

Knie, Andreas

Working Paper — Digitized Version

Unsichtbare Grenzen technischer Innovation: Die Entwicklungsgeschichte des Dieselmotors. Ein Beitrag zur umweltpolitischen Diskussion aus der Perspektive einer sozialwissenschaftlichen Technikforschung

WZB Discussion Paper, No. FS II 89-106

Provided in Cooperation with:

WZB Berlin Social Science Center

Suggested Citation: Knie, Andreas (1989) : Unsichtbare Grenzen technischer Innovation: Die Entwicklungsgeschichte des Dieselmotors. Ein Beitrag zur umweltpolitischen Diskussion aus der Perspektive einer sozialwissenschaftlichen Technikforschung, WZB Discussion Paper, No. FS II 89-106, Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung (WZB), Berlin

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/77636>

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.

FS II 89-106

UNSICHTBARE GRENZEN TECHNISCHER INNOVATION

Die Entwicklungsgeschichte des Dieselmotors.

Ein Beitrag zur umweltpolitischen
Diskussion aus der Perspektive einer
sozialwissenschaftlichen Technikforschung

Andreas Knie

Forschungsschwerpunkt
Technik
Arbeit
Umwelt

25. JULI 1990 Wirtschaft
Kiel

W 186 - 89-106

Zusammenfassung

Unsichtbare Grenzen technischer Innovationen. Die Entwicklungsgeschichte des Dieselmotors

Der Ausgangspunkt des vorliegenden Beitrags ist die Kritik, daß die umwelt-politische Diskussion bislang lediglich ein instrumentelles Verhältnis zur Technik entwickelt hat. Technische Innovationen zur Verbesserung der Umwelt wurden als abhängige Variable ordnungspolitischer Voraussetzungen begriffen, die Instrumenten zur optimalen Nutzung knapper Ressourcen erhofft. Anhand erster Überlegungen einer sozialwissenschaftlichen Technikgeneseforschung kann an Beispielen aus der Entwicklungsgeschichte des Dieselmotors aber gezeigt werden, daß die Entstehung und Entwicklung von Techniken oder technischer Auswahlentscheidungen nach Kriterien vorgenommen werden, die sich keineswegs nur mit dem Hinweis auf dominante ökonomische Kalküle erklären lassen und deren selektive Wirkungen bereits Optionen ausgeschlossen haben, lange bevor die Allokationsfähigkeit des Markts überhaupt einsetzen kann.

Summary

Univisible borders of technical innovations. The history of the development of the Diesel motor.

The point of departure of the present discussion is to criticize the view that environmental policy has merely an instrumental relationship to technology. Technological innovations for improving the environment have been understood as dependent variables of policy-making, where it was hoped that technical quality would be achieved by employing methods for the optimal use of scarce resources. Based on preliminary findings from the social scientific research on techno-genesis, it can be pointed out that the systems are tied to social contexts. The selection of technologies is based on criteria which cannot be explained only in terms of economic models; during the selection process, technologies had been ruled out long before their marketability had been determined.

1.

Neben Verhaltensänderungen sind es im wesentlichen die technischen Innovationen, von denen Beiträge zur Verbesserung der Umweltsituation erhofft werden. Gegenstand der folgenden Erörterungen sind die sozialen Bedingungen und Voraussetzungen dieses "technischen Fortschritts", die in der umweltpolitischen Diskussion noch kaum zur Kenntnis genommen worden sind, hinter denen sich aber möglicherweise "unsichtbare" Grenzen und Hindernisse einer umweltschonenden Technikentwicklung verbergen. Die bisherige Debatte wurde bislang vor allem von den disziplinären Kontexten der Wirtschaftswissenschaften geprägt und läßt zu diesem Problembereich ein immer wiederkehrendes Argumentationsmuster erkennen: Als Hauptproblem einer wirksamen Umweltpolitik sind die bislang nicht erreichten ordnungspolitischen Voraussetzungen für die Wiederherstellung einer durch den wachsenden staatlichen Einfluß verloren gegangenen Allokationsfähigkeit des Marktes erkannt. Staatliche Politik soll sich nicht mehr von einer Philosophie des "command and control" leiten lassen, sondern die Wettbewerbsbedingungen so gestalten, daß der Such- und Entdeckungsprozeß des Marktes nicht länger behindert wird. Diesen umweltpolitischen Vorschlägen liegt die Annahme zugrunde, daß die Unternehmen schon aus ureigenstem Existenzinteresse an einer permanenten Weiterentwicklung ihrer fertigungstechnischen Voraussetzungen sowie des Produktangebotes interessiert sind und daß - vorausgesetzt, Eigentumsrechte an natürlichen Ressourcen sind begründet - der Marktmechanismus eine optimale Nutzung knapper Ressourcen garantiert. Zugestanden wird, daß einzelne Firmen durchaus einmal den Innovationszug verpassen, doch die nationalen und internationalen Konkurrenzverhältnisse dieses Defizit mittels Marktabgänge und Marktzugänge immer wieder regulieren. Es kann also darauf vertraut werden, daß durch die profitgeleiteten Expansionsbestrebungen einer kapitalistischen Marktwirtschaft im Ergebnis eine expansive technische Innovationsfähigkeit erreicht wird, zumal noch ein dichtes Netz wissenschaftlich-technischer Forschungseinrichtungen unterstützend zur Produktion anwendungsrelevanten Wissens beiträgt.

Die Bedingungen der Erzeugung und Implementation technikrelevanten Wissens bleiben in dieser Vorstellung unbedeutend, verschwinden in einer "black box" (Rosenberg). Daß aber auch optimale ordnungspolitische Voraussetzungen nicht schon - quasi automatisch - technische Innovationen zur Folge haben, sondern die Konstruktion technischer Artefakte und technischer Systeme in soziale Kontexte eingebunden ist, in denen Auswahl- und Eliminierungsentscheidungen nach Kriterien getroffen werden, die sich nicht nur mit dem

"Primat der Ökonomie" hinreichend erklären lassen, ist die Ausgangsüberlegung des folgenden Beitrags. Soziale Bedingungen und Voraussetzungen stellen für Form und Inhalt technischer Lösungswege verantwortliche Faktoren dar, die für den "technischen Fortschritt" Verlaufsmuster skizzieren, deren Grenzen in der bisherigen Betrachtungsweise aber "unsichtbar" geblieben sind. Auch in betrieblichen Entwicklungskontexten können Definitions- und Implementationsprobleme durch eingeschliffene Denkstile und Traditionsvorstellungen entstehen, die - wenn sie zudem auch noch unternehmensübergreifend wirken - als unsichtbare Selektionsfilter der Entwicklung umweltgerechter Produkte und Verfahren durchaus entgegenstehen können.

Die folgenden Erörterungen versuchen dieses Defizit der bisherigen umweltpolitischen Diskussionen an der Entstehung und Entwicklung des Dieselmotors beispielhaft zu illustrieren. Der Bezug zum Dieselmotor bietet sich an, da dieser Motortyp in der letzten Zeit Gegenstand heftiger Kritik geworden ist und sich die Automobilindustrie bislang vergeblich um eine Veränderung der Situation bemüht hat. Während noch vor wenigen Jahren der "Diesel" ja nicht nur als besonders verbrauchsgünstig, sondern auch als eine sehr umweltfreundliche Antriebstechnik galt, hat sich die Wahrnehmung des Dieselmotors scheinbar grundlegend verändert. Im Mittelpunkt der Kritik stehen nun vor allem Stickoxide und Partikel-Emissionen, deren Ausstoß dem guten Image des Motors entgegenstehen. Obwohl beispielsweise Daimler-Benz schon seit mehr als sechs Jahren an der innermotorischen Optimierung des Diesels arbeitet und sich durch eine veränderte Vorkammer mit Schrägeinspritzung neue "Emissions-Maßstäbe" verspricht (vgl. VDI-Nachrichten Nr.5/3.2.1989, S.26), ist das allgemeine Erscheinungsbild der Dieselmotoren-Forschung eher durch weniger optimistische Zukunftsaussichten gekennzeichnet, was mögliche kurzfristige Erfolge einer Schadstoffminimierung angeht.

Wenn auch die Automobilindustrie hinter der augenblicklichen Dieselkrise eine "Diskriminierung" durch staatliche Behörden vermutet, läßt sich aber sicherlich nicht leugnen, daß es sich insbesondere hinsichtlich der Rußbelastungen dieser Motoren um reale Probleme handelt, die zudem schon seit langem bekannt sind und deren Beseitigung die Motorbauindustrie offenbar große Mühe gekostet hat und in der Zukunft wohl noch kosten wird.

Am Beispiel dieser Motorlinie können "Beharrungskräfte" technischer Entwicklungen herausgearbeitet werden, die mit dem bisherigen Verständnis von "Fortschritt" nicht ohne weiteres vereinbar sind. Obwohl sich der Beitrag insbesondere auf die frühen Entstehungs- und Entwicklungsetappen des

Dieselmotors konzentriert, lassen die hier skizzierten Entwicklungslinien aber auch einige Zweifel an den Prämissen heutiger Umweltpolitik angebracht erscheinen.

Diese Annahme ist Teil einer Forschungshypothese, die unterstellt, daß schon in einem sehr frühen Stadium der Technikentwicklung eine für die spätere Entwicklung definitorische Prägung der grundlegenden technischen Eigenschaften erfolgt. Daß in dieser Phase der "Technikgenese", die von der Problemdefinition bis zum ersten verwendungsfähigen Industrieprodukt reicht, bereits verbindliche Entwicklungskorridore festgelegt werden, die für weitere technische Entwicklungen als eine Art "unsichtbarer" Selektionsfilter wirken.

