

Knie, Andreas

Working Paper — Digitized Version

Gemachte Technik: Zur Bedeutung von Fahmenträgern, Promotoren und Definitionsmacht in der Technikgenese

WZB Discussion Paper, No. FS II 92-104

Provided in Cooperation with:

WZB Berlin Social Science Center

Suggested Citation: Knie, Andreas (1992) : Gemachte Technik: Zur Bedeutung von Fahmenträgern, Promotoren und Definitionsmacht in der Technikgenese, WZB Discussion Paper, No. FS II 92-104, Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung (WZB), Berlin

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/77637>

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

WISSENSCHAFTSZENTRUM BERLIN
FÜR SOZIALFORSCHUNG

PS 1192-104

**Gemachte Technik. Zur Bedeutung von
"Fahnenträgern", "Promotoren" und
"Definitions-macht" in der Technikgenese¹**

von

Andreas Knie

papers

Forschungsschwerpunkt

Technik

Arbeit

Umwelt

Zusammenfassung

Wie neue technische Artefakte entstehen, ist zu einer prominenten Frage sozialwissenschaftlicher Technikforschung geworden, wobei in letzter Zeit zur Erklärung häufig evolutionstheoretische Ansätze herangezogen werden. Am Beispiel zweier grundlegender technischer Innovationen im Motorenbau, dem Diesel- und Wankel-Motor, versucht der Beitrag, die handelnden Subjekte stärker zu berücksichtigen und gegen eine Überbewertung struktureller, entsubjektiver Erklärungsmuster zu argumentieren. Auf der Basis eines Technikgenesekonzeptes, in dem die Erzeugung neuer Techniken als Generierung-, Schließungs- und Institutionalisierungsvorgang dargestellt ist, wird technisches Arbeiten als prinzipiell bewertungsabhängige Tätigkeit beschrieben und damit der Zugang zu den realitätsprägenden Prozessen im Mikrobereich gesucht. Mit dem Konzept der "Fahnenträger" und "Promotoren" kann der Erfolg technischer Innovation als Grenzüberschreitung vorgegebener Handlungsrou-tinen beschrieben werden, wobei insbesondere der Aufbau von Schutzräumen und die Bildung von Definitionsmacht die Voraussetzung für einen erfolgreichen Durchbruch neuer technischer Lösungen schaffen.

Inhalt

1. Wie Zebulon aus der Kiste? 1
2. Technischer Voluntarismus? 3
3. Die Organisation technischer Innovationsprojekte:
"Gewinner" (Diesel) und "Verlierer" (Wankel) im
Motorenbau 8
4. Resümee: "Man muß einen haben, der daran glaubt" 20

1. Wie Zebulon aus der Kiste?

Die sozialwissenschaftliche Forschung hat sich in den letzten Jahren wieder intensiver mit den Problemen technischer Entwicklungen auseinandergesetzt und hierbei neuerdings die Erforschung von Entstehungszusammenhängen untersucht. Bei der Bearbeitung und Sichtung der empirischen Materialien war man dabei immer um eine Abgrenzung zur traditionellen, vorwiegend ingenieurwissenschaftlich betriebenen Technikgeschichte, bemüht. Im Kontrast zur genialen Erfinderpersönlichkeit, die, durch Geistesblitze inspiriert, den Gang der Technik bestimmt, legte man Wert darauf, die Entstehung und Entwicklung von Techniken als Prozeß - eingebettet in institutionelle und organisatorische Kontexte - zu definieren. Obwohl die sozialwissenschaftliche Forschung dabei eine "soziale" und "kulturelle" Kennzeichnung des Erzeugungsprozesses herausstrich, blieb dabei eine merkwürdige Vorliebe für anonyme Strukturen und Prozesse erhalten. Menschen werden zwar noch als individuelle oder kollektive Akteure benannt, deren Handlungsspielräume bleiben aber in festen Ordnungssystemen, die häufig mit einer eigendynamischen Verlaufslogik versehen werden, gefangen. Auch für den Untersuchungsbereich Technik blieb den Sozialwissenschaften der Hang für großflächig angelegte, entpersonalisierte, aber stringente und häufig mit globalem Anspruch versehene Erklärungsmuster eigen. Neuerdings scheint - angesichts der in allen Lebensbereichen wahrnehmbaren Fragmentierungen und Unsicherheiten - in den Sozialwissenschaften noch dazu eine Affinität für Theorien vorzuherrschen, die Soziales in naturwissenschaftlichen Modellansätzen einzufangen versuchen. Die alten und verstaubten strengen Kausalbeziehungen werden dabei lediglich durch Begriffe wie Selbstorganisation oder Selbstreproduktion nach dem Motto ersetzt, was für Mikroorganismen gilt, kann auch für die Beschreibung komplexer sozialer Prozesse nicht falsch sein. Die zunehmende Ablösung der Physik durch die Biologie als "Leitdisziplin" übergreifender wissenschaftlicher Theoriebildung hat es darüber hinaus mit sich gebracht, daß nun auch Anleihen aus der Evolutionstheorie zur Erklärung von Technikentwicklung herangezogen werden: "The history of technology is filled with examples of machines slowly changing over time and replacing older models, of vestigial structures remaining as parts of mechanisms long after they had lost their original functions, and of machines engaged in a struggle for survival..."². Die Entstehung neuer Techniken wird als das Ergebnis eines Meta-Mechanismusses begriffen, der sich unabhängig vom Willen einzelner Akteure, quasi hinter deren Rücken, durchsetzt. Der menschliche Faktor - an sich ein elementarer Gegenstand der Sozialwissenschaften - wird herausdestilliert und verdampft zur entpersonalisierten Superstruktur.

