischen Brennverfahren, in: VDI-Fahrzeugtechnik (Hg.): Die Zukunft des Dieselmotor, Düsseldorf 1988, S.61ff.
- Pitt, J.C., "Style" and Technology, in: Technology in Society, 10, 1988, S.447ff.
- Polster, B., Tankstellen. Eine Benzingeschichte, Berlin 1982
- Popper, St., Motorenkunde für Flugtechniker, Wien 1915
- Porsche, F./Molter, G., Ferry Porsche. Ein Leben für das Auto, Stuttgart 1989
- Povel, R., Wasserstoff als Kraftstoff für Straßenfahrzeuge, in: Scheer, H. (Hg.): Die gespeicherte Sonne. Wasserstoff als Lösung des Energie- und Umweltproblems, München 1987, S.175ff.
- Prigogine, I./Stengers, I., Dialog mit der Natur, München 1986
- Profflich, W., Beitrag zur Geschichte des Krupp-Dieselmotorenbaues, in: Technische Mitteilungen Krupp, 21, 1963, S.139ff.
- Pyper, M., Partikelfilter als vorübergehende Notlösung, in: VDI-Nachrichten, 9. Dezember 1989, S.26
- Pyper, M., Nutzfahrzeuge werden umweltfreundlicher, in: VDI-Nachrichten, 11. Mai 1990, S.6
- Quéré, M., Organisation, Innovation und Technikgenese: ein französischer Ansatz, Manuskript, Berlin 1990
- Radkau, J., Technik in Deutschland. Vom 18. Jahrhundert bis zur Gegenwart, Frankfurt 1989
- Quint, H.A., Porsche. Der Weg eines Zeitalters, Stuttgart 1951
- Rammert, W., Soziale Dynamik der technischen Entwicklung, Opladen 1983
- Rammert, W., Editorial: Technik und Kultur, in: Rammert, W./Bechmann, G./Nowotny, H. (Hg.): Technik und Gesellschaft, Jahrbuch 3, Frankfurt 1985

- Rammert, W., Vom Umgang der Soziologen mit der Technik. In Distanz zum Artefakt und mit Engagement für die Deutung, in: Soziologische Revue, 10, 1987, S.44ff.
- Rammert, W., Technikgenese, Ein Überblick über Studien zum Entstehungskontext neuer Techniken (Arbeitsberichte und Forschungsmaterialien Nr. 30), Bielefeld 1988
- Rammert, W., Technisierung und Medien in Sozialsystemen - Annäherungen an eine Theorie der Technik, in: Weingart, P. (Hg.): Technik als sozialer Prozeß, Frankfurt 1989, S.128ff.
- Randow, G.v., Die Neuen Hybriden, in: Die Zeit, 20. April 1990 (1990a), S.82
- Randow, G.v., Kraftwerk der Zukunft, in: Die Zeit, 20. Juli 1990 (1990b), S.58
- Randow, G.v., PS aus Dosen, in: Die Zeit, 11. August 1989, S.54
- Rapp, F., Technikgeschichte und die Grenzen der Machbarkeit in: Dierkes, M./Petermann, Th./Thienen, V.v. (Hg.): Technik und Parlament, Berlin 1986, S.73ff.
- Rapp, F., Die Forschung in der Technik (bzw. Technologie) des 19. Jahrhunderts, in: Diemer, A. (Hg.): Konzeptionen und Begriff der Forschung in den Wissenschaften des 19. Jahrhunderts, Meisenheim 1978, S.189ff.
- Rapp, F./Jokisch, R./Linder, H., Determinanten der technischen Entwicklung, Berlin 1980
- Rauner, F. (Hg.): Gestalten. Eine neue gesellschaftliche Praxis, Bonn 1988
- Rathenau, W., Produktionspolitik, (1920), in: Rathenau, W., Reden und Schriften, Frankfurt/M. 1964, S.392ff.
- Redtenbacher, F., Resultate für den Maschinenbau, Heidelberg 1875
- Regenbogen, C., Der Dieselmotorenbau auf der Germaniawerft, in: Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft, 14, 1913, S.209ff.