Die Ausführungen verstehen sich nicht als historische Anmerkungen im eigentlichen Sinne, sondern versuchen vielmehr einen sozialwissenschaftlichen Zugang zur Technikforschung zu entwickeln, der sich mit sozialen Bedingungen und Voraussetzungen der Technikentstehung beschäftigt. Technikgeneseforschung untersucht damit die Bedingungen für die Durchsetzung bzw. Nichtdurchsetzung von technischen Optionen und sucht nach den Selektionskriterien für wichtige Eliminierungsentscheidungen. Aus den Ereignissen der Jahrhundertwende lassen sich möglicherweise einige wichtige Erkenntnisse über allgemeine soziale Bedingungen der Durchsetzung von technischen Innovationen und der Ausprägung technischer Qualitäten gewinnen, die auch einen Beitrag zur Erweiterung des Wissens- und Erkenntnisstandes über soziale Grenzen technischer Entwicklungen der Gegenwart leisten könnten.

Im folgenden Kapitel werden zunächst einige Gedanken zur Entstehung und Entwicklung des stationären Dieselmotors skizziert (2.), daran knüpfen einige Bemerkungen zu Entwicklungsproblemen des Fahrzeug-Dieselmotors an (3.). Die oben vorgestellten Annahmen lassen es angebracht erscheinen, in diesen beiden Abschnitten zunächst einmal eine mehr "mikroanalytische" Herangehensweise zu wählen. In einem Fazit sind schließlich die konzeptionellen Schlußfolgerungen zusammengefaßt und Überlegungen hinsichtlich aktueller Bezugspunkte formuliert(4.).

2.

Die vorausgehenden Arbeiten zur Entstehung des Dieselmotors sind im wesentlichen aus einer Kritik an den ökonomischen und ökologischen Folgeproblemen der bis dahin dominierenden Energietechnik entstanden. Die mit der technischen Nutzbarkeit der Dampfkraft geschaffene künstliche, weithin standortunabhängige Energiequelle galt zwar als eine der zentralen Voraussetzungen für die Industrielle Revolution, doch drohten seit Mitte des 19. Jahrhunderts die technischen, ökologischen und ökonomischen Unzulänglichkeiten der Dampfmaschine die weitere wirtschaftliche Entwicklung zu bremsen. Die Anschaffungskosten dieser Maschinen waren für kleine und mittlere Firmen zu hoch, die Unterhaltung aufwendig und sehr unbequem, die Belästigungen durch die Rauchentwicklung groß und die permanente Gefahr von Kesselexplosionen nicht unter Kontrolle zu bekommen. Bereits seit den frühen 20er und 30er Jahren des 19. Jahrhunderts wurde - neben einer ständigen Verbesserung der Dampfmaschinentechnik - an neuen standortunabhängigen Energietechniken gearbeitet. Heißluftmaschine, Gas- und Benzinmotor sowie schließlich der nach Diesel benannte Hochdruckölmotor repräsentieren Entwicklungsetappen von Wärmekraftmaschinen, deren technischer Ausgangspunkt die "revolutionäre" Verlagerung des Verbrennungsvorgangs in den Arbeitszylinder hinein gewesen war, die sich aber - trotz dieser fundamentalen Differenz zur Funktionsweise der Dampfmaschine - dennoch lange Zeit nicht aus dem "Bann" dieser dominanten Konstruktionslinie zu lösen vermochten (vgl. Mael, 1967: 1ff.).

Rudolf Diesel - wie im übrigen viele seiner technisch interessierten Zeitgenossen - hatte bereits während seiner ersten Berufsjahre als angestellter Eismaschineningenieur an Experimenten zur Konstruktion neuer Kraftmaschinen mit dem Ziel gearbeitet, eine höhere Energieausbeute und damit eine Steigerung der Wirtschaftlichkeit zu erreichen (E. Diesel, 1937: 141). Im Februar 1892 konnte er nach einer längeren Arbeitsphase seine Berechnungen und Vorschläge soweit abschließen, um sie in einer Broschüre unter dem Titel "Theorie und Konstruktion eines rationellen Wärmemotors zum Ersatz der Dampfmaschine und der heute bekannten Verbrennungsmotoren" zu veröffentlichen (R. Diesel, 1893).

Diesel verkörperte mit seinen primär ökonomischen Motiven und einem Verständnis von wissenschaftlich angeleiteter Ingenieurarbeit bereits den "modernen Typus" eines Konstrukteurs, der sich in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts im Kontext einer beginnenden Verflechtung wissenschaftlich-analytischer und technisch-empirischer Arbeit auf der Basis der industriell-kapitalistischen Wirtschaftsordnung entwickelte.

Die hypothetische Gleichsetzung von Dämpfen mit Gasen, "nur um ihnen rechnerisch näher zu kommen" (Diesel, zit. nach Thomas, 1987: 218), bildete den Ausgangspunkt für Überlegungen, die "Verbrennung in hoch gespannter Luft selbst vorzunehmen" (ebenda). Die Konzeption eines rationellen Wärmemotors wurde völlig unabhängig von "technischen Anschlußzwängen" entwickelt, mit denen die Konstrukteure im Motorbau überlicherweise konfrontiert sind. Ob mit den existierenden Materialqualitäten überhaupt eine solcher Motor zu bauen war, interessierte Diesel genauso wenig wie Fragen nach den fertigungstechnischen oder qualifikatorischen Voraussetzungen.

Diesel orientierte sich bei seinen Überlegungen vielmehr an dem von dem Franzosen Sadi Carnot bereits 1824 formulierten "idealen Kreisprozeß", der eine theoretische Energieausbeute von 100% versprach. Der technische Grundgedanke sah vor, daß die hohen Temperaturen im Zylinder nicht durch die Verbrennung, sondern durch die Komprimierung reiner Luft erzeugt werden sollten, so daß durch eine allmähliche Einführung des Brennstoffs der Arbeitsvorgang ohne wesentliche Temperatursteigerung erfolgen und daher auf eine Kühlung des Zylinders verzichtet werden konnte.

Von den praktischen Problemen der Umsetzung also "befreit", kam es Diesel darauf an, diesen Grundgedanken einer adiabatischen Verbrennung mit den Prämissen der angestrebten Leistungs- und Größenordnungen des Motors zu verbinden. Auf der Basis von 250 at und einer Höchsttemperatur von 800 °C würde nach den Berechnungen in einem nur 1/4 so großen Arbeitszylinder ein weitaus höherer Wirkungsgrad als bei der üblichen Dampfmaschine erzielt werden. Die überaus günstigen Werte waren aber nur durch "gewisse Kunstgriffe" (Meyer) zu erzielen, die den angestrebten thermischen Wirkungsgrad auf Kosten einer völligen Vernachlässigung des mechanischen Wirkungsgrades möglich erscheinen ließen. Um den für die günstigen Werte notwendigen Zylinderdruck zu erreichen, waren letztlich aber - so zeigte sich später - Zylinderausmaße erforderlich, die einen so hohen Reibungswiderstand zur Folge hatten, daß die Maschine überhaupt nicht anlaufen konnte (vgl. Meyer, 1913: 7/8).

Diesel strebte mit seinem "rationellen Wärmekraftmotor" nahezu universelle Einsatzmöglichkeiten an. Nicht nur der Einsatz als stationäre Kraftanlage, sondern auch die Verwendung als Lokomotiv- und Schiffsantrieb schien ihm vorstellbar. Er hoffte darüber hinaus, mit seinem neuen Motor einen wesentlichen Beitrag zum Aufbau des Automobilismus sowie zur Motorisierung der Luftfahrt leisten zu können (vgl. Diesel, 1893: 88f.; Siebertz, 1950).

Noch vor der endgültigen Patenterteilung Ende 1892 begann er bereits im Frühjahr desselben Jahres die praktische Umsetzung seiner Motorkonzeption einzuleiten und bat zunächst seinen Direktor, Carl Linde, dessen "hohes Ansehen" und "Autorität" dafür einzusetzen, sein (Diesels) "System wissenschaftlich zu vertreten und um einige Fabriken zu veranlassen", die eingereichten "Vorschläge auf ihre Rechnung auszuführen" (zit. nach Schnauffer, 1958: 312).

Daß sich Diesel in den folgenden Monaten insbesondere an die führenden Maschinenbauunternehmen wandte und nicht schon zu dieser Zeit den Kontakt zum deutschen oder französischen Automobilmotorenbau suchte, lag daran, daß er sich als Vorbild für eine erfolgreiche industrielle Zusammenarbeit an dem von Carl Linde zur Entwicklung seiner Kältemaschinen gegründeten Konsortium mit der Maschinenbaufirma Augsburg sowie den Gebr. Sulzer in Winterthur orientierte (vgl. Linde, 1916: 44). Aus einer solchen Zusammenarbeit erhoffte sich Diesel die besten industriellen Voraussetzungen für den Bau und den Vertrieb seines Motors.

Doch alle angeschriebenen Maschinen- und Motorbauunternehmen reagierten sehr distanziert und lehnten eine Beteiligung am Bau eines solchen Motors mit dem Hinweis auf die völlig praxisfernen Berechnungsgrundlagen ab. Bezeichnend für die damalige Einstellung der Unternehmen war das Ablehnungsschreiben von Eugen Langen, Direktor der Deutzer Gasmotorenfabrik, die kurze Zeit vorher den Viertakt-Verbrennungsmotor zur Serienreife entwickelt hatte. Langen gestand zwar ein, daß der "Gegenstand... (seine) ganze Aufmerksamkeit gefunden" habe und daß er mit seinen Kollegen in der Direktion "vollständig einig" (sei), daß, was Sie erstreben, ganz gewiß theoretisch richtig ist". Er wandte aber dennoch ein, daß er "als erfahrener Praktiker erhebliche Bedenken bezüglich der Ausführungs- und Durchführungsfähigkeit dieser Anschauung habe; Erfahrungen mit Maschinen, welche 300 Touren machen, über 200 Atmosphäre Spannung beherbergen, dabei in kaum meßbarer 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).

