

Knie, Andreas

Book Part — Digitized Version

Warum es Diesel- aber (fast) keine Wankel-Motoren mehr gibt

Provided in Cooperation with:

WZB Berlin Social Science Center

Suggested Citation: Knie, Andreas (1992) : Warum es Diesel- aber (fast) keine Wankel-Motoren mehr gibt, In: Landesmuseum für Technik und Arbeit (Mannheim) (Ed.): LTA-Forschung, Landesmuseum für Technik und Arbeit, Mannheim, pp. 19-39

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/111971>

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>.

**ANDREAS KNIE:
WARUM ES DIESEL- ABER (FAST) KEINE WANKEL-MOTOREN MEHR GIBT**

I. Einleitung

In Ingenieur- und Technikerkreisen herrscht heute großes Einverständnis darüber, weshalb der vom schwäbischen Zweirad- und Automobilhersteller NSU in den 60er Jahren eingeführte neuartige Kreiskolbenmotor als Serienantrieb für Pkws weitgehend gescheitert ist. Es lag an der Technik, insbesondere an der für den Verbrennungsprozeß äußerst ungünstigen Brennraumform. Hierdurch sind der Optimierungsarbeit mit dem Ziel der Schadstoffreduzierung und der Verbrauchsabsenkung im Vergleich zum klassischen Hubkolben-Triebwerk Grenzen gesetzt und es erscheint daher in Fachkreisen nur folgerichtig, daß große Automobilhersteller wie General Motors, Daimler-Benz und selbst Audi die Arbeiten an Kreiskolbenmotoren schon Anfang der 80er wieder weitgehend eingestellt haben (vgl. Pischinger 1990:288-295).¹

Parallel zu diesem weltweiten Rückgang der Kreiskolbenaktivitäten nahmen viele Automobilhersteller Entwicklungsarbeiten am Dieselmotor mit dem Ziel auf, diese Antriebstechnik unter den verschärften umweltpolitischen Gegebenheiten als Pkw-Motor zu kultivieren. Durch die besonderen thermodynamischen Gegebenheiten versprachen sich Forschung und Industrie vom dieselmotorischen Verbrennungsprinzip nicht nur ein größeres Entwicklungspotential für eine Reduzierung des Kraftstoffverbrauches, auch hinsichtlich der Absenkung des Schadstoffausstosses bot der Dieselmotor Mitte der 70er Jahre noch sehr günstige Perspektiven, die von den verschiedenen nationalen Gesetzgebern vorgeschriebenen Standards ohne aufwendige Katalysatoren-Technik zu erreichen (vgl. Basshuysen 1989:458-465).

Die Überlegenheit einer technischen Lösung lassen sich keineswegs nur als Folge der Entdeckung und Anwendung bislang

unbekannter Naturgesetze erklären. Mit der faktischen Verbreitung einer Technik und einem damit dokumentierten Erfolg erhalten technische Lösungen im nachhinein die legitimatorischen Weihen eines "one-best-way", und die Durchsetzung einer konstruktiven Lösung wird allein auf technische Kriterien zurückgeführt. Hierbei übersieht man leicht, daß diese technische Überlegenheit aber keineswegs als Erfolgskriterium sofort vorhanden ist und wirksam werden kann. Um eine Lösung in einen ausgereiften konstruktiven Zustand zu überführen, müssen entsprechende "Sicherungsarbeiten" eingeleitet und durchgehalten werden, die im folgenden Gegenstand der Erörterung sein werden. In einer vergleichend angelegten Rekonstruktion von Entstehungs- und Entwicklungsstapen des Diesel- und NSU/Wankelmotors wird gezeigt, daß Erfolg bzw. Mißerfolg sowie die letztlich realisierte konstruktive Gestaltung einer technischen Lösung auch das Produkt organisatorischer Fähigkeiten ist. Übereinkünfte und Bündnisse müssen hergestellt werden, die Freiräume schaffen, Ressourcen mobilisieren und eine Definitionsmacht bilden, um neue konstruktive Ideen gegenüber den ja bereits vorhandenen und etablierten Lösungen zu verteidigen. Das Wissen um diese "nicht-technischen" Anteile am Erfolg von neuen Motorenkonzepten kann schließlich auch hinsichtlich der Frage nach den Durchsetzungschancen zukünftiger Antriebssysteme von großer Bedeutung sein, die, wie sich ja augenblicklich dokumentiert, keineswegs von selbst etablieren, sondern - ähnlich wie der Dieselmotor am Beginn seiner "industriellen Karriere" - erst noch gegen die herrschenden Techniklinien behauptet werden müssen.²

II. Diesel- und Wankelmotor: "Gewinner" und "Verlierer" im Motorenbau

Die Genese des Dieselmotors mit der des NSU/Wankelmotors zu vergleichen, bietet sich aus mehreren Gründen an: Einmal lassen sich so Entstehungsprozesse der Jahrhundertwende (Diesel) mit technischen Innovationsprojekten der 50er,

60er und 70er Jahre (NSU/Wankel) vergleichen. Darüber hinaus sind beide Motorenprojekte von Außenseitern initiiert worden, die mit sehr unkonventionellen Konzepten in bereits formierte Branchenstrukturen einzudringen versuchten. Damit eröffnet sich die Möglichkeit, den Grad der Stabilität von bereits etablierten technischen Entwicklungslinien in unterschiedlichen zeitlichen Kontexten zu untersuchen und Aussagen über die zukünftige industrielle und ingenieurwissenschaftliche Reformfähigkeit zu wagen.³

1. "Einbruch"

Rudolf Diesel (1858-1913) und Felix Wankel (1902-1988) kamen - wie oben bereits angemerkt - als Außenseiter zur damaligen Motorenbauindustrie. Als Kältetechniker bei der Firma Linde träumte Diesel zwar wie viele seiner Zeitgenossen von einem Motor mit höchsten Wirkungsgraden, doch verfügte er - als er mit den ersten Konzeptionsentwürfen in den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts begann - über keine konstruktionspraktischen Erfahrung im Bau von Dampfmaschinen oder Gasmotoren.