- Regni, Leitende Konstruktionsprinzipien im modernen Automobilbau, in: Der Motorwagen, 8, 1906, S. 201ff./ S.307ff.
- Reindl, J., Werden und Wirken der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Betriebsingenieure, in: Der Betrieb, 9, 1930, S.157ff.
- Rengeling, H.W., Der Stand der Technik bei der Genehmigung umweltgefährdender Anlagen, Köln 1985
- Reuleaux, F., Maschinenbaustil, Begründung einer Formenlehre, Braunschweig 1862
- Reuleaux, F., Theoretische Kinematik. Grundzüge einer Theorie des Maschinenwesens, Braunschweig 1875
- Reuleaux, F., Die Maschine und die Arbeiterfrage, Minden 1885
- Reuleaux, F., Cultur und Technik, in: Z-VDI, 29, 1885, S.24ff./ S.41ff.

- Revermann, H./Sonntag, Ph., Schlüsseltechnologien. Turbulenter Wandel der Industrie durch innovative Dynamik, Berlin/Offenbach 1987
- Ricardo, H.S., Schnellaufende Verbrennungsmotoren, Berlin 1932
- Richter, L., Versuche an einem Junkers-Fahrzeug-Dieselmotor, in: Dieselmotoren, Bd. IV, Berlin 1929, S.88ff.
- Riedler, A., Gross- Gasmotoren, Berlin/München 1905
- Riedler, A., Dieselmotoren, Beiträge zur Kenntnis von Hochdruckmotoren, Berlin 1914
- Riedler, A., Emil Rathenau und das Werden der Großwirtschaft, Berlin 1916
- Riedler, A., Wirklichkeitsblinde in Wissenschaft und Technik, Berlin 1919
- Riedler, A., Akademisches Pneuma und die Drehkranken, München und Berlin 1921 (1921a)
- Riedler, A., Die neue Technik, Berlin 1921 (1921b)
- Riedler, A., Rede zur Feier der Jahrhundertwende in der Halle der Königl. Technischen Hochschule zu Berlin, in: Pädagogisches Archiv, 42, 1900, S.197ff.
- Riedler, A., Kraftwagen, in: Miethe, A. (Hg.): Die Technik im zwanzigsten Jahrhundert, Bd. 4, Braunschweig 1912, S.175ff.
- Riedler, A., Diskussionsbeitrag zur Entstehungsgeschichte des Dieselmotors, in: Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft, 14, 1913, S.355ff.
- Riehm, W., Schnellaufende Dieselmotoren für Fahrzeuge, in: Dieselmotoren, Bd. II, Berlin 1926, S.62ff.
- Riehm, W., Schnellaufende Fahrzeugdieselmotoren, in: Der Motorwagen, 30, 1928, S. 89ff.
- Rieppel, P., Diskussionsbeitrag, in: Junkers, 1912: 321ff.
- Roediger, W., Hundert Jahre Automobil, Leipzig/Jena/Berlin 1988
- Romberg, F., Der Ölmotor im deutschen Seefischereibetriebe, in: Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft, 13, 1912, S.173ff.
- Ropohl, G., Interdependenzen technischen und wirtschaftlichen Handelns, in: Heinemann, K. (Hg.), Soziologie wirtschaftlichen Handelns, (Sonderheft der KZfSS 28/1987), Opladen 1987, S.133ff.
- Ropohl, G./Schuchardt, W./Lauruschkat, H., Technische Regeln und Lebensqualität, Düsseldorf 1984
- Rosenberg, H., Grosse Depression und Bismarckzeit, Berlin 1967
- Rosenberg, N., Inside The Black Box: Technology and Economics, Cambridge 1986 (1982)

- Roth, K.H., Der Weg zum guten Stern des "Dritten Reiches", in: Hamburger Stiftung für Sozialgeschichte des 20. Jahrhunderts (Hg.): Das Daimler-Benz Buch, Nördlingen 1988 (1987), S.27ff.