Die Situation in der Motorenbauindustrie war zum damaligen Zeitpunkt offenbar einerseits durch Ungewißheit darüber gekennzeichnet, welche Option - Verbrennungsmotor, Gas- bzw. Dampfmaschine oder Elektromotor - die größeren technischen und wirtschaftlichen Entwicklungspotentiale besitzen

werde. Andererseits prägte eine ausgesprochene "Dominanz der Werkstatt" das Denken und Handeln der unternehmerischen Planungen. Man zeigte wenig Neigung, sich vom eigenen Erfahrungshorizont zu lösen und neue technische Optionen ins Kalkül einzubeziehen (vgl. als Überblick Mauersberg, 1966). Zur allgemeinen Unsicherheit trug das Abflauen der Wirtschaftskonjunktur noch zusätzlich bei, von der insbesondere die Investitionsgüterindustrie betroffen war (vgl. Thomas, 1987: 122). Vor allem im Dampfmaschinengeschäft gingen die Verkaufszahlen stark zurück. Obwohl diese Technik aufgrund ihres extrem niedrigen thermischen Wirkungsgrades sowohl aus der Perspektive wissenschaftlicher Forschungen der Thermodynamik als auch aus dem Blickwinkel kleinerer Unternehmen kritisiert wurde, zeigten die eingesessenen Dampfmaschinenunternehmen offenbar sehr große Scheu, sich mit den vorhandenen technischen Alternativen der Krafterzeugung auseinanderzusetzen. Der in diesen Betrieben vorherrschende Konstruktionsstil konzentrierte sich vielmehr darauf, die Dampfmaschine als eine einmal etablierte energietechnische Entwicklungslinie im Rahmen der - freilich recht begrenzten- technischen Möglichkeiten den veränderten Anforderungsprofilen anzupassen (vgl. Schöttler, 1884: 28). Die im Maschinenbau erfahrenen und mit hoher fertigungstechnischer Kompetenz ausgestatteten Betriebe waren damit für neue Konstruktionsideen kaum zugänglich. Zur industriellen Entwicklung neuer Energietechniken - wie eben bspw. gas- oder benzinbetriebene Verbrennungsmotoren mußten deshalb auch gleich neue Unternehmen und Betriebsstätten gegründet werden, die neben den mangelhaften fertigungstechnischen Voraussetzungen auch mit den betriebswirtschaftlichen Anfangsschwierigkeiten zu kämpfen hatten.

In der Geschäftsleitung der Maschinenfabrik Augsburg entwickelte man in dieser Phase ebenfalls nur wenig Initiative zur Erarbeitung eigener Ideen für neue Kraftmaschinentypen. Die Begutachtung externer Konstruktionsideen übertrug man zu dieser Zeit den zuständigen Abteilungen, deren Einschätzungen im allgemeinen auch als Entscheidungsgrundlage für die Geschäftsführung dienten. Da der von Diesel zur Entwicklung vorgeschlagene Motor ja nur "auf Papier" existierte, wurden die Entwicklungs- und Durchsetzungschancen auf der Basis gesammelter Erfahrungen mit den herkömmlichen Motortypen begutachtet. Für die verantwortlichen Herren der Dampfmaschinenabteilung hatte sich Diesel bei der Konzeption seines neuen, rationellen Wärmemotors aber ganz offenkundig zu weit von den im täglichen Umgang mit den Dampfmaschinen und den von Verbrennungsmotoren her bekannten Erfahrungswerten abgesetzt. War diese Distanz einerseits eine Grundvorausset-

zung, um überhaupt durch neue Kombinationen wissenschaftlich-technischer Arbeitsmethoden mit wirtschaftlichen Kalkülen zu originellen (Teil-)Lösungen zu gelangen, ließ diese Abweichung vom "herrschenden Stand der Technik" auf der anderen Seite eine nur schwer überwindbare Akzeptanzbarriere bei der industriellen Entwicklung und Fertigung des Motors entstehen. Während für die Dampfmaschinenbauer und Ingenieure der Verbrennungsmotoren in den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts aus ihrer praktischen Erfahrung heraus die Welt über 5-6 at Zylinderdruck "zu Ende war", hatte sich diese Form der Begrenzung für Diesel ja überhaupt nicht gestellt. Wenn auch Diesel sehr schnell erkennen mußte, daß seine theoretischen Schlußfolgerungen technisch nicht adäquat umzusetzen waren, gelang es ihm später - von der Unternehmensleitung der Augsburger Maschinenfabrik materiell und legitimatorisch unterstützt -, festgefügte und keiner kritischen Bewertung mehr unterzogene Erfahrungswerte im Konstruktionsprozeß aufzulösen und damit weitere Entwicklungsoptionen zu erschließen (vgl. Meyer, 1913: 10f.).

Probleme entstanden in der frühen Entwicklungsphase des Motors in der Tat vor allem dadurch, daß für die hohen Temperaturen und Druckverhältnisse vollkommen neue Ansprüche an die Materialqualität von Zylinder, Dichtungen, Kolben und Pleuel gestellt wurden, die mit den bisher aus der Dampfmaschinentechnik bekannten Fertigungsverfahren nicht erreicht werden konnten. "Trotz der an sich für damalige Zeiten mustergültigen Konstruktions- und Werkstättenarbeit der Maschinenfabrik Augsburg mußte man für den Dieselmotorenbau in vieler Beziehung neu lernen. Gelang es doch damals weder der Maschinenfabrik Augsburg noch einem einzigen Lizenznehmer, einen einigermaßen dichten Kolben herzustellen. Der Maschinenbau stand damals 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).

Vor dem Wissens- und Erkenntnishintergrund der Dampfmaschinenkonstruktoren mußte daher ein solcher Hochdruckölmotor in der Tat als vollkommen undurchführbar erscheinen, zumal der erste Versuchsapparat in Augsburg - gebaut mit den aus der Dampfmaschinentechnik bewährten Konstruktionselementen - recht spektakulär explodierte (vgl. E. Diesel, 1937: 180ff.).

In dieser Situation sah sich Diesel unversehens mit einer breiten ablehnenden Haltung konfrontiert, die das Projekt seines rationellen Wärmemotors ernsthaft gefährdete. Offenbar wurden neue ökonomische und ökologische Anforderungen für die dezentrale Energieerzeugung im Maschinen- und Motorenbau quasi durch die "Brille" vorhandener Konstruktionen und Konstruktionselemente der hier arbeitenden Techniker und Ingenieure wahrgenommen;

bereits formalisiertes und gespeichertes Wissen strukturierte und filterte die Suche nach neuen geeigneten Lösungswegen, vergleichbar einer "normativen Kraft des Faktischen" und bildete eine nur schwer zu überwindende Hürde für neue technische Lösungswege: "Adoption of a new system implies not just a new device but also a new value system, a new set of criteria by which technology is judged" (Constant II, 1980: 18).

Als sich Diesel zu Konzessionen im Entwicklungsprogramm bereitfand, bei der projektierten Größe und dem Versuchsprogramm zur Erkundung unterschiedlicher Brennstoffe von ursprünglichen Entwürfen abwich und darüber hinaus noch persönliche Verbindungen zum Direktor der Maschinenfabrik aktivierte, zeigte sich die Geschäftsleitung in Augsburg - offenbar gegen das Votum der Dampfmaschinenabteilung - schließlich doch noch bereit, einen ersten Versuchsmotor nach den Plänen Diesels zu bauen und zu testen. Entscheidend für die schließlich doch erteilte Zusage dürfte gewesen sein, daß es Diesel gelang, mit Zeuner, Linde und Schröter gleich drei anerkannte wissenschaftliche Autoritäten der Thermodynamik als überaus positiv gestimmte Gutachter für seinen Motor einzuspannen (vgl. Schnauffer 1958: 313f.).

In der folgenden vierjährigen Entwicklungsphase wurden in Augsburg weitere Abweichungen von den ursprünglichen Plänen Diesels beim Bau mehrerer Versuchsmotoren durchgesetzt. War Diesel in seiner ursprünglichen Konzeption noch von drei miteinander verbundenen Nieder- und Hochdruckzylindern ausgegangen, die mit gasförmigen, flüssigen und festen Brennstoffen betrieben werden sollten, konzentrierte man sich im ersten Versuchsprogramm auf den Bau einer einzylindrigen Maschine, deren projektierte Leistungsdaten wesentlich geringer waren als von Diesel geplant.

Die Konstruktionsarbeiten wurden zudem von heftigen Auseinandersetzungen beeinträchtigt, als sich immer mehr abzuzeichnen begann, daß die Maschinenfabrik Augsburg primär an einem Einsatz des neuen Motors im bisher von großvolumigen Dampfmaschinen beherrschten Marktsegment interessiert war. Mit dieser Einschränkung in den Verwendungsmöglichkeiten mußte Diesel aber befürchten, daß wesentliche, von ihm gewünschte Motoreigenschaften erst gar nicht als Optionen ins Versuchsprogramm aufgenommen würden und die Entwicklung auf eine ortsfeste und langsam laufende Kraftmaschine hinausliefen.

Als frühe Versuche, den Brennstoff in den Zylinder einzuspritzen, keinen Erfolg zeigten und man sich daher auf eine unhandliche Kompressoranlage zum Einblasen des Brennstoffs beschränken mußte, stellte dieser "Umweg" zwar für Diesel ein sehr großes Handikap dar - waren damit in seinem Sinne

doch erhebliche Nutzungseinschränkungen verbunden -, nicht aber für die Maschinenfabrik Augsburg, da den ortsfesten Maschinen mit der Kompressoranlage keine großen Nachteile drohten. (Sieht man einmal davon ab, daß die ersten Kompressoren, die immerhin mit Verdichtungen von über 60 at arbeiteten, häufig explodierten und schwere Unfälle verursachten (vgl. Thomas, 1987:170ff).)