In ganz ähnlicher Weise wie Felix Wankel die Industrie mit der Verwirklichung seiner Rotationskolbenmaschine überraschte, um endlich einmal eine rotierende Triebwerksgestaltung für automobiler Antriebssysteme zu realisieren, schockierte der junge Diesel die etablierte Maschinen- und Motorenbauzunft seiner Zeit mit dem Vorhaben, den von Sadi Carnot schon 1824 angegebenen "idealen Kreisprozeß" für Wärmekraftmaschinen zu verwirklichen. Eine praktische Realisierung der von Carnot empfohlenen isothermischen Zustandsänderung von Gasen, bei der durch die Verbrennung entstehende Wärme möglichst weitgehend in Arbeit verwandelt werden soll, war damals als theoretisches Modell durchaus bekannt, galt aber unter Praktikern als völlig unbrauchbares Konzept.

So funktioniert der Wankelmotor

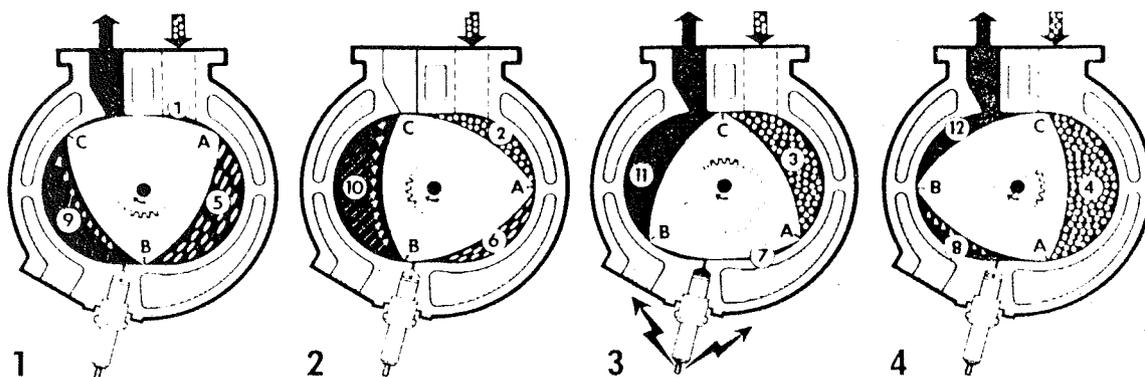


Bild 2: **Schematische Skizze eines NSU-Wankelmotors** (vgl. Alles über Motoren 1988:75,104)

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

Die Zahlen 1 bis 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 Gaswechselprozeß.

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.

Beiden, Diesel und Wankel, blieb daher der Zugang zur Industrie zunächst verschlossen, ihre konzeptionellen Vorschläge für neue Motoren waren für die jeweilige Zeit viel zu unkonventionell ausgefallen. Die Maschinenfabrik Augsburg, die Deutzer Gasmotorenfabrik, die Gebr. Körting, Sulzer und Krupp, alle führenden Unternehmen des Maschinen- und Gasmotorenbaus in Deutschland der Jahrhundertwende bewerteten Diesels Überlegungen als einen zu großen "Sprung

ins Dunkle, (wobei) die Wahrscheinlichkeit eines Erfolges nicht zu übersehen (war)", wie es beispielsweise die Essener Krupp-Zentrale formulierte. Eugen Langen, Direktor der damals im Bau von Gasmotoren führenden Deutzer Gasmotorenfabrik, antwortete Diesel, daß er "als Praktiker erhebliche Bedenken bezüglich der Ausführungs- und Durchführungsfähigkeit dieser Anschauung habe", und er glaube "nicht zu irren, wenn ich annehme, daß diese Erfahrungen mit einer ganz gewaltigen Enttäuschung verknüpft sein werden" (Sass 1962:429; vgl. Goldbeck 1964:108).

Auf Wankels Bemühungen reagierte die deutsche Autoindustrie nur wenige Jahre nach dem Zweiten Weltkrieg mit arrogant zur Schau gestelltem Desinteresse. "Bessere Motoren als unsere gibt es nicht" behauptete man beispielsweise bei Opel. Auch Daimler-Benz und BMW sahen keine Veranlassung, die Hubkolben-Techniklinie auch nur zu überdenken. Selbst die als innovationsfreudig bekannte NSU sah "bei aller Anerkennung der Bedeutung, die derartigen Kraftmaschinen einmal zukommen kann", keine Realisierungschancen (Korp 1975:31ff).

Um die nach außen abgedichteten Grundfesten der herrschenden Konventionen aufzuweichen und die Definitionsmacht der bestehenden Eliminierungskriterien außer Kraft zu setzen, bedurfte es daher eines wohlorganisierten Prozesses. "Von selbst" bewegte sich auch hier nichts. Durch den Aufbau von grenzüberschreitenden Sinnzusammenhängen wurden "Übersetzer" und Promotoren gesucht, die die unkonventionellen Projektideen langsam und zumindestens teilweise mit herrschenden Konventionen synchronisierten. Rudolf Diesel und Felix Wankel versuchten diesen "Einbruch" allerdings mit sehr verschiedenen Strategien und hatten damit auch sehr unterschiedlichen Erfolg.