- Roth, K.H./Schmid, M., Die Daimler-Benz AG 1916-1948; Schlüsseldokumente zur Konzerngeschichte, Nördlingen 1987
- Ruef, F., Das erste Dieselmotorkraftwerk der Welt, in: MAN-Werkszeitung, 24, 1954, S.6f.
- Rumpler, E., Quo Vadis? In: Der Motorwagen, 8, 1906, S.94ff.
- Rupieper, H.J., Arbeiter und Angestellte im Zeitalter der Industrialisierung. Ein sozialgeschichtliche Studie am Beispiel der Maschinenfabriken Augsburg und Nürnberg, Frankfurt 1982
- Rürup, R. (Hg.): Wissenschaft und Gesellschaft, Beiträge zur Geschichte der Technischen Universität Berlin, Bd. 1, Berlin 1979
- Sachs, W., Energie als Weltbild. Ein Kapitel aus der Kulturgeschichte des Produktivismus, in: Rammert, W./Bechmann, G./Nowotny, H. (Hg.): Technik und Gesellschaft, Jahrbuch 3, Frankfurt 1985, S.36ff.
- Saiuberlich, Diskussionsbeitrag, in: Junkers, 1912: 321ff.
- Salewski, M., Neujahr 1900. Die Säkularwende in zeitgenössischer Sicht, in: Archiv für Kulturgeschichte, 53, 1971, S.335ff.
- Salzer, E., Austausch von technischen Erfahrungen und Erfindungen im Rahmen von Unternehmerverbänden, Diss., Darmstadt 1927
- Sass, F., Bau und Betrieb von Dieselmotoren, Berlin 1948
- Sass, F., Geschichte des deutschen Verbrennungsmotorenbaues, Berlin 1962
- Schaar, W., Der Michel-Motor, ein neuer Fahrzeugdieselmotor, in: Automobil-technische Zeitschrift, 34, 1931, S.258ff.
- Schaefer, K., Flugmotorenkunde, Berlin 1933
- Schildberger, F., Bosch und der Dieselmotor, Bosch-Schriftenreihe Folge 3, Stuttgart 1950
- Schimank, H., Der Ingenieur, Köln 1961
- Schimank, H., Geschichte des Energieprinzips, in: Beiträge zur Geschichte der Technik (Technikgeschichte), 22, 1930, S.31ff.
- Schirz, O., Personenkraftwagen, in: Allmers, R.A.H./Kaufmann, R./Fritz, C./Kleinrath, E./Pflug, F. (Hg.): Das deutsche Automobilwesen der Gegenwart, Berlin 1928, S.7ff.
- Schlaepfer, O., Der Sulzer-Dieselmotor in der Schienentraktion, in: Technische Rundschau Sulzer, 29, 1947, S.42ff.

- Schmidt, E., Die Drehkolben- und Kreiskolbenmaschine, Entstehung einer neuen Bauart des Verbrennungsmotors, in: VDI-Berichte, Nr. 45, Drehkolben- und Kreiskolbenmaschinen als Verbrennungsmotoren, Düsseldorf 1960, S.7ff.
- Schmidt, F., Verbrennungsmotoren, Berlin 1945
- Schmidt, S.J., Der Radikale Konstruktivismus: Ein neues Paradigma im interdisziplinären Diskurs, in: Schmidt, S.J. (Hg.): Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus, Frankfurt 1987, S.11ff.
- Schmitt, G., Hugo Junkers und seine Flugzeuge, Berlin 1986
- Schnabel, F., Deutsche Geschichte im 19. Jahrhundert, Bd. 3: Erfahrungswissenschaften und Technik, Frankfurt 1987 (1934)
- Schnauffer, K., Die Erfindung Rudolf Diesel - Triumph einer Theorie, in: Z-VDI, 100, 1958 (1958a), S.308ff.
- Schnauffer, K., Zur Entwicklung der kompressorlosen Dieselmotoren, in: Motortechnische Zeitschrift, 19, 1958 (1958b), S.71ff.