Diesel schwebten bei der Entwicklung immer noch ganz unterschiedliche Einsatzgebiete vor, und er hoffte, daß die Eigenschaften seines neuen Motors vor allem für mobile Verwendungen besonders attraktiv sein würden. "Immer wieder pries ...(Diesel) den sehr geringen Verbrauch nicht feuergefährlichen Brennstoffs, die Regulierfähigkeit des Motors, den geräusch-, geruch- und rauchlosen Betrieb, den geringen Verbrauch an Kühlwasser, das Fehlen von Vergaser- und Zündvorrichtung" an (E. Diesel, 1955: 15), mußte dabei aber die mit der unhandlichen Kompressoranlage verbundenen Nachteile verschweigen.

Der in Deutschland erst "in den Kinderschuhen" steckende Automobilverkehr, der sich im Nachbarland Frankreich bereits großer Popularität erfreute, spielte als möglicher Absatzmarkt für Motoren in den Planungen der etablierten Maschinenbauunternehmen offenbar keine Rolle. In der Deutzer Gasmotorenfabrik war nach dem Ausscheiden Daimlers und Maybachs die Entwicklung zu kleinen mobilen Benzinmotoren nicht mehr weitergeführt worden. Die im Dampfmaschinengeschäft tätige Maschinenfabrik Augsburg zeigte kein Interesse für Motoren, die in Automobilen hätten eingesetzt werden können, während der an der Augsburger Dieselmotorentwicklung finanziell beteiligte Krupp-Konzern primär an der Verwertung der im Verhüttungsprozeß anfallenden Generator- und Hochofengase interessiert war (Brandenburg, 1963: 4). "Die damaligen Dieselmotorenfabriken (standen) dem Automobilbau (daher) überhaupt ganz fern... So gehörten zweifellos auch die Struktur der Lizenzwerke (MAN und Krupp- A.K.) und die Mentalität ihrer Leiter und Ingenieure, denen der Automobilbau fern lag, mit zu den Ursachen, daß die Idee des Diesel-Automobils gar nicht weiter verfolgt wurde und der Dieselmotor zu Unrecht in den Ruf kam, für den Motorwagen grundsätzlich nicht brauchbar zu sein" (E. Diesel, 1955: 23).

Als nach mehreren Umbauten der Maschine endlich Motorleistungen gemessen werden konnten, nahm Diesel die Gelegenheit wahr, auf der Jahrestagung des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) 1887 in Kassel, unterstützt durch die wissenschaftliche Autorität Schröters und begleitet vom Direktor der Maschinenfabrik Augsburg, H. Buz, den Motor der Fachöffentlichkeit zu

präsentieren. Die Resonanz war entsprechend, insbesondere wurde das Interesse durch die Aussagen Schröters belebt, daß der Motor ganz neue Maßstäbe im Wirkungsbereich und damit im Verbrauch von Brennstoffen setzen werde. Mehrere Firmen im In- und Ausland kündigten Bestellungen an, Maschinen- und Motorenbauer erwogen den Erwerb von Lizenzen. Nur kurze Zeit später zeigte sich aber, daß die Freude am neuen Motor verfrüht war. Der erste ausgelieferte Motor, der in der Kemptener Zündholzfabrik zum Einsatz kam, funktionierte im Routinebetrieb überhaupt erst nach mehrmaligen Umbauten. Die in Erwartung eines "Dieselbooms" unter der Regie Augsburger Finanzkreise gegründete "Dieselmotorenfabrik AG" mußte alle ihre ausgelieferten Motoren wegen mangelnder Funktionsfähigkeit wieder zurücknehmen und meldete wenige Jahre später Konkurs an. Selbst die "Allgemeine Gesellschaft für Dieselmotoren", von Krupp, MAN sowie Diesel als Patentverwertungs- und Studiengesellschaft gegründet, hatte erhebliche Wertverluste des eingesetzten Kapitals zu erleiden und wurde ebenfalls wenige Jahre nach Gründung wieder aufgelöst.

In den ersten Jahren des 20. Jahrhunderts waren daher nur wenige Dieselmotoren im Routinebetrieb zu finden, und alle vormals interessierten Firmen hatten sich von der Entwicklung und dem Bau des neuen Motors - nicht zuletzt auch wegen der restriktiven Lizenzpolitik Diesels - wieder zurückgezogen (vgl. Thomas, 1987: 170ff.).

Allerdings standen der Durchsetzung dieses neuen Motors noch andere, infrastrukturell begründete Probleme im Wege. Auf Betreiben der heimischen Montanindustrie war in Deutschland der Import von Erdöl mit hohen Steuern belegt, die den Brennstoff für den Dieselmotor entsprechend verteuerten und daher die wirtschaftlichen Vorteile der Maschine wieder zunichte machten. Aber nicht nur der hohe Preis des Rohöls behinderte die Ausbreitung des Motors, auch die Qualität des daraus produzierten "Gasöls" fiel extrem unterschiedlich aus, so daß die Einblasvorrichtung, die sich sowieso schon als "Achillesferse" des Motors entpuppt hatte, die Konstrukteure immer wieder vor große Probleme stellte (vgl. Thomas, 1987: 172).

3.

Bei der Vorstellung des neuen Motors auf der VDI-Jahrestagung in Kassel war deutlich geworden, daß auf der Basis der Ideen Diesels in der Maschinenfabrik Augsburg eine stationäre, langsam laufende Kraftmaschine entwickelt worden war. Nicht nur die technischen Eigenschaften ließen deutlich erkennen, daß als Leitbild für die Entwicklungen des neuen Motors mehr die "Dampfmaschine des 20. Jahrhunderts" im Mittelpunkt gestanden hatte. Schon allein die enormen Ausmaße des ersten Dieselmotors von über zwei Metern Höhe sprachen gegen mobile Verwendungsformen, insbesondere in Personenfahrzeugen. Für die Dampfmaschinentechnik charakteristische Konstruktionselemente - wie etwa der Kreuzkopf - fanden sich auch beim neuen Dieselmotor wieder, obwohl auf diese der Stabilität bei den großvolumigen Dampfmaschinen dienenden Befestigungseinrichtungen durchaus hätte verzichtet werden können (vgl. Meyer, 1913: 40f.).

In der anschließenden Entwicklungsperiode sollte sich in der Tat zeigen, daß der Augsburger Motor den "materialisierten" Abschluß eines Suchprozesses markierte, in dem als "technischer Kern" eine schwere, ortsfeste, mit Kompressoranlage arbeitende Maschine definiert worden war. Die Anordnung der Elemente als Ergebnis von Auswahl- und Eliminierungsentscheidungen Augsburger Firmeninteressen war nun anerkannter "Stand der Technik", dessen Selektionskriterien "versteckt" als Informationsfilter die weiteren Entwicklungen beeinflussen sollten.

Den Hintergrund einer solchen Annahme bildete eine im ausgehenden 19. Jahrhundert erkennbare Konsolidierung der Konstruktionsentwicklung, die der Ingenieur Güldner "im seinerzeit besten Lehrbuch" (Sass, 1962: 598) unter dem Motto "Weniger erfinden - mehr konstruieren" zusammenfaßte. Das Ärgernis einer "zersplitternden Vielgestaltigkeit ...(der) Ausführungsformen" und ein besonders "entarteter Erfinderehrgeiz" sei nun durch die "innere Gesundung des gegenwärtigen Motorenbaus" abgelöst worden und "an seine Stelle ...eine planmäßige Durchbildung und Vervollkommnung derjenigen Ausführungsarten getreten, die sich aus dem Wust vergangener Zeiten erhalten und ... zu Grundformen entwickelt haben" (Güldner, 1905: 191). Die Augsburger Maschinenfabrik äußerte sich über ihre Leitlinie der weiteren Motorentwicklung rückblickend in ähnlicher Weise: "Das Diesel-Verfahren ist 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, 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 Diesel-Patente praktisch anwenden" (Mitteilungen, 1941: 11).

Offenbar war man in den wissenschaftlich-technischen Vereinen und den Unternehmen gleichermaßen daran interessiert, die eingeführten Entwicklungslinien und Konstruktionsweisen zu stabilisieren und die für "Pionierphasen" charakteristischen Erscheinungen des Auftauchens immer wieder völlig neuer Funktionsweisen und Konstruktionsmerkmale zu überwinden (vgl. bspw. Winkler, 1921: 536).

Dennoch ließen sich einige Firmen durch die Kasseler Präsentation des Motors zu Überlegungen inspirieren, ob sich ein Hochdruckölmotor nicht doch für die Verwendung im Automobilgeschäft eignen würde.

Insbesondere in Frankreich, aber auch in Deutschland wurden zu dieser Zeit verschiedene Techniken der Energieerzeugung auf ihre mobile Verwendungs-tauglichkeit untersucht. Bereits 1886 "kutschierten" Maybach und Daimler in einem Vehikel, daß von einem Viertakt-Ottomotor angetrieben wurde. Als Antriebsaggregate in Wagen erprobte man zu dieser Zeit Dampfmaschinen in kompakter Bauweise, Verbrennungs- sowie Elektromotoren. Welches System sich letztlich durchsetzen sollte, war zu dieser Zeit noch längst nicht entschieden. In den USA waren zwar 1895 von 80 mechanisch angetriebenen Wagen 50% mit Verbrennungsmotoren und nur 13% mit Dampfmaschinen ausgestattet, während 17% mit Elektromotoren fuhren, doch änderte sich dieses Verhältnis bereits wenige Jahre später. Nachdem in Paris ein stromlinien-verkleidetes Automobil mit Elektromotor einen neuen Geschwindigkeitsrekord erzielte, stieg bis 1900 der Anteil mit einem Elektromotor ausgestatteter Wagen auf 40%, der Verbrennungsmotor war nur noch in 20% der Automobile zu finden (zit. nach Eckermann, 1981: 60). Besonders bemerkenswert ist, daß die frühen Autowettfahrten, die insbesondere in Frankreich zur Steigerung der Popularität des Automobils veranstaltet wurden, sich nicht nur auf die Schnelligkeit als zentrales Kriterium der Leistungsbewertung konzentrierten. Bei einem Wettbewerb, der 1894 zwischen den Städten Paris und Rouen ausgetragen wurde, zählten neben der erreichten Geschwindigkeit auch Sparsamkeit, Bequemlichkeit und Sicherheit. Der als schnellster Wagen ins Ziel kommende 20PS-Dampfwagen mußte daher in der Endabrechnung einem Automobil mit Benzinmotor den Sieg abtreten (vgl. Eckermann, 1981:52).