Wankel gelang die Verbindung zu einem Unternehmen mit Hilfe einer Strategie, die man vielleicht als "Trojanisches Pferd" bezeichnen könnte. Ein Beratervertrag Wankels kleiner Konstruktionsfirma, der "Technischen Entwicklungstelle" in Lindau (TES) mit der im schwäbischen Neckarsulm angesie-

delten NSU über Abdichtungsprobleme bei der Weiterentwicklung von Drehschieber-Motoren ermöglichte ihm, eine Art Brücke zu bauen und den damaligen Rennleiter Froede nicht nur Schritt für Schritt in sein Konzept der Rotationskolbenmaschine einzuführen, sondern ihn im Unternehmen NSU auch zu einem "Fahnenträger" des neuen Motorenprojektes zu machen. Froede wurde dabei nicht nur vom technischen Konzept überzeugt. Er unternahm zudem alles, damit Wankel, der in der Motorenbauer-Szene wegen seiner Arbeiten zur Gasabdichtung an Flugmotoren während des Weltkrieges den Beinamen "Reichs-Dichtungs-Heini" erhalten hatte, im Unternehmen und insbesondere beim Vorstand nicht als ein "technischer Phantast" eingestuft wurde. Als der Anlagen- und Maschinenbauer Borsig in einen recht unverbindlichen Kontakt mit der TES trat, um über verschiedene Anwendungsmöglichkeiten von Rotationskolbenmaschinen zu verhandeln, stellte Froede dem Vorstand gegenüber diesen Kontakt als stabilen Arbeitszusammenhang zur Entwicklung von Drehkolbenmaschinen dar, deren Eigenschaften den Eindruck einer gefährlichen Konkurrenzsituation für die NSU-Absatzmärkte kleiner hochtouriger Motoren entstehen lassen mußte. Froede berichtete dem Vorstand, daß bei einer Rotationskolben-Maschine Drehzahlen von 20 bis 30000 U/min "ohne Schwierigkeiten" beherrschbar seien, und das mit einer Baugröße, die etwa einer 1-Liter-Konservendose entspreche. Unter den so konstruierten Voraussetzungen durfte sich die Geschäftsführung dem Wankel-Projekt nicht entziehen, wollte man nicht in Gefahr geraten, daß ein Wettbewerber mit neuen Produkten früher - und damit mit einem Erfahrungsvorsprung - angestammte Marktsegmente besetzte.

Im Februar 1954 erweiterte daraufhin der Vorstand den schon bestehenden Vertrag mit Wankel um das Entwicklungsprojekt einer Rotationskolben-Maschine.

Diesel seinerseits suchte die Industrie doch noch für seine Pläne zu gewinnen, indem er mit ausgesuchten Professoren des Theoretischen Maschinenbaus sowie der Technischen Thermodynamik eine Art "Unterstützernetzwerk" aufbaute und Kapazitäten wie Reuleaux, Zeuner oder Linde als Promotoren

für sein theoretisches Konzept nutzte. Insbesondere der Münchener Professor Moritz Schröter sah in Diesels Projekt endlich einmal "das erfreuliche Beispiel, daß die Theorie vorausseilt und mit aller Schärfe die zum Ziel führende Methode angibt; an unserer Maschinenteknik ist es nun zu zeigen, was sie vermag, um die theoretischen Ergebnisse zu verwirklichen" (Sass 1962:397).

Den Hintergrund dieser etwas emphatischen Aussage Schröters bildete der Umstand, daß die aus der mechanischen Wärmelehre hervorgegangene Technische Thermodynamik im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts den Anschluß zum praktischen Maschinenbau etwas verloren hatte und daher dringend um Nachweise alltagstauglicher Handreichungen der entwickelten theoretischen Arbeiten bemüht war.

Den von Diesel bestellten Gutachten und Stellungnahmen führender Professoren konnte sich schließlich die Maschinenfabrik Augsburg 1892 im Interesse einer unternehmerischen Vorsorgepolitik nicht ganz verschließen und signalisierte dem jungen Ingenieur, noch sehr vorsichtig und unverbindlich, Interesse an dem Projekt. Diesel, damals ein völlig unbekannter Ingenieur, Mitte 30, mit zwar sehr "eleganten" mathematischen Berechnungen, aber äußerst waghalsigen Konstruktionsideen, reagierte auf dieses Angebot einer der führenden Maschinenbauanstalten in Deutschland überraschenderweise keineswegs begeistert. Die vage angedeutete Bereitschaft der Maschinenfabrik Augsburg nutzte er vielmehr in geschickter Weise, um damit auch noch andere industrielle Kreise wieder für sein Projekt zu gewinnen. Diesel sorgte dafür, daß sich mit dieser noch wenig konkreten Antwort aus Augsburg nun plötzlich auch für den Essener Krupp Konzern die Situation anders darstellte. Dort stand man mit der gerade vollzogenen Übernahme des Magdeburger Grusonwerkes vor wichtigen Investitionsentscheidungen im Verbrennungsmotorenbau und konnte sich kaum leisten, einem der Hauptkonkurrenten einen ja immerhin denkbaren technischen Vorsprung zu gewähren. In einem wahren Verhandlungspoker erreichte Diesel im Frühling 1893 nicht nur eine verbindliche Zusage aus Augsburg, sondern darüber hinaus schlossen

sich der Krupp Konzern und die Maschinenfabrik Augsburg sogar zu einer Art Konsortium zusammen, um sich unter der Federführung der Augsburger Maschinenfabrik bei Konstruktions-, Finanzierungs- und Patentfragen gemeinsam abzustimmen. Selbst einen weiteren großen Wettbewerber, die Gebr. Sulzer im schweizerischen Winterthur, konnte Diesel - wenngleich in einer vergleichsweise unverbindlichen Weise - in die industrielle Trägerschaft einbinden.

Mit dieser "strategischen Allianz" sicherte sich Rudolf Diesel eine sehr gut ausgestattete materielle Basis. Er erreichte überdies auch, daß sich die Kooperationspartner in ihrer Eigenschaft als Wettbewerber gegenseitig in den verschiedenen Entwicklungsschritten genau beobachteten und keines der beteiligten Unternehmen das Konzept des neuen "rationellen Wärmemotors" einfach wieder in der Schublade verschwinden lassen konnte.