- Schnauffer, K., 50 Jahre - Vorkammer- Dieselmotoren, in: Motortechnische Zeitschrift, 20, 1959, S.111
- Schnauffer, K., Aus der Entwicklung des Dieselmotors im In- und Ausland in den ersten zwanzig Jahren, in: Motortechnische Zeitschrift, 33, 1972, S.80ff.
- Schneider, J., Franz Reuleaux und die Theorie der Maschinen, in: Buddensieg, T./Düwell, K./Sembach, K.J. (Hg.): Wissenschaften in Berlin, Bd. 3: Gedanken, Berlin 1987, S.172ff.
- Schneider, M., Über Technik, technisches Denken und technische Wirkungen, Nürnberg 1912
- Schneider, P., NSU 1873-1984: Vom Hochrad zum Automobil, Stuttgart 1985
- Schöttler, R., Mitteilungen von Ausstellungen für Handwerkstechnik in Dresden, in: Z-VDI, 29, 1885, S.28ff.
- Schöttler, R., Die Gasmaschine, Berlin 1909
- Schregenberger, J.W., Methodenbewußtes Problemlösen, Bern 1982
- Schröter, M., Diesels rationeller Wärmemotor, in: Z-VDI, 41, 1897, S.845ff.
- Schuchardt, W./Wolf, R., Technikfolgenabschätzung und Technikbewertung, in: Ropohl, G./Schuchardt, W./Wolf, R., Schlüsseltexte zur Technikbewertung, Dortmund 1990, S.9ff.
- Schultz, F., Der kompressorlose Betrieb von Dieselmotoren, in: Dieselmaschinen, Bd. 2, Berlin 1925, S.89ff.
- Schumpeter, J.A., Kapitalismus, Sozialismus und Demokratie, München 1980 (1942)

- Schuster, H., Industrie und Sozialwissenschaften, Opladen 1987
- Schütze, Ch., Das Grundgesetz vom Niedergang, München 1989
- Schwarz, G., Diskussionsbeitrag, in: Junkers, 1912: 321ff.
- Schwarz, H., Sind 300 PS in einem Auto Technik für den Menschen? in: FR, 22.9.1989, S.4
- Schwarz, J./Bretfeld, W., Betrachtungen über den Gegenkolben-Zweitakt-Dieselmotor Bauart "Junkers", in: Maschinenbautechnik, 1, 1952, S.121ff
- Schwarz, M./Thompson M., Divided We Stand, Redefining Politics, Technology and Social Choice, New York 1990
- Schwerdtfeger, W., Die Brennstofffrage der Automobilmotoren, in: Zeitschrift des Mitteleuropäischen Motorwagenvereins, 10, 1911, S.387ff.
- Schwerdtfeger, W., Der Entwicklungsstand der Schwerölmotoren für Fahrzeuge und Flugzeuge, in: Automobiltechnische Zeitschrift, 34, 1931, S.677ff.
- Seherr-Thoss, H.C. Graf v., Die deutsche Automobilindustrie, Stuttgart 1979
- Seherr-Thoss, H.C. Graf v., Die Brennstoffzuführung bei schnellaufenden Verbrennungsmotoren, in: Kultur und Technik, 1/1987, S.20ff.
- Seidel, G.H., Die Erdölprodukte, in: Fersen, O.v. (Hg.): Ein Jahrhundert Automobil, Düsseldorf 1986, S.546ff.
- Seiffert, U./Walzer, P., Automobiltechnik der Zukunft, Düsseldorf 1989
- Seifried, D., Gute Argumente: Verkehr, München 1990
- Senghaas-Knobloch, E., Die Macht der Verhältnisse und das Verantwortungsbewußtsein von Entwicklungsingenieuren, in: König, H. (Hg.) Politische Psychologie Heute, Opladen 1988
- Sens, E., Techniksoziologie und Ingenieure, in: Jokisch, R. (Hg.): Techniksoziologie, Frankfurt 1982, S.496ff.
- Shepard, H.A., Nine Dilemmas in Industrial Research, in: Administrative Quarterly, 1956, S.295ff.
- Siebertz, P., Rudolf Diesel und der Fahrzeugmotor, in: Blätter für Technikgeschichte, Heft 12, 1950, S.15ff.