Im Sommer 1897 wurde die Wiener Kutschenfabrik Lohner & Co bei der Suche

nach geeigneten Antriebsformen für Kraftdroschken auf den Dieselmotor aufmerksam und begann, Verhandlungen mit Diesel aufzunehmen. Wenig später entschloß sich Anton Rieppel, Direktor der Nürnberger Maschinenbauaktiengesellschaft, auf Initiative seines Beraters, dem Berliner Ingenieur Adolf Klose, zum Bau eines Fahrzeugdieselmotors (vgl. E. Diesel, 1955: 17f.). Ebenfalls noch 1897 wurde in Berlin der "Mitteleuropäische Motorwagen-Verein" gegründet, dem neben Klose, Rieppel, Rathenau auch Rudolf Diesel angehörten und der zur Werbung des Automobilgedankens beitragen sollte, ohne daß sich aber zu dieser Zeit bereits auf einen Motorentyp festgelegt wurde (vgl. Der Motorwagen, 1, 1898 S.3f.).

Die Augsburger Entwicklungsphase hatte offenbar den Dieselmotor in seinen technischen Eigenschaften so sehr geprägt, daß alle Versuche, den Motor auf der Basis der Augsburger Maschine zu einem kleineren Schnellläufer weiterzuentwickeln, scheiterten. Der Kutschenhersteller Lohner beispielsweise wandte sich ganz vom Verbrennungsmotorenbau ab und entschloß sich, in seine neuen Kraftdroschken Elektromotoren einzubauen (vgl. Hütten, 1988: 64).

Die sich in der Automobiltechnik engagierenden kleinen und mittleren Unternehmen hatten ihre Konstruktionsarbeiten auf einen Motortyp konzentriert, da sie weder über die betriebswirtschaftlichen noch über die technischen Voraussetzungen verfügten, im "vorindustriellen Wettbewerb" mehrere Konstruktionslinien parallel zu entwickeln und optional einzusetzen.

Nach dem Auslaufen der Dieselpatente im Jahr 1908 - die Automobilkonjunktur hatte sich stabilisiert - belebten sich die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wieder. Zunächst vom Aufsichtsrat der Deutzer Gasmotorenfabrik beauftragt, begann Prosper L'Orange mit Entwicklungsarbeiten an einem schnellaufenden Dieselmotor, die er kurze Zeit später bei Benz & Cie fortsetzte. Aber offenbar zeigten die Versuche, mittels einer Vorkammer die Brennstoffzufuhr zu regeln, kaum erkennbare Fortschritte. Entwicklungsleiter L'Orange dämpfte selbst immer wieder Erwartungen, was offenbar darauf zurückzuführen war, daß er - mittlerweile Leiter des stationären Dieselmotorenbaus - befürchtete, daß "durch die Nutzung der Dieselmotoren für Fahrzeugantriebe ...die Preise für Schweröl anziehen (könnten)" und dadurch mit einem "Kostenanstieg und (weiteren) nachteiligen Folgen für den Betrieb von ortsfesten Motoren" zu rechnen wäre (Barthel/Lingnau, 1986: 92).

Rudolf Diesel selbst, dessen Verhältnis zur Augsburger Maschinenfabrik unterdessen merklich abgekühlt war und mit der er sich sogar im Rechtsstreit befand (Thomas, 1987: 186ff.), begann sich 1907 über Kontakte mit der schweizer Automobilfirma SAFIR und dem Konstrukteur H. Dechamps wieder konkreter mit der Weiterentwicklung eines schnellaufenden Motors zu beschäftigen. Allerdings scheiterten auch die schweizer Versuche, einen 42 PS starken Ottomotor "einfach" zu einem Fahrzeugdiesel umzubauen (E.Diesel, 1955: 27f.).

Die frühe Entwicklung des Motorenbaus wurde aber nicht nur vom Einsatz im Automobilverkehr belebt und beeinflusst. Gerade in Deutschland setzte nämlich nur eine sehr schleppende Motorisierung des Individualverkehrs ein: Während der gesamte Kraftfahrzeugbestand 1914 beispielsweise in den USA 1,3 Mio., in England 245.000 und in Frankreich 100.000 Einheiten betrug, wurden in Deutschland nur 65.000 motorisierte Fahrzeuge registriert (vgl. Eckermann, 1981: 81). Diese Relationen änderten sich im übrigen auch in der Zeit zwischen den beiden Weltkriegen nicht (vgl. Hütten, 1988: 79)! Um die Jahrhundertwende übte daher die gleichzeitig einsetzende Motorisierung der Luftfahrt - in Deutschland als nationale Aufgabe begriffen und nahezu enthusiastisch begleitet (vgl. Reinicke, 1989) - einen möglicherweise bedeutenderen Einfluß auf die Konstruktionsentwicklung im Motorenbau aus als der Automobilverkehr in dieser Zeit. Diese neuen Verwendungsmöglichkeiten ließen aber die technischen Hürden noch höher werden, die Forderungen nach einem optimaleren Leistungsgewicht fielen noch drastischer - und für den Dieselmotor noch ungünstiger - aus. Seit dem tragischen Absturz Otto Lilienthals hatten sich in Deutschland alle Anstrengungen auf den Luftschiffbau konzentriert, dessen Promotoren nun die Konstrukteure und Unternehmen des Motorenbaus zu immer kleineren und leistungsfähigeren Motoren drängten (vgl. Wissmann, 1979: 272f./290ff). Immer häufiger wurden zwischen Luftschiffbau und Motorenindustrie gemeinsame Entwicklungsprojekte ins Leben gerufen. Wilhelm Maybach, maßgeblicher Konstrukteur des ersten "wirklichen Automobils", des Mercedes, gründete nach unüberbrückbaren Differenzen mit der Daimler-Motoren-Gesellschaft sein eigenes Unternehmen in unmittelbarer Nähe zur Zeppelinwerft in Friedrichshafen (vgl. Hütten, 1988: 79, 74 und 101; Sass, 1962: 357ff.). Auch Diesel hatte bereits im Frühjahr des Jahres 1900 dem Grafen Zeppelin seine Dienste angeboten und darauf hingewiesen, daß er sich mit leichten, für den Luftschiffbau geeigneten Motoren beschäftigen werde (vgl. E. Diesel, 1937: 304). Doch kam außer Diesel offenbar niemand auf die Idee, die in Augsburg entwickelte

Maschine in die engere Wahl für mögliche Einsätze in der Luftschiffahrt einzubeziehen, und demzufolge liefen die Forschungsanstrengungen in diesem Kontext weitgehend am Dieselmotor vorbei. Erst sehr viel später, Mitte der 20er Jahre, begannen die Junkers-Werke mit dem Bau eines Zweitakt-Dieselmotors für Flugzeuge (Constant II, 1980: 137f.).

Die erneuten Anläufe, dem Motor breitere und lukrativere Einsatzmöglichkeiten durch eine Erweiterung der technischen Eigenschaften zu eröffnen, scheiterten weiterhin an Problemen einer elastischen Brennstoffzuführung auch für hohe Drehzahlbereiche. Rudolf Diesel selbst, der sich wegen seiner fehlgeschlagenen Versuche während der frühen Augsburger Entwicklungsjahre sehr strikt gegen weitere Experimente mit Einspritzanlagen aussprach, hat "sicherlich durch seine Autorität manche Hemmungen auf dem Weg zur luftlosen Einspritzung heraufbeschworen" (E.Diesel, 1955: 32).

Obwohl auch die Maschinenbauunternehmen, die schon sehr früh den Bau und die Entwicklung stationärer Dieselmotoren aufgenommen hatten, die Weiterentwicklung zu höheren Drehzahlen, kleineren Ausmaßen und damit niedrigerem Gewicht als technische Voraussetzungen für das Eindringen in lukrativere Marktsegmente einschätzten, zeigte man wiederum wenig Neigung, die eingeschlagenen Entwicklungspfade zu verlassen. Als der Leiter der englischen Vickers-Werke, James McKechnie, im Jahr 1910 eine neukonstruierte Pumpe der Öffentlichkeit vorstellte, die es ermöglichte, den Kraftstoff einzuspritzen und zu zerstäuben statt einzublasen, ignorierte man in Deutschland diesen Entwicklungsbeitrag. "Unerklärlicherweise ... verharrte man lieber bei der Lufteinblasung" (Eckermann, 1981: 121). MAN - so nannte sich die Maschinenfabrik Augsburg mittlerweile nach ihrer Fusion mit der Nürnberger Maschinenbauaktiengesellschaft -, die 1908 bereits den Dampfmaschinenbau aufgegeben und sich ganz auf die weitere Entwicklung des Dieselmotors konzentriert hatte, verzichtete bei der Vorstellung ihrer ersten Lastkraftwagen im Jahre 1915 lieber ganz auf den Einbau von Dieselaggregaten und rüstete die Wagen zunächst mit benzinbetriebenen Verbrennungsmotoren aus!