Bei beiden Projekten spielten allerdings auch Bedingungen eine Rolle, die weder von Wankel noch von Diesel unmittelbar zu beeinflussen waren. Denn bei beiden Vorhaben hatten ankündigende Verschiebungen der Angebots- und Nachfragestrukturen die Voraussetzungen geschaffen, daß die industriellen Eigeninteressen überhaupt soweit mobilisiert und beide Projekte zu einem Element der unternehmerischen Vorsorge werden konnten. Zu Zeiten Diesels herrschte im ausgehenden 19. Jahrhundert große Unsicherheit darüber, inwieweit die im Zuge wirtschaftlicher Expansion quantitativ ausgeweitete und qualitativ verschobene Nachfrage nach Energie mit dem damaligen Stand der Technik - Kolben-Dampfmaschinen und Gasmotoren - noch befriedigt werden konnte. Im Falle Wankel ließ ein in den 50er Jahren grassierendes Turbinenfieber die Autoindustrie nervös werden, da plötzlich auch beim Pkw der konventionelle Hubkolbenmotor in Frage gestellt und ein - in den Augen vieler Zeigenossen - längst überfälligiger Technologiesprung in Richtung Strahltriebwerk vor der Tür stand (vgl. Bentele 1991:87ff).

Während Diesels konstruktive Fähigkeiten eher durchschnittlich einzuschätzen sind - der technische Durchbruch im

Augsburger Versuchsraum gelang erst mit dem von der Geschäftsleitung neu ins Projektteam geholten Imanuel Lauster -, müssen vielmehr seine organisatorischen Leistungen beachtet werden. Dies wird insbesondere dann deutlich, wenn man Diesels "Bündnispolitik" mit dem Vorgehen von Wankel vergleicht. Nach der Erweiterung des zwischen Wankel und NSU bestehenden Beratervertrages um das Projekt einer Rotationskolbenmaschine starteten die Entwicklungsarbeiten in Neckarsulm ohne eine Beteiligung weiterer Industriefirmen oder Forschungseinrichtungen. Vor allen Dingen von Seiten der NSU kokettierte man in der Branche lange mit dem Spruch, eine "Goldader angekratzt" zu haben, und ging erst dann auf Kooperationssuche, als sich Finanzierungssorgen einstellten (vgl. Korp 1975:44). Zu dieser Zeit, Ende der 50er Jahre, war das Projekt in seinen wichtigen Grundzügen bereits definiert, aus den vielen Kombinationsmöglichkeiten für Trochoidenmaschinen bereits eine Epitrochoide mit innerer Hüllenfigur ausgewählt und die Entscheidung, keinen Drehkolben-, sondern einen Kreiskolbenmotor zu entwickeln, schon getroffen (Wankel 1960:33-45).

Die Unterschiede dieser Bündnispolitik zeigten sich deutlich, als beide Motorenkonzepte zum ersten Mal der Fachöffentlichkeit präsentiert wurden. Diesel konnte 1897 auf der VDI-Hauptversammlung in Kassel, eingerahmt von den Branchenführern Krupp, Maschinenfabrik Augsburg und Sulzer, gestützt von den Koryphäen der Technischen Thermodynamik die ersten Testergebnisse vorstellen. Wankel referierte 1960 - Ironie der Geschichte: im Deutschen Museum - über die fortgeschrittenen Entwicklungsarbeiten des Kreiskolbenmotors. Obwohl Öffentlichkeit und Fachvertreter sehr großes Interesse an dem neuen Motorenkonzept zeigten, blieben die führenden Unternehmen und Fachleute der Automobilbranche in ihrer Bewertung äußerst zurückhaltend und kündigten einen Einstieg höchstens aus "repräsentativen Gründen" an. Der Branchenneuling NSU, der erst Ende der 50er Jahre wieder in den Kreis der Automobilbauer zurückgekehrt war, galt der übrigen Industrie wegen einer unkonventionellen Geschäftspraxis als suspekt. "Die kleinste Automobilfabrik mit dem größten Maul" charakterisierte VW Chef Nordhoff die NSU,

deren neuen Motor er von vornherein als ein "todgeborenes Kind" bezeichnete.

Lizenzen hatte bis zu diesem Zeitpunkt auch lediglich der amerikanische Flugmotorenhersteller Curtiss-Wright erworben, der nach einem verpaßten Anschluß an die Strahltriebwerks-Technologie verlorenes Terrain zurückzugewinnen versuchte.

Inwieweit aber die getroffenen oder eben auch nicht getroffenen Sicherungsleistungen Einfluß auf die technischen Konfiguration haben und welche Auswirkungen eine in der Definitionsphase verpaßte Bündnispolitik überhaupt auf den Erfolg technischer Innovationen hat, ist Gegenstand der beiden nächsten Kapitel.

2. "Schließen und Konsolidieren"

Obwohl Diesels trickreiche Absicherungspolitik sich von dem von Felix Wankel mit der NSU angetretenen Alleingang so deutlich unterschied, teilten doch beide "Erfinder" gleichermaßen das Schicksal, vom Gang der industriellen Entwicklungsarbeiten immer stärker ausgeschlossen zu werden. Beide hatten für ihr Projekt zwar Entwicklungsfreiräume geschaffen, in denen für eine befristete Zeit die herrschenden Eliminierungskriterien des herrschenden "Standes der Technik" außer Kraft gesetzt waren, dennoch setzten sich bei beiden Projekten in den Fragen der Projektierung die Interessen der industriellen Akteure durch. Die Maschinenfabrik Augsburg formulierte von Beginn an in der Entwicklung rigide Eckpunkte und transformierte auf diese Weise Diesels universell verwendbare Motorenidee in eine Dampfmaschine des 20. Jahrhunderts, mit technischen Eigenschaften, die für ein genau kalkuliertes Einsatzgebiet bestimmt waren. Die von Diesel berechneten Vorschläge zur Reform im Verbrennungsmotorenbau konnten damit zwar tatsächlich in ein maschinelles System überführt werden und als reproduzierbarer Funktionsablauf fixiert werden, allerdings nur um den Preis einer "Milieuschädigung" des neuen Konzeptes: Ab-

messungen, technische Eigenschaften, Leistungsprofil, Bauform usw. bildeten Korsettstangen, mit denen die in Kolben-Dampfmaschinen bewährten Erfahrungen auch die Entwicklungsbahn des neuen Verfahrens bestimmten. Für "abweichende" Experimente mit dem Zweitakt-Arbeitsverfahren, Kohlenstaub oder Spiritus als Brennstoffvarianten oder einem Verbundmotor, Diesels "eigentlichem Motor", standen bei dieser Schließungspolitik, wenn überhaupt, nur sehr begrenzt Zeit und Geld zur Verfügung.