- Siebertz, P., Mercedes-Konstruktionen in fünf Jahrzehnten, Stuttgart 1951
- Sieferle, R.P., Der unterirdische Wald, München 1982
- Sieferle, R.P., Fortschrittsfeinde? München 1984
- Siemens, G., Erziehendes Leben, Urach 1946
- Siemens, R.v., Der Automobilbau bei Siemens, in: Das Schnaufferl, 1959, S.6ff.
- Simsa, P., Die Verdienste des Felix Wankel, in: mot, 22/1982, S.47ff.

- de SollaPrice, D., The science/technology relationship, the craft of experimental science, and the policy for the improvement of high technology innovation, in: research policy, 13, 1984, S.3ff.
- Sombart, W., Technik und Kultur, in: Archiv für Sozialwissenschaften und Sozialpolitik, 33, 1911, S.305ff.
- Sombart, W., Die Zähmung der Technik, Berlin 1935
- Sörensen, E., Die Wärmekraftmaschine an der Jahreswende, in: Motortechnische Zeitschrift, 6, 1944, S.1ff.
- Sorge, A., Informationstechnik und Arbeit im sozialen Prozeß, Frankfurt 1985
- Der Spiegel, 31/1961, S. 22ff.: "Wankelmut"
- Stahlschmidt, R., Quellen und Fragestellungen einer deutschen Technikgeschichte, Göttingen 1977
- Staudenmaier, J.M., Technology's Storytellers. Reweaving the Human Fabric, Cambridge 1985
- Stockklausner, H.K., 50 Jahre Diesellokomotiven, Basel/Stuttgart 1963
- Stodola, A., Dampf- und Gasturbinen, Düsseldorf 1986 (1922)
- Strandh, S., Die Maschine. Geschichte, Elemente, Funktion, Freiburg 1980 (1979)
- Strandh, S. (Hg.): Technology and its Impact on Society, Stockholm 1979
- Strasser, J./Traube, K., Technik und Herrschaft, in: Jokisch, R. (Hg.): Techniksoziologie, Frankfurt 1982, S.242ff.
- Straubel, M., Einsatzbereiche, Zulassungs- und Leistungstrends von Dieselmotoren, in: VDI-Fahrzeugtechnik (Hg.): Die Zukunft des Dieselmotors, Düsseldorf 1988, S.31ff.
- Strößner, G., Wegbereiter einer Erfindung, in: Motortechnische Zeitschrift, 19, 1958, S.82ff.
- Strößner, G., Die Fusion der Aktiengesellschaft Maschinenfabrik Augsburg und der Maschinenbau-Actien-Gesellschaft Nürnberg im Jahre 1898, in: Traditon, Zeitschrift für Firmengeschichte, 5, 1960, S.97f.
- Stünzi, H./Marti, A., Der Sulzer-Dieselmotor, in: Technische Rundschau Sulzer, 66, 1984, S.3ff.
- Suß, W./Schroeder, K. (Hg.): Technik und Zukunft, Opladen 1988
- Süddeutsche Zeitung (SZ) (Hg.): Auto 2000. Wohin entwickelt sich das Automobil? SZ-Texte 8, München 1989
- Techel, H., Der Bau von Unterseebooten, Berlin 1940 (1935)
- Thiemann, A.E., Fahrzeug - Dieselmotoren, Berlin 1929
- Thienen, V.v., Die soziale Bindung und funktionale Vielfalt von technikvermittelnden Musiken, WZB-paper dp FS II 88-106, Berlin 1988

- Thienen, V.v., Die Sozialverträglichkeit der Sozialverträglichkeits-Prüfung, in: Rauner, F. (Hg.): Gestalten. Eine neue gesellschaftliche Praxis, Bonn 1988, S.157ff.
- Thomas, D.E., Diesel, Technology and Society in Industrial Germany, Alabama 1987
- Thomas, D.E., Diesel, Father and Son: Social Philosophies of Technology, in: Technology and Culture, 19, 1978, S.376ff.