Walter Ostwald hat die Arbeiten zur Lösung der Brennstoffzuführung in dieser Zeit als "geradezu tragisch" bezeichnet, weil sie sich immer noch an den Leitvorstellungen des späten 19. Jahrhunderts orientierten. "Rudolf Diesel mußte mit der Lufteinblasung zerteilen und verteilen, weil ihm die technischen Mittel fehlten, es anders zu machen. Anfang der 20er Jahre hatte man endlich die technischen Mittel, es besser zu machen und - verfolgte blind das alte fehlerhafte Ziel - weitere 25 Jahre lang! (Ostwald,

1956: 15). Dem bis dahin herrschenden Verfahren lag die Überlegung zugrunde, mittels einer dreistufigen Lufteinblasung des Brennstoffs die "winzigen Mengen Kraftstoff nicht nur genau abzumessen, sondern so fein zu zerteilen, daß die Reaktionsfläche ... (sich erheblich erweiterte), und die feinen Tröpfchen nach Möglichkeit gleichmäßig in der Luftladung verteilt" werden (ebenda).

In diesem Problembereich konnte man sich erst nach dem Zweiten Weltkrieg aus dieser "Konstruktionstradition" befreien und eine grundlegende Wandlung in der motorischen Dieselerbrennung durch den bei MAN konstruierten M-Motor einleiten. Durch eine tropfenartige Vertiefung im Kolbenboden sowie eine völlige Neugestaltung des Verbrennungsraumes und der Saugkanäle waren die technischen Voraussetzungen dafür geschaffen worden, daß durch ein verzögertes Verspritzen des Kraftstoffes ein Glutwirbel erzeugt werden konnte, der die bisherige Einspritzphilosophie praktisch umkehrte: weil der Kraftstoff nur so schwer in die hochkomprimierte Luft einzublasen oder einzuspritzen war und daher nicht schnell genug verteilt werden konnte, führten diese Erfahrungen zur "revolutionären" Methode, auf die Verteilung des Kraftstoffs in der Verbrennungsluft weitgehend zu verzichten und zur Gemischbildung "den umgekehrten Weg einzuschlagen, die Luft zum Kraftstoff zu bringen" (Hütten, 1988: 196; Ostwald, 1956: 16).

Erst im Jahre 1935 konnte Daimler-Benz mit dem "260D" zum ersten Male einen gebrauchstauglichen Personenwagen mit Dieselmotor der Öffentlichkeit vorstellen, nachdem Mitte der 20er Jahre MAN und das Werk Marienfelde der Daimler-Motor-Gesellschaft erstmals dieselbetriebene Lastkraftwagen auf Automobilausstellungen gezeigt hatten. Obwohl mit dem "Dorner Ölmotorwagen" bereits ein einsatzfähiges Kleinauto mit Dieselmotor zur Verfügung gestanden hatte, konnte der Dieselmotor in den 20er und 30er Jahren in der Automobilindustrie keine Rolle spielen. Selbst in der beginnenden Kampagne für ein deutsches "Volksauto" wurde der Dieselmotor noch nicht einmal als eine mögliche technische Option diskutiert (vgl. Betz, 1931), obgleich diese Antriebstechnik durch ihren vergleichsweise günstigen Wirkungsgrad, den dadurch bedingten niedrigen Verbrauch und die einfache technische Grundkonstruktion gute Voraussetzungen für eine wirtschaftliche Produktion und Betrieb mit sich brachte. Doch der "Umweg" von einer stationären Kraftanlage über schwere Lastkraftwagen brachte dem Motor offenkundig selbst bei Ingenieuren immer wieder das Image ein, für die mobile Verwendung als hochtouriger und leichter Motor nicht tauglich zu sein.

4.

Die Geschichte des Fahrzeugdieselmotors - so die grundlegende These dieser Ausführungen - ist in seiner technischen und wirtschaftlichen Entwicklungsfähigkeit entscheidend durch den ersten Dieselmotor, einer in der Maschinenfabrik Augsburg als technische Fortführung der Dampfmaschinenlinie gebauten, ortsfesten, langsam und kontinuierlich laufenden Kraftmaschine geprägt worden. Die Selektionskriterien der Augsburger Entwicklungsphase haben die qualitativen Möglichkeiten des Fahrzeugdieselmotors auf Jahrzehnte hinaus festgeschrieben. Dies unterstreicht die Vermutung, daß in der Phase der Technikerzeugung, der "Technikgenese", durch die Definition der Forschungs- und Entwicklungskriterien sich ein "technischer Kern" materialisiert, der auch den kognitiven Bezugspunkt für alle nachfolgenden Arbeiten bildet. Damit werden aber für spätere Konstruktionsphasen Entwicklungskorridore formuliert, die nur noch begrenzte Modifikationen in anschließenden Entwicklungsphasen erlauben.

Dieses Verständnis von Technikentwicklung steht freilich in einem schroffen Gegensatz zur populären Meinung des "überfallartig" auf uns zurollenden technischen Fortschritts, dessen Verlaufsmuster der Wissenserzeugung, Wissensverwertung und Wissensentwertung sich in immer kürzeren Zyklen abzuspielen scheinen.

Möglicherweise ist diese Vorstellung aber allzu sehr auf äußere Phänome des technischen Wandels - auf die "Benutzeroberfläche" - bezogen, ohne die der Wissens- und Technikerzeugung unterliegenden kognitiven und sozialen Strukturen zu beachten und ohne die herausragende Bedeutung des "herrschenden Standes der Technik" als die zentrale Bezugsgröße technischen Handelns zu erlassen.

Die Entwicklung des Dieselmotors allgemein und die des Fahrzeugdieselmotors insbesondere zeigt eine sehr kontinuierliche Konstruktionstendenz, die sich immer an bereits verwirklichten Konstruktionselementen orientiert und nur sehr begrenzt und kontrolliert neue Elemente einführt.

Diese Beobachtungen aus der Dieselmotorenentwicklung stehen im übrigen keineswegs in Kontrast zu generellen Erkenntnissen über technisches Handeln. Die Ingenieurwissenschaften - vor allem die Konstruktionswissenschaften - , die seit den 20er Jahren immer wieder damit beschäftigt sind, die Denkprozesse und Verhaltensweisen bei der technischen Problemlösung zu analysieren und besonders erfolgreiche Verfahrensformen zu standardisierten Verhaltensmustern zusammenzufassen (vgl. bspw. Albrecht, 1970; Hubka, 1974; Wörgerbauer, 1943), bestätigen in ihren empirischen Studien die ausgeprägte

Neigung der Ingenieure, den realisierten "Stand der Technik" als kognitive Bezugsgröße zu nutzen (vgl. als Überblick für die Zeit zwischen 1917-1936 Paulsen, 1988). Die technische Problemlösung zeigt insofern ausgeprägte "konservative Züge", als die Grundlage für neue technische Aufgaben immer bereits schon verwirklichte Lösungselemente sind. Diese Verhaltensweise dient offensichtlich dazu, in erster Linie die Funktionstüchtigkeit neuer Geräte sicherzustellen. Während in der wissenschaftlichen Arbeit der Umgang mit steigenden Komplexitätsgraden als Qualitätskriterium Anerkennung findet, bedrohen vielschichtige und unübersichtliche Anforderungen die Funktionsfähigkeit technischer Artefakte oder technischer Systeme und berühren damit den zentralen Nerv der Reputationsregeln von Technikern und Ingenieuren. Durch eine enge Anbindung an bereits bewährte Verfahrensweisen und eine sehr kontrollierte Übernahme neuer Erkenntnisse wird zwar eine konstruktive Sicherheit gewonnen, die aber mit einem offenkundig bewußt in Kauf genommenen Verlust an Originalität der Ausführung bezahlt werden muß. Es kann vermutet werden, daß solche "kognitiven Orientierungsmuster", als eine Art "Filter" wirken, diese bereits in der Konzeptionsphase den Gedankengang und die Phantasieentwicklung stark an die bestehenden Realitäten "zurückbinden" und auch für völlig neue Aufgabenstellungen bindend wirken. "Warum nahmen Benz und Daimler für ihre ersten Fahrzeugmotoren Benzin und warum rutschte Diesel von seinem Kohlenstaubziel zum Gasöl ab? In beiden Fällen wurde der Bestwert zwischen damaliger technischer Bequemlichkeit, Beschaffenheit und Billigkeit gesucht". Hätten aber diese Konstrukteure - so führt Ostwald seine Überlegungen fort - ihre Arbeiten im Deutschland der 30er Jahre entwickelt, wären aufgrund der Versorgungssituation sowie der politischen Vorgaben ganz andere Kraftstoffe für Motoren in die Entwicklung einbezogen worden (Ostwald, 1935: 208). Die technischen Entscheidungen der frühen Motorenentwicklung reflektieren daher die ökonomische und soziale Situation des ausgehenden 19. Jahrhunderts, schreiben diese Kontexte in die Konstruktion der technischen Artefakte ein, ohne daß diese "geronnenen" Strukturen bei veränderten sozialen und politischen Kontexten wieder zu "verflüssigen" wären. Dadurch, daß die Orientierung am "herrschenden Stand der Technik" als eine "faktische Definitionsmacht" wirkt und eine nur noch sehr selektive Lösungssuche ermöglicht, drohen die Aufgabenstellungen der ursprünglichen, "materialisierten" Entscheidungen auch die neuen Erzeugungsprozesse zu "überformen". Die eingeschlagenen Lösungswege beginnen sich durch dieses Handlungsmuster von ihren Aufgaben zu "entkoppeln", die Technikentwicklung löst sich somit nach der Genesephase partiell vom sozialen Entstehungskontext ab! Um keine Mißverständnisse entstehen zu

lassen: Diese Aussagen beziehen sich auf die inhaltliche Konstruktionsentwicklung von Techniken; ob sich eine technische Linie überhaupt entwickeln kann, ob genügend materielle und kognitive Ressourcen bereitgestellt werden, hängt vielmehr von anderen, in makro- und mesosozialen Kontexten verankerten Entscheidungsprozessen ab!