Felix Wankel konnte sich mit seiner kleinen Entwicklungsfirma in Lindau länger gegenüber den notwendigerweise pragmatischen Interessen der NSU behaupten. Er mußte aber schließlich auch akzeptieren, daß in privatwirtschaftlich funktionierenden industriellen Zusammenhängen ein "Schließungsprozeß" eingeleitet wurde, der sich letztlich in der Entscheidung für einen Kreiskolbenmotor dokumentierte, einer weniger radikal ausgefallenen "Revolution", die Wankel als "Volksausgabe" seiner ursprünglichen Idee titulierte. Allerdings gab es in Neckarsulm - im Gegensatz zur Augsburger Maschinenfabrik - zumindest keine Konzentration auf bestimmte Einsatzgebiete. Als Ende der 50er Jahre immer deutlicher wurde, daß die finanziellen Belastungen nicht mehr allein von der NSU getragen werden konnten und man zu einer aktiven Lizenzpolitik übergehen mußte, repräsentierte die erste Schar der Interessenten nahezu die gesamte Palette von Einsatzmöglichkeiten für Verbrennungsmotoren. Nun war zwar vom "Flugtriebwerk bis zum Rasierapparat alles drin", wie es der NSU Entwicklungsleiter auf eine Kurzformel brachte, damit war aber auch deutlich, daß wegen der viel zu spät eingeleiteten Absicherungsbemühungen der NSU nun eine Bündelung der Entwicklungsanstrengungen, notwendig für eine industrielle Einführung, nicht mehr zu schaffen war.⁴

Der demzufolge erst 1963 getroffene Entschluß, die Entwicklungsarbeiten auf die Verwendung des neuen Motors als Pkw-Antrieb zu konzentrieren, stellte sich im Hinblick auf den 1967 erfolgten Großserienstart als ein viel zu später Zeitpunkt heraus. Die während der Definitionsphase verpaßte Absicherung des Projektes führte so dazu, daß die Schlie-

Bungs- und Konsolidierungsarbeiten nicht in einer für maschinelle Systeme notwendigen Qualität gelang. Beispielsweise brachte man dem Problem des Kraftstoffverbrauchs zu wenig Aufmerksamkeit entgegen, eine für die Entwicklungspraxis von Rennmotoren sicherlich durchaus typische Verfahrensweise, die sich aber für den Serieneinsatz im nachhinein eher als problematisch erwies.

Zur finanziellen und technologischen Sicherung der weiteren Entwicklung war nun eine Bündnispolitik erforderlich, die im Ergebnis den Verlust der Definitionsmacht zur Folge haben sollte.

3. "Institutionalisierung"

Wenn neue technische Prinzipien vom gesicherten "Stand der Technik" noch überaus weit entfernt sind, stößt ihr Erscheinen in der Fachwelt zunächst auf Skepsis. Durch die Brille der etablierten Technik betrachtet werden die Nachteile neuer Lösungen besonders aufmerksam registriert, da sie ja den Nutzen vorhandener Wissensbestände und Fähigkeiten zu entwerten drohen. Die Qualität der Sicherungsmaßnahmen offenbart sich daher dann, wenn die in maschinelle Systeme eingeschriebenen neuen Wissens- und Erfahrungsbestände über den unternehmerischen Bereich heraus transferiert werden sollen, um als branchenweite Lösung anerkannt und damit auch institutionalisiert zu werden.

Das Problem in dieser für den Erfolg bzw. Mißerfolg einer technischen Innovation so sensiblen Phase liegt u.a. darin, daß während der "Einschreibephase" die gesammelten Erkenntnisse und Erfahrungen zumeist nicht vollständig als maschinelle Lösung überführt werden können, sondern während der ersten praktischen Erprobung noch besonderer Servicemaßnahmen bedürfen. Wieviel Ressourcen zur Kompensation von Funktionsmängeln bereit gestellt werden und das neue Prinzip auch in dieser labilen Phase gegenüber den herrschenden Techniken verteidigt wird, hängt von der Existenz der Definitionsmacht ab, die letztlich auch darüber entscheidet, ob

aufgrund dieser Resultate die neue Technik als funktionsfähig oder nichtfunktionsfähig bewertet wird.

Das heute wie selbstverständlich existierende dieselmotorische Prinzip hatte in der Tat zu Beginn der "industriellen Karriere" mit ganz erheblichen solcher Funktionsmängel zu kämpfen, der Erfolg des neuen Motors hing um die Jahrhundertwende an einem "seidenen Faden", der über einige Jahre jederzeit abzureißen drohte. Die erste ausgelieferte Maschine, "Motor Nr.4", der 1898 als stationäre Kraftquelle im Kemptener Werk der "Vereinigten Zündholzfabriken AG" aufgestellt worden war, konnte im praktischen Betriebslauf überhaupt nicht befriedigen. Nachdem in Kassel auf der VDI-Hauptversammlung noch der "Triumph einer Theorie" gefeiert worden war, mußte man nun ein völliges Desaster erleben. Ständig traten Schäden an Kurbelwelle, Lagern und Ventilen auf. Die Einblaseluft des Kompressors wurde so heiß, daß sie den Zündpunkt des verdampfenden Schmieröls zu erreichen drohte und die permanente Gefahr heftiger Explosionen entstehen ließ. Der Siebzerstäuber der Brennstoffdüse verschmutzte schon nach kurzer Zeit und mußte jeden Abend ausgebaut, gesäubert und neu gewickelt werden. Die motorische Leistungsfähigkeit, insbesondere der Drehmoment, konnte auch nicht annähernd die vom Dampfmaschinenbetrieb gewohnten Eigenschaften erreichen. Die von Lizenznehmern nach Plänen der Augsburger Versuchsabteilung gebauten ersten Maschinen zeigten im Praxisbetrieb ganz ähnliche Schwierigkeiten. Eine nach der Anfangseuphorie eigens zur Herstellung von "Wärmemotoren, Patent Diesel" gegründete Fabrik ging schon nach wenigen Jahren wieder in Konkurs. Viele namhafte Lizenznehmer wie die Deutzer Gasmotorenfabrik stellten den Bau ein und sogar der Krupp-Konzern zog sich ganz vom Projekt zurück. Selbst in der Maschinenfabrik Augsburg, die mittlerweile mit der Nürnberger Maschinenbau AG zur M.A.N. fusioniert war, lebte der anfängliche Widerstand gegen den neuen Motor wieder auf und in allen Bereichen, die sich in Augsburg mit dem neuen Dieselmotor beschäftigten, herrschte eine "eisige Stimmung" (vgl.Sass 1962:505-511).