- Thümmel, H.W., Carl Benz und die Technische Hochschule Karlsruhe, in: Fridericiana, 38, 1986, S.9ff.
- Toussant, Diskussionsbeitrag, in: Junkers, 1912: 328ff.
- Treue, W., Erfinder und Unternehmer, in: Tradition, Zeitschrift für Firmengeschichte, 8, 1963, S.255ff.
- Treue, W., Ingenieur und Erfinder, in: Vierteljahresschrift für Sozial- und Wirtschaftsgeschichte, 54, 1967, S.456ff.
- Troitzsch, U., Technikgeschichte in der Forschung und in der Sachbuchliteratur, in: Mehrtens, H./Richter, St., Naturwissenschaft, Technik und NS-Ideologie, Frankfurt 1980, S.215ff.
- Troitzsch, U./Wohlauf, G., Einführung, in: Troitzsch, U./Wohlauf, G. (Hg.): TechnikGeschichte, Frankfurt 1980
- Tschiedel, R., Sozialverträgliche Technikgestaltung, Opladen 1989
- Ullrich, O., Technik und Herrschaft, Frankfurt 1977
- Umweltprobleme durch Dieselmotoren, Tagung Fortbildungszentrum Gesundheits- und Umweltschutz Berlin, 29.-30. März 1990
- Urban, D., Technikentwicklung, Zur Soziologie technischen Wissens, Stuttgart 1986
- Varchmin, J./Radkau, J., Kraft, Energie und Arbeit, Energie und Gesellschaft, Reinbek 1984 (1981)
- Väth, W., Technik und Politik, in: Süß, W./Schroeder, K. (Hg.): Technik und Zukunft, Opladen 1988, S.252ff.
- Väth, W., Diskussionsbeitrag, in: Hesse, J.J./Kreibich, R./Zöpel, Ch. (Hg.): Zukunftsoptionen - Technikentwicklung in der Wissenschafts- und Risikogesellschaft, Baden-Baden 1989, S.225ff.
- VDI-Gesellschaft Fahrzeugtechnik (Hg.): 100 Jahre Automobil, Düsseldorf 1986 (VDI-Berichte 596)
- VDI-Gesellschaft Fahrzeugtechnik (Hg.): Die Zukunft des Dieselmotors, Düsseldorf 1988 (VDI-Berichte 714)
- VDI-Berichte Nr. 45, Drehkolben- und Kreiskolbenmaschinen als Verbrennungsmotoren, Düsseldorf 1960

- Vieweg, Ch., Neues vom Katalysator: Das dicke Ende, in: *Natur*, 6/1990, S.24ff.
- Vorholz, F., Freie Fahrt für Luftverpaster, in: Blüthmann, H. (Hg.): *Verkehrs-Infarkt. Die mobile Gesellschaft vor dem Kollaps*, Reinbek 1990, S.48ff.
- Wagner, P., *Sozialwissenschaften und Staat*, Frankfurt 1990
- Wagner-Döbler, R., *Das Dilemma der Technikkontrolle*, Berlin 1989
- Walde, E., Gewerbliche Schutzrechte und Unternehmensorganisationen in Deutschland, in: Horn, N./Kocka, J. (Hg.): *Recht und Entwicklung der Großunternehmen im 19. und frühen 20. Jahrhundert*, Göttingen 1979, S.343,
- Wankel, F./Froede, W., Bauart und gegenwärtiger Entwicklungsstand einer Trochoiden-Rotationskolbenmaschine, in: *Motortechnische Zeitschrift*, 21, 1960, S.1ff. (Sonderdruck)
- Wankel, F., Patentamt, Erfinder und Volkswirtschaft, in: *Deutsches Patentamt (Hg.): Hundert Jahre Patentamt*, München 1977, S.325ff.
- Weber, M., *Energetische Kulturtheorien* (1909), in: Weber, M., *Gesammelte Aufsätze zur Wissenschaftslehre*, Tübingen 1922 (1988), S.400ff.