Selbst in der so "revolutionär" anmutenden Erfindung Rudolf Diesels läßt sich bei näherer Betrachtung dieses Orientierungsmuster erkennen: Als er durch die Kritik an der umweltbelastenden und mit niedrigem Wirkungsgrad arbeitenden Dampfmaschine zur Konzeption eines vollkommen neuen, rationelleren Motors motiviert wurde und auch in den bereits entwickelten und im praktischen Einsatz befindlichen Explosionsmotoren keine befriedigende Lösung sah, fand sich diese kritische Ausgangshaltung gegenüber existierenden Energietechniken in der von ihm selbst später vorgeschlagenen Konzeption aber kaum mehr wieder. Diesel "übernimmt" in den konzeptionellen Vorarbeiten für seine neue Kraftmaschine bereits das Grundprinzip aller existierenden Maschinen, chemisch gebundene Energie in mechanische Kraft zu übersetzen. In den ersten konstruktiven Konkretionen greift er auf "Maschinenelemente" wie Kolben, Zylinder, Pleuel und Ventilsteuerung zurück, die bereits seit den Experimenten von O. v. Guericke zur Grundausstattung energieerzeugender Maschinen gehören. Die bereits eingeführten Explosionsmotoren liefern für Diesel schließlich die Vorlage zur Grundanordnung der Maschinenelemente, die bis zur Verwendung des in den Otto-Maschinen erprobten Vier-Takt-Arbeitsverfahrens reicht. Diese überaus starke Orientierung an existierenden Kraftmaschinen bleibt aber für den von Diesel geplanten rationellen Wärmemotor nicht folgenlos. Der schließlich den Maschinenbauunternehmen angebotene Konstruktionsentwurf führt die traditionelle motortechnische Entwicklungslinie fort, die revolutionäre Idee einer adiabatischen Verbrennung wurde durch den Rückgriff auf die von Diesel ja kritisierten Entwicklungslinien in ihrer potentiellen Wirkung von vorneherein sehr begrenzt. In diesem Sinne kann hier von einer "Überformung" des ursprünglichen Motivs zur technischen Lösungssuche durch die Anbindung an schon existierende Maschinenelemente gesprochen werden.

Diese allgemeinen Merkmale konstruktiver Tätigkeit - durch die Hochschul- und Fachhochschulausbildung als kognitives Grundmuster entwickelt und geprägt -, werden durch organisatorische und institutionelle Kontexte schließlich zu spezifischen Methoden der Wissens- und Technikproduktion geformt.

Die Bedeutung von Organisationen, insbesondere privatwirtschaftlicher Un-

ternehmen, zeigt sich hierbei gleich in doppelter Weise. Einmal entscheiden etablierte Unternehmen grundsätzlich über die Realisierungschancen technischer Konzeptionen, indem sie die vorhandenen Fertigungskapazitäten und Marktzugänge für neue Konzeptionen öffnen oder sich aber - wie es bspw. Diesels Motoridee drohte - eben auch dagegen entscheiden können. Darüber hinaus bieten die hier ausgebildeten sozialen Milieus die Voraussetzungen dafür, daß sich der "Bias" im Konstruktionsverhalten der Techniker und Ingenieure auflösen kann, in der Konstruktionsarbeit Selektionsmechanismen transparent und disponibel gestaltet werden können und eingeschliffene Überlieferungen zur Frage nach dem technisch "Machbaren" aufgelöst werden. Damit lassen sich "Konstruktionstraditionen" in ihrer Wirkung begrenzen und Entscheidungen über mögliche Entwicklungsrichtungen überhaupt erst optional begreifen.

Daneben existiert auf dem Gebiet der technischen Arbeit eine ausdifferenzierte Tätigkeit wissenschaftlich-technischer Vereine und Verbände. In diesen institutionellen Kontexten werden einmal durch die organisierten Arbeitszusammenhänge der jeweiligen Professionen gemeinsame Lösungsstandards für spezifische Technikfelder formuliert sowie überhaupt allgemeine technische Regeln und Normen auf den verschiedensten Gebieten entwickelt. Die auf diese Weise geformten Denk- und Handlungsmuster können sich als "wissenschaftlich-technische Gemeinschaftsarbeit" durchaus auch "quer" zu den Interessen einzelner Unternehmen verhalten und praktisch branchenweit Maßstäbe dafür setzen, was als technisch akzeptabler Lösungsweg gelten kann. Der überaus rege Arbeitswechsel der führenden Konstrukteure in der Automobilbranche deutet auf intensive Austauschbeziehungen zwischen den einzelnen Unternehmen hin, der als "Technologietransfer" die Bedeutung solcher unternehmensübergreifender Wissensbestände, aber damit auch unternehmensübergreifend wirkender Selektionsfilter, unterstreicht (vgl. Hütten, 1988: 32-37).

Bezieht man nun die gesamte Automobilentwicklung vor dem Hintergrund der umweltpolitischen Diskussion in die Betrachtungen mit ein, erscheint insbesondere das "Beharrungsvermögen" des "technischen Fortschritts" die bisherigen Annahmen umweltpolitischer Diskussionsbeiträge zu untergraben. Die Konstruktionsentwicklung ist durchweg von großen "Anschlußwängen" gekennzeichnet, die sich gerade auch als ökonomische Konsequenzen der Konkurrenzverhältnisse zwischen den Anbietern entwickelt haben und die den Selektionsmechanismus des Marktes doch erheblich zu behindern drohen:

Einmal unterliegt der Konstruktionsprozeß einer Vielzahl von Normungs-, Typisierungs- und Standardisierungsregeln, deren Wirkung schon bei Fragen der Definition technischer Probleme einsetzen dürfte. Diese Richtlinien bieten wiederum den Vorteil, bei komplexen technischen Problemstellungen die Funktionsfähigkeit durch die Verwendung und die Kombination bewährter, erfahrungsgesicherter Elemente und Materialqualitäten zu unterstützen. Zum anderen erlauben sie aber nur wenige Abweichungen vom gesicherten "Normal-Maß". Darüber hinaus wurden durch die ökonomischen Zwänge der Kostenminimierung die komplizierten Fertigungsprozesse in immer größeren mechanischen Ketten zusammengebunden und üben auf diese Weise einen weiteren Standardisierungsdruck von der fertigungstechnischen Seite her aus, wenngleich in den letzten Jahren durch den vermehrten Einsatz von Rechnern in der Fertigung eine kontrollierte Flexibilisierung versucht wird (vgl. bspw. Jürgens/Malsch/Dohse, 1988: 46ff.).

Technische Überblicksdarstellungen unterstreichen diesen wachsenden Standardisierungsdruck auf die Konstruktionsentwicklung der Automobile. Mit dem "Aufstieg" des Autos zum Konsumartikel verstärkte sich die Tendenz, Innovationspotentiale insbesondere auf fertigungstechnische Voraussetzungen und weniger auf die Produkte selbst zu konzentrieren, die konstruktive Entwicklung dem Diktat der kostenoptimalen Produktion zu unterziehen. "Am Beispiel Peugeot und auch Daimler-Benz wird deutlich, daß Firmen, die zunächst technisch fortschrittliche Autos herausbrachten, im Laufe von Jahrzehnten eine vorsichtigeren Produktpolitik einschlugen. Ihre Autos wurden immer konventioneller" (Eckermann, 1981: 157). Die bei der Einführung neuer Konstruktionselemente im Automobilbau besonders innovativen und risikofreudigen Unternehmen wie Citroen, NSU, Borgward oder Bugatti konnten unter diesen ökonomischen Prämissen nur durch Eingliederung in größere Konzerne überleben oder verschwanden als Automobilhersteller ganz vom Markt.

Für die Konstruktionsentwicklung in der Automobilindustrie ist daher auch kennzeichnend, daß die "Basisinnovationen" - bis auf wenige Ausnahmen - noch aus der Zeit vor dem Ersten Weltkrieg stammen. "Die wesentlichen Formen und Möglichkeiten der Fahrzeugantriebe (waren) in dieser Periode erkannt und mehr oder weniger erprobt. Fortan bestimmten verfeinerte Konstruktionen, bessere Werkstoffe und Bearbeitungsverfahren, auch zweckvoll entwickelte Schmier- und Kraftstoffe den Fortschritt. Er betraf den Leichtbau, die Betriebssicherheit, Haltbarkeit und Wirtschaftlichkeit" und erst später die Umweltfreundlichkeit (vgl. Hütten, 1988: 37). Zu diesen Ausnahmen zählten neben dem sich nur schwer etablierenden Fahrzeug-Diesel

der Turbinenantrieb sowie der Kreiskolbenmotor.

Es läßt sich daher zusammenfassend feststellen, daß der schnellaufende, in Personenkraftwagen einsetzbare Dieselmotor über lange Jahre hinweg ein "ungeliebtes Kind" der Automobilindustrie war. Als ortsfeste Maschine konstruiert, etablierte sich der Motor sehr schnell in Kraftwerken und anderen stationären Verwendungsformen oder auch als Antriebsaggregat für Schiffe. Der Einsatz in schweren Lastkraftwagen verlief dagegen schon sehr schleppend, für Automobile galt der Motor lange Zeit als überhaupt nicht tauglich (vgl. E. Diesel, 1955: 49/50). Es ist denkbar - und viele Hinweise aus der Dieselgeschichte lassen sich in diese Richtung deuten -, daß die Ingenieure, Konstrukteure und Techniker den Ottomotoren mit den kleineren Ausmaßen und den vielen Nebenaggregaten wie Zündung und Vergaser vielmehr Interesse entgegenbrachten und daher viel leichter für neue Entwicklungen zu motivieren waren, als bei den großvolumigen, schweren "Selbstzündern" mit einem vergleichsweise einfachen Grundaufbau.