Aus dieser Perspektive nehmen sich die technischen Probleme bei der Serieneinführung des NSU/Wankelmotors im NSU Spider bzw. später im NSU Ro 80 vergleichsweise bescheiden aus: Die Funktionsfähigkeit eines Kreiskolbenmotors als Pkw-Antrieb konnte grundsätzlich demonstriert werden. Hoher Ölverbrauch, Zündkerzenverschleiß, ein fühlbares "Schieberuckeln" in den unteren Drehzahlbereichen sowie ein Mehrverbrauch an Kraftstoff im Stadtverkehr beeinträchtigten sicherlich zunächst die Betriebssicherheit. Für ein vollkommen neues Automobilkonzept aber durchaus vertretbare Probleme bei einem Großserieneinsatz, zumal in der Pannestatistik der Ro 80 im Jahre 1969 dem ebenfalls neu erschienenen Audi 100 kaum unterlegen war. Eine deutlich verbesserte Motorenversion, der sogenannte KKM 871, der ab Mitte der 70er Jahre für den Serieneinsatz bereitstand, dokumentierte zudem eine deutliche Verbesserung hinsichtlich der Drehmomentcharakteristik, des Kraftstoffverbrauchs und der Schadstoffreduzierung.

Rudolf Diesel hatte aber seine Arbeiten erst begonnen, als er führende Unternehmen im Rahmen einer "strategischen Allianz" an der Entwicklung beteiligen konnte. Seine öffentlichen Berichte hatten dazu beigetragen, daß Erfolg oder Mißerfolg nahezu untrennbar mit diesen Firmen verbunden sein mußte.

Obwohl sich in dieser Phase nahezu alle Entwicklungspartner zurückzogen und die Versuchsarbeiten einstellten, hielt die M.A.N. unter Direktor Buz auch in dieser Phase weiter an diesem Motor fest. Damit waren genügend finanziellen Ressourcen sowie Macht vorhanden, das Konzept - trotz großer Mängel - als funktionsfähig zu definieren. Die Entwicklungsarbeiten wurden auf reduziertem Niveau weitergeführt, das Konzept konnte zumindest im Unternehmen "überwintern" und bei veränderten Rahmenbedingungen wieder zur Verfügung stehen.

Auch im Falle Wankel waren Erfolg und Mißerfolg des neuen Kreiskolbenmotors eng an ein Unternehmen gebunden. Im Unterschied zum Branchenführer M.A.N. hatte Branchenneuling

NSU aber einen Alleingang hinter sich und benötigte zur Sicherung der maschinellen Stabilität dringend einer weiteren industriellen Trägerschaft. Nachdem 1961 endlich mit dem japanischen Maschinenbaukonzern Toyo Kogyo ("Mazda") ein Unternehmen Lizenzen erworben hatte, das den neuen Motor als Antriebssystem für Automobile verwenden wollte, sahen sich auch deutsche Hersteller gezwungen, einen "Fuß in die Tür" zu setzen, wie es seinerzeit der Entwicklungschef der Daimler-Benz, Nallinger, formulierte. Als der neue Kreiskolbenmotor zum "Faustpfand des Überlebens" der NSU geworden war, verbesserte sich mit den nach und nach in den "Wankel-Club" einsteigenden Automobilherstellern dank hoher Eintrittsgebühren der sorgfältig ausgetüftelten Lizenzverträge zwar die finanzielle Situation, auch konnten mit dem in den Lizenzverträgen ebenfalls vereinbarten Austausch des gewonnenen know-hows weitere technische Verbesserungen hinsichtlich der Betriebssicherheit erreicht werden, dafür verfügte die NSU nicht mehr über die Definitionsmacht, die weitere technische Entwicklung des Kreiskolbenkonzeptes auf dem Automobilmarkt zu bestimmen. Als 1969 die Fusion mit der VW-Tochter Auto-Union eingeleitet wurde, fühlte man sich bei NSU zunächst sogar noch als "Retter" des angeschlagenen Großkonzerns, der mit dem Käfer viel zu lange an einem technischen nicht mehr zeitgemäßen Konzept festgehalten hatte (vgl. Lotz 1978:120ff). Wie naiv hinsichtlich der zukünftigen Entscheidungsspielräume in Neckarsulm zu dieser Zeit allerdings gedacht wurde, verrät der Ausspruch, daß man VW keinesfalls als Konzernmutter, sondern als "fette Tante" betrachtete, in der Hoffnung, die bei NSU eingeschlagenen Entwicklungswege mit verbesserter finanzieller Ausstattung weiter fortzusetzen. Mit der Eingliederung in den VW-Konzern verlor NSU aber die unternehmerische Selbstständigkeit, auch wenn man sich in Wolfsburg zur Beruhigung einiger Aktionärskreise, die der Fusion nicht zustimmen wollten, auf einige - freilich sehr allgemein gehaltene - Verpflichtungen zur Weiterführung der Kreiskolben-Aktivitäten einließ (Krauss-Weysser 1980:196-211).