- Wefeld, H.J., *Ingenieure aus Berlin. 300 Jahre technisches Schulwesen*, Berlin 1988
- Weingart, P., Strukturen technologischen Wandels, in: Jokisch, R. (Hg.): *Techniksoziologie*, Frankfurt 1982, S.112ff.
- Weingart, P. (Hg.): *Technik als sozialer Prozeß*, Frankfurt 1989
- Weis, A.R./Birnbaum, P.H., Technological Infrastructure and the Implementation of Technological Strategies, in: *Management Science*, 35, 1989, S.1014ff.
- Weiss, J.H., *The Making of Technological Man*, Cambridge 1982
- Weissleder, H., Dieselmotorenbau in der Deutschen Demokratischen Republik, in: *Die Technik*, 7, 1952, S.2ff.
- Weyer, J., Reden über Technik als Strategie sozialer Innovation, in: Glasgow, M./Wilke, H./Wiesenthal, H. (Hg): *Gesellschaftliche Steuerungspotentialität und partikulare Handlungsstrategien*, Pfaffenweiler 1989, S. 81ff.
- Whalley, P., *The Social Production of Technical Work*, New York 1986
- Wiedemann, B./Willmann, M./Scher, W., Öko-Polo-Antriebskonzept, in: *VDI-Fahrzeugtechnik (Hg.): Die Zukunft des Dieselmotors*, Düsseldorf 1988, S.137ff.
- Wiese, L.v., Technik, in: *Handwörterbuch der Soziologie*, hg. von A. Vierkandt, Stuttgart 1931, S.638ff.

- Wiesenack, G., Wesen und Geschichte der Technischen Überwachungsvereine, Köln 1971
- Wilkinson, P.W., Aircraft Diesels, New York 1940
- Winkler, O., Über die geistigen Vorgänge beim Konstruieren und Erfinden, in: Der Motorwagen, 23, 1921, S.534ff.
- Winner, L., Do artifacts have politics? in: Mackenzie, D./ Wajcman, J. (Hg.), The Social Shaping of Technology, Milton Keynes 1985, S.26ff.
- Wissmann, G., Geschichte der Luftfahrt von Ikarus bis zur Gegenwart, Berlin 1979
- Wittgen, D./ Krznar, R., Bahnanlagen, Fahrzeuge, Signale. Die Technik der S-Bahn, in: Die Berliner S-Bahn, hg. von der Arbeitsgruppe der Berliner S-Bahn, Berlin 1984, S.303ff.
- Wolf, R., Der Stand der Technik, Opladen 1986
- Wolf, W., Eisenbahn und Autowahn, Hamburg 1987
- Wörgerbauer, H., Die Technik des Konstruierens, München/Berlin 1943
- Yago, G., Ursprünge der deutschen Autolobby. Zur Motorisierung im Dritten Reich, in: Blätter für deutsche und internationale Politik, 25, 1980, S.717ff.
- Zängl, W., Deutschlands Strom. Die Politik der Elektrifizierung von 1866 bis heute, Frankfurt 1989
- Zima, St., Entwicklung schnellaufender Hochleistungsmotoren in Friedrichshafen, Düsseldorf 1987
- Zindel, E., Hugo Junkers, Ein Pionier der Technik und der Luftfahrt, in: Deutsche Luft- und Raumfahrt, Mitteilungen 74-15, 1974, S.7ff.
- Zinner, K., Die ersten Aufladeversuche am Dieselmotor, in: Motortechnische Zeitschrift, 19, 1958, S.78ff.
- Zöpel, Ch., Technikbeherrschung, in: Zöpel, Ch. (Hg.): Technikkontrolle in der Risikogesellschaft, Bonn 1988, S.7ff.
- Zöpel, Ch. (Hg.): Technikkontrolle in der Risikogesellschaft, Bonn 1988
- Zündorf, L./ Grunt, M., Innovation in der Industrie, Frankfurt
- Zweckbronner, G., Je besser der Techniker, desto einseitiger sein Blick? in: Troitzsch, U./ Wohlauf, G. (Hg): Technik-Geschichte, Frankfurt 1980, S.328ff.