Wagt man sich vor dem Hintergrund dieses historischen Exkurses wieder in die gegenwärtigen Auseinandersetzungen, dann läßt sich - bei aller Vorsicht des hier Geäußerten - doch Zweifel anbringen, ob zur Lösung der aktuellen technischen Probleme des Dieselmotors das Vertrauen auf die Innovationsfähigkeit des Marktmechanismus ausreicht. Vielleicht sollte sich die umweltpolitische Debatte weniger in den ordnungspolitischen Auseinandersetzungen verlieren und den Blick zunächst einmal auf die mikroanalytischen Grundlagen der Produktion und Implementation technikrelevanten Wissens, auf das soziale Milieu der technischen Arbeit konzentrieren. Die hier verankerten Perzeptionsmuster basieren sicherlich nicht nur auf einer "technischen Logik", sie genügen auch nicht simplen ökonomischen Modellen der Nutzenmaximierung und sind sicherlich in ihrer eliminierenden Wirkung auch nicht das Privileg des 19. oder lediglich des frühen 20. Jahrhunderts.

Das Beispiel Dieselmotor sollte schließlich auch gezeigt haben, daß Metapher wie "Lawine" oder "Wasserfall" zur Illustration des "technischen Fortschritts" revisionsbedürftig erscheinen. Vielleicht bietet sich statt dessen eher das Bild einer zähen, klebrigen Masse an, die nur sehr begrenzt - und immer in unmittelbarer Tuchfühlung zum bestehenden - "Fortschritte" erlaubt.

Literatur:

- Brandenburg, G., Rudolf Diesel und die Firma Krupp, in: Krupp-Mitteilungen, 47, 1963, S.4ff.
- Albrecht, U., Die Werturteilsfrage in der Technik, in: Zeitschrift für Wissenschaftstheorie, 1/2, 1970, S.161ff.
- Barthel, M. / Lingnau, G., Daimler-Benz: Die Technik, Mainz 1986
- Betz, L., Das Volksauto. Rettung oder Untergang der deutschen Automobilindustrie, Stuttgart 1931
- Bijker, W./Hughes, Th.P./Pinch, T.I., (Hg.) The Social Construction of Technological Systems, London 1987
- Bosch AG, Fünfzig Jahre Bosch, 1886-1936, Stuttgart 1936
- Braun, H.J., Methodenprobleme der Ingenieurwissenschaft, in: Technikgeschichte, 44, 1977, S.1ff.
- Bryant, L., The Development of the Diesel-Engine, in: Technology and Culture, 17, 1976, S.432ff.
- Büchner, F., Hundert Jahre Geschichte der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg, o.O., o.J., (1940)
- Constant II, E. W., The Origins of the Turbo-Jet Revolution, Baltimore 1980 (1977)
- 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./Zimmermann, K., Umweltpolitik. Zwischen Erstarrung, Innovation und Überforderung, in: Zeitschrift für Umweltpolitik, 11, 1988, S.197ff.
- Diesel, E., Die Geschichte des Diesel-Personenwagens, Stuttgart 1955
- Diesel, E., Diesel - Der Mensch, das Werk, das Schicksal, München 1983 (1937)
- Diesel, E./Goldbeck, G./Schildberger, F., Vom Motor zum Auto, Stuttgart 1957
- Diesel, R., Die Entstehung des Dieselmotors, Berlin 1984 (1913)
- Diesel, R., Theorie und Konstruktion eines rationellen Wärmemotors zum Ersatz der Dampfmaschinen und der heute bekannten Verbrennungsmotoren, Düsseldorf 1986 (1893)
- Dosi, G., Technical Change and Industrial Transformation, London 1986 (1984)
- Fersen, O. v. (Hg.) Ein Jahrhundert Automobiltechnik, Düsseldorf 1986
- Fischer, C., Einiges über die Entstehung der Fertigung von Dieselmotoren im Werk Augsburg der MAN, in: Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie (Technikgeschichte), 29, 1940, S.132ff.
- Eckermann, E., Vom Dampfwagen zum Auto. Motorisierung des Verkehrs, Reinbek 1981
- Gilfillan, S.C., The Sociology of Invention, Cambridge 1970 (1935)
- Goldbeck, G., Kraft für die Welt, Düsseldorf 1964
- Goldbeck, G., Gebändigte Kraft. Die Geschichte der Erfindung des Otto-Motors, München 1965
- Güldner, H., Entwerfen und Berechnen von Verbrennungsmotoren, Berlin 1905
- Hanf, R., Im Spannungsfeld zwischen Technik und Markt, Zeitschrift für Unternehmensgeschichte, Beiheft 17, Wiesbaden 1980
- Hansen, F., Konstruktionswissenschaft, München 1974
- Hubka, V., Theorie technischer Systeme, Berlin 1984
- Hütten, H., Motoren: Technik, Praxis, Geschichte, Stuttgart 1988
- Jewkes, J./Sawers, D./Stillerman, R., The Sources of Invention, London 1969 (1962)

- Jokisch, R.(Hg.) Techniksoziologie, Frankfurt 1982
- Jürgens, U./ Malsch, T./ Dohse, K., Moderne Zeiten in der Automobilindustrie, Berlin 1988
- Knie, A., Das Konservative des technischen Fortschritts, WZB-paper, FS II 89-101, Berlin 1989
- Linde, C., Aus meinem Leben und von meiner Arbeit, Düsseldorf 1984 (1916)
- Lohmann, H., Die Technik und ihre Lehre, in: Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Hochschule Dresden, 3, 1953/54, S.601ff.
- Lüders, J., Der Dieselmithos, Berlin 1913
- Ludwig, K.H.(Hg.) Technik, Ingenieure und Gesellschaft, Geschichte des Vereins Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 1981
- Mauel, K., Die Rivalität zwischen Heißluftmaschine und Verbrennungsmotor als Kleingewerbemaschinen, Düsseldorf 1967
- Mauersberg, H., Deutsche Industrien im Zeitgeschehen, Stuttgart 1966
- Meyer, P., Beiträge zur Geschichte des Dieselmotors, Berlin 1913
- Mitteilungen aus dem Archiv der MAN, Werk Augsburg, Der Weg zum Fahrzeugdiesel, in: Automobiltechnische Zeitschrift, 44, 1941, S.9ff.
- Ostwald, W., Zwischen Benz und Diesel. Unerforschte Gebiete im Motorenbau? in: Automobiltechnische Zeitschrift, 35, 1932, S.457ff.
- Ostwald, W., Führt die Entwicklung autobahnfähiger Fahrzeugmotoren zu neuen Motoren und neuen Kraftstoffen? in: Brennstoff- und Wärmewirtschaft, 16, 1934, S.89ff.
- Ostwald, W., Gegenwärtige und mögliche künftige Entwicklung der motorischen Verbrennung, in: Automobiltechnische Zeitschrift, 38, 1935, S.208ff.
- Ostwald, W., Rudolf Diesel und die motorische Verbrennung, in: Deutsches Museum, Abhandlungen und Berichte, 24, 1955, S.3ff.
- Otten, D., Die Welt der Industrie, 2 Bde., Reinbek 1986
- Paulsen, H., Die Entwicklung der Konstruktion im Maschinenbau im Spiegel technischer Zeitschriften, unveröff. Magisterarbeit, TU Berlin, 1989
- Rammert, W., Technikgenese, Ein Überblick über Studien zum Entstehungskontext neuer Techniken. (Arbeitsberichte und Forschungsmaterialien Nr.30), Bielefeld 1988
- Reinicke, H., Der deutsche Höhenflug im Äthermeer, in: Wechselwirkung, 11, 1989, S.31ff.
- Riedler, A., Dieselmotoren, Beiträge zur Kenntnis von Hochdruckmotoren Berlin 1914
- Rosenberg, N., Inside The Black Box: Technology and Economics, Cambridge 1986 (1982)
- Sachs, W., Die auto-mobile Gesellschaft. Vom Aufstieg und Niedergang einer Utopie, in: Brüggemeier, F.J./ Rommelspacher, Th. (Hg.) Besiegte Natur. Geschichte der Umwelt im 19. und 20. Jahrhundert, München 1987, S.106ff.
- Sass, F., Geschichte des deutschen Verbrennungsmotorenbaues, Berlin 1962
- Schildberger, F., Bosch und der Dieselmotor, Bosch-Schriftenreihe Folge 3, Stuttgart 1950
- Schnauffer, K., Die Erfindung Rudolf Diesels - Triumph einer Theorie, in: VDI-Z, 1958, S.308ff.
- Schöttler, R., Mitteilungen von Ausstellungen für Handwerkstechnik in Dresden, in: ZVDI, 29, 1885, S.28ff.
- Schröter, M., Diesels rationeller Wärmemotor, in: ZVDI, 1897, S.845ff.
- Seherr-Thoss, H.C. Graf von, Die deutsche Automobilindustrie, Stuttgart 1979
- Seherr-Thoss, H.C. Graf von, Die Brennstoffzuführung bei schnellaufenden Verbrennungsmotoren, in: Kultur und Technik 1987, Heft 1, S.20ff.
- Shepard, H.A., Nine Dilemmas in Industrial Research, in: Administrative Quarterly, 1956, S.295ff.
- Siebertz, P., Rudolf Diesel und der Automobilmotor, in: Blätter für Technikgeschichte, 1950, Heft 12, S.15ff.

- Strandh, S., Die Maschine. Geschichte, Elemente, Funktion, Freiburg 1980 (1979)
- 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.
- Varchmin, J./Radkau, J., Kraft, Energie und Arbeit, Energie und Gesellschaft, Reinbek 1984 (1981)
- Winkler, O., Über die geistigen Vorgänge beim Konstruieren und Erfinden, in: Der Motorwagen, 23, 1921, S.534ff.
- Wissmann, G., Geschichte der Luftfahrt von Ikarus bis zur Gegenwart, Berlin 1979
- Wörgerbauer, H., Die Technik des Konstruierens, München/Berlin 1943