Damit fehlte dem NSU/Wankelmotor ein industrieller Träger, der ohne Wenn und Aber hinter dem neuen Konzept gestanden,

das Prinzip gegenüber Kritik verteidigt und dem neuen Motor die notwendige Ausreifungszeit eingeräumt hätte.

Als sich in der Automobilindustrie zu Beginn der 70er Jahre nicht nur eine Verschärfung der Abgasvorschriften abzeichnete, sondern im Zusammenhang mit der "Ölkrise" 1973 urplötzlich ganz generell über die Zukunft der gesamten Branche diskutiert wurde, fand nach zwischenzeitlichen Erkundungsphasen neuer Antriebsmöglichkeiten in einer Art "Schulterschuß" der Hersteller eine Rückkehr zur ökonomisch wie technisch besser zu kalkulierenden "reinen Lehre" statt. Im inzwischen finanziell ebenfalls angeschlagenen Volkswagen-Konzern konnte die neue Antriebstechnik ohne Fahnenträger und Machtpromotoren im innerbetrieblichen Willensbildungsprozeß nicht gehalten werden. Statt dessen entschied man in Wolfsburg und später auch bei Audi NSU in Ingolstadt als Reaktion auf die veränderten Anforderungen, die Entwicklung eines dieselmotorischen Antriebes aufzunehmen, um damit einer dem anerkannten "Stand der Technik" ungleich näheren und damit auch risikoärmeren Lösung zu vertrauen (vgl. Hofbauer 1976).

Die Bereitschaft, der neuen technischen Lösung des Dieselmotors einen Ausreifungszeitraum zu belassen, wurde der M.A.N. nach wenigen Jahren bereits gelohnt, als das neue Antriebskonzept in das Aufrüstungsprogramm des Deutschen Reiches plazierte und als U-Boot-Motor in wenigen Jahren an die Spitze der Verbrennungsmotoren katapultiert werden konnte.

Für den NSU/Wankelmotor zeichnet sich eine solche Perspektive sicherlich nicht ab, wenngleich der Kreiskolbenmotor z.B. sehr gut für den Betrieb mit Wasserstoff geeignet ist, dessen schadstoffarme Verbrennung an Attraktivität zunehmend gewinnt.⁵

III. RESÜMEE

Eine notwendige Bedingung dafür, daß Diesel wie auch Wankel in der Industrie überhaupt Resonanz erzeugen konnten, war aber auch eine herrschende Unsicherheit darüber, inwieweit die im Stand der Technik zusammengefaßten Lösungsmuster in Zukunft noch einsetzbar waren. In dieser Hinsicht herrschen heute z.B. sicherlich gute Voraussetzungen, die bestehenden Umweltprobleme als Ausgangspunkt für eine drastische Verschärfung gesetzlicher Auflagen zu nutzen. Zur Zeit scheint sich in der Autoindustrie jedenfalls wieder eine solche große Unsicherheit anzubahnen, inwieweit z.B. die angekündigten Einschränkungen beim Betrieb von Verbrennungsmotoren im US-amerikanischen Bundesstaat Kalifornien auch auf andere europäische Metropolen und Ballungsräume ausstrahlen, bleibt abzuwarten (vgl. Pressemitteilung 1991:3).

Die Aufgabe der staatlichen Akteure sollte sich aber nicht im Gesetzgebungsverfahren erschöpfen. Eine weitere Erkenntnis aus dem Diesel/Wankel-Vergleich zeigt, daß eine bunte Vielfalt technischer Konzepte und Lösungsvorschläge allein zum Erfolg nicht ausreicht. Neben einer "Destabilisierungspolitik" müssen daher unter staatlicher Regie Maßnahmen zur "Schließung und Konsolidierung" der verschiedenen Projekte eingeleitet und begleitet werden, um vorhandene Ideen, Erkenntnisse und Erfahrungen möglichst schnell in ein maschinen-taugliches System zu stabilisieren. Für die staatlich betriebene Technologiepolitik heißt dies, nach einer Phase der Förderung der Vielfalt und Pluralität technischer Ansätze rechtzeitig auf eine Konzentration der Ansätze und eine zielgerichtete Konsolidierung zu drängen.

Wer also für eine Abkehr von dem in allen seinen technischen Kernelementen aus dem 19. Jahrhundert stammenden Hubkolben-Verbrennungsmotor und für den Einsatz alternativer Systeme ist, der muß es auch wollen und entsprechende Vorkehrungen treffen. Auf eine technische Überlegenheit, die irgendwann einmal von selbst für einen Einsatz spricht, wird man wohl vergebens warten.

ANMERKUNGEN

¹ Zur Zeit bietet nur noch der japanische Hersteller MAZDA mit dem Sportwagen RX-7 einen Serien-Pkw mit Kreis-kolbenmotor an.

² Diese Überlegungen sind im Umfeld eines vom BMFT geför-derten sozialwissenschaftlichen Forschungsprojektes ent-standen, das unter dem Titel "Technikgenese in organisato-rischen Kontexten" zur Zeit an der TU Berlin sowie am WZB bearbeitet wird. Erste Ergebnisse befinden sich in Knie, A.: Diesel - Karriere einer Technik, Berlin 1991. Weitere Resultate sind in Knie, A.: Motoren-Politik, Protokolle und Exzerpte, Berlin 1992 (unveröffentlichtes Manuskript) zu-sammengefaßt. Wenn nicht anders angegeben, beziehen sich die Aussagen auf diese Arbeiten.

³ Person und Werk Diesels sind insbesondere bei folgenden Autoren ausführlich dargestellt:

SASS, F.: Geschichte des deutschen Verbrennungsmotoren-baues; Berlin 1962;

DIESEL, E.: Diesel - Der Mensch, das Werk, das Schicksal; München 1983 (TB) (1937);

THOMAS, D.E.: Diesel, Technology and Society. In: Industri-al Germany, Alabama 1987;

MEYER, P.: Beiträge zur Geschichte des Dieselmotors; Berlin 1913.

Entstehungs- und Entwicklungsetappen des NSU/Wankelmotors sind von Korp, D.: Der Wankelmotor. Protokoll einer Erfin-dung; Stuttgart 1975, nachgezeichnet worden. Ein Überblick zu allgemeinen Entwicklungstendenzen des Verbrennungs-motorenbaus gibt Hütten, H. in Motoren: Technik, Praxis, Geschichte; Stuttgart 1988.

⁴ Übersicht von Lizenznehmern des NSU-Wankelmotors

21.10.58	Curtiss-Wright Corp., USA	AUDI NSU/Wankel-Motoren in allen technischen Be- reichen und für alle An- wendungszwecke
29.12.60	Fichtel & Sachs AG	Otto-Industrie-, Boots- und Landfahrzeugmotoren (ohne Pkw) von 0,368-22 kW (0,5-30 PS)
25.02.61	Yanmar Diesel Engine Co., Japan	Otto-Motoren von 0,735- 74 kW (1-100 PS) und Dieselmotoren von 0,735- 221 kW (1-300 PS) für alle Anwendungszwecke außer Zweiräder, Pkw und Lkw
27.02.61	Toyo Kogyo Co., Ltd., Japan	AUDI NSU/Wankel-Motoren in allen technischen Be- reichen und für alle An- wendungszwecke

08.08.61	Massey Ferguson-Perkins Ltd., Großbritannien	Otto- und Dieselmotoren bis zu 184 kW (250PS)
04.10.61	Klöckner-Humboldt-Deutz AG	Diesel-Motoren für alle Anwendungszwecke, ohne Einschränkung
26.10.61	Daimler-Benz AG	Otto-Motoren ab 37 kW (50 PS) für alle Anwendungszwecke
30.10.61	MAN Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg AG	Diesel-Motoren für alle Anwendungszwecke, ohne Einschränkung
02.11.61	Friedr. Krupp GmbH	Diesel-Motoren für alle Anwendungszwecke, ohne Einschränkung
19.12.63	Rheinstahl Hanomag AG	Otto-Motoren von 29,4-147 kW (40-200 PS) für alle Anwendungszwecke außer Pkw
12.03.64	Daimler-Benz AG	Diesel-Motoren für alle Anwendungszwecke, ohne Einschränkung
15.04.64	S.p.A. Alfa Romeo, Italien	Otto-Motoren für Pkw von 37-220,6 kW (50-300 PS)
17.02.65	Rolls-Royce Motors Ltd., Großbritannien	Diesel- und Hybridmotoren von 74-625 kW (100-850 PS)
18.02.65	VVB Vereinigung Volkseigener Betriebe Automobilbau DDR	Otto-Motoren von 0,368-18,4 kW (0,5-25 PS) und von 37-110,3 kW (50-150 PS) für Fahrzeuge
02.03.65	Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG	Otto-Motoren von 37-735 kW (50-1000 PS) für Pkw (Renn- und Rallyezwecke)
01.03.66	Outboard Marine Corp., USA	Otto-Motoren von 0,735-221 kW (1-300 PS) als Bootsmotoren

⁵ "Die Deutsche Industrie, vor allem Audi, hat wertvolle Forschungssubstanz verschenkt. Die Idee der routierenden Kammer ist vielfältig nutzbar", heißt es bei Korp (1989:92).

LITERATUR

- ALLES ÜBER MOTOREN. In: Mot Spezial 1988
- BENTELE, M.: Engine Revolutions; Warrendale 1991
- DIESEL, E.: Diesel - Der Mensch, das Werk, das Schicksal; München 1983 (TB) (1937)
- FROEDE, W.; F.Wankel: Bauart und gegenwärtiger Entwicklungsstand einer Trochoiden-Rotationskolbenmaschine. In: Motortechnische Zeitschrift, 21 (1960)
- GOLDBECK: Kraft für die Welt; Düsseldorf 1964
- HOFBAUER, P.; B.Wiedemann: Advanced Automotive Power Systems, SAE-Paper 760591, 1976
- HÜTTEN, H.: Motoren: Technik, Praxis, Geschichte; Stuttgart 1988
- KNIE, A.: Diesel - Karriere einer Technik; Berlin 1991
- KNIE, A.: Motoren-Politik, Protokolle und Exzerpte; Berlin 1992 (unveröffentlichtes Manuskript)
- KORP, D.: Das Rotationsprinzip. In: Auto/Motor/Sport, 1/1989
- KORP, D.: Der Wankelmotor. Protokoll einer Erfindung; Stuttgart 1975
- KRAUSS-WEYSSER, F.: Die großen Krisen der Auto-Riesen, zweite Folge: NSU. In: Auto/Motor/Sport, 6/1980
- LOTZ, K.: Lebenserfahrungen; Düsseldorf 1978
- MEYER, P.: Beiträge zur Geschichte des Dieselmotors; Berlin 1913
- PISCHINGER, F.: Forschung am Verbrennungsmotor - Basis für eine weltbewegende Technik. In: Wie die Zukunft Wurzeln schlug, hrsg.von R.Gerwin, Berlin 1990, S.288-295
- PRESSEMITTEILUNG; Der Bundesminister für Forschung und Technologie, Nr. 126/91, Bonn 1991
- SASS, F.: Geschichte des deutschen Verbrennungsmotorenbaues; Berlin 1962
- THOMAS, D.E.: Diesel, Technology and Society. In: Industrial Germany, Alabama 1987
- WANKEL, F.; W.Froede: Bauart und gegenwärtiger Entwicklungsstand einer Trochoiden-Rotationskolbenmaschine. In: Motortechnische Zeitschrift, 21 (1960)
- WIEDEMANN, B.; P.Hofbauer: Advanced Automotive Power Systems, SAE-Paper 760591, 1976