Unzweifelhaft ist es ein Verdienst gerade auch der sozialwissenschaftlichen Forschung, die Möglichkeiten und Grenzen menschlichen Handelns mit Blick auf strukturelle Bedingungen zu analysieren. Sicherlich gehört die Suche und das Aufzeigen von Regelmäßigkeiten dabei zu einer der Hauptaufgaben³. Doch darf die "Mustererkennung" nicht zu einem entsubjektivierten Ablaufschema geführt werden, in denen die menschlichen Akteure zu Vollzugsorganen anonymer Mächte degenerieren. Mit der Konstruktion von Ordnungen werden Hinweise auf die Voraussetzungen menschlichen Handelns gegeben, organisatorische und institutionelle Kontexte weisen die Handlungsräume aus und definieren ex-post Handlungstypen. Allerdings bleibt doch eine Eigendynamik sozialer Praxis, in der strukturelle Vorgaben ja häufig genug durchbrochen und im Rahmen der "Aneignung" objektiv vorgegebener Verhältnisse neue gesellschaftliche Realitäten produziert werden.

Sozialwissenschaftliche Technikforschung, die auf der Makroebene verweilt und empirische Bausteine zu einer geschlossenen Ordnung zusammenfügt, verliert den Zugang zu den realitätsprägenden Prozessen im Mikrobereich, die sich als Grenzüberschreitungen vorgegebener Handlungsroutinen konstituieren. Schon bei der Betrachtung vermeintlich unscheinbarer technischer Entwicklungsetappen und inkrementaler Verbesserungsleistungen zeigt sich, daß in der Definitionsphase des Lastenheftes jeder Realisierungsschritt von Techniken als eine kontroverse Praxis begriffen werden muß. Externe Vorgaben lassen sich nicht gradlinig in technische Lösungen übersetzen, sondern können lediglich als Kompromiß materialisiert werden, der dann prinzipiell bewertungsabhängig ist. Der von der Evolutionstheorie so stark betonte Selektionsprozeß als Triebfeder der Entwicklung beruht auf der Auswahl besonders funktionsoptimierter Lösungen. Konstruktionen in einer solchen Qualität entstehen aber nicht aus dem Nichts heraus. Damit ein neuer Lösungsansatz überhaupt in einen funktionsoptimalen konstruktiven Zustand überführt werden kann, müssen organisatorische Voraussetzungen geschaffen werden. Was sich in welcher Qualität als technische Lösung durchsetzt, hängt daher auch von der Bildung genügender Definitionsmacht ab, mit der neuen Lösungswegen der notwendige Entwicklungsfreiraum eröffnet wird. "Fahnenträger" müssen neue Konzepte aufgreifen und für diese ohne Wenn und Aber eintreten, "Promotoren" die notwendigen Ressourcen bereitstellen und das Projekt so lange gegen Widerstände von Vertretern herrschender Konventionen verteidigen, bis sich die Funktionsfähigkeit als allgemein akzeptierter Lösungsweg "sozial gehärtet" hat.⁴

Diese Überlegungen werden im folgenden an zwei Beispielen aus dem Motorenbau illustriert. Bei den ausgewählten Projekten des Dieselmotors sowie des NSU/Wankelmotors handelt es sich um zwei sehr grundlegende technische Innovationsprojekte, von denen sich der Dieselmotor nach der Jahrhundertwende erfolgreich als weltweit verbreitete Wärmekraftmaschine durchsetzen konnte, während den Trägern des NSU/Wankel-

motor nach erfolgreichem Großserienstart in den 60er Jahren der Einbruch in die "Phalanx" der bestehenden Techniklinien auf breiter Linie mißglückte.

Aus Sicht evolutionstheoretischer Ansätze könnte der Mißerfolg des NSU/Wankelmotors und der gelungene Aufstieg des Dieselmotors jeweils als Ergebnis eines Selektionsprozesses betrachtet werden, indem das für die jeweilige Zeit optimal angepasste Konzept zum Tragen kommt. Schaut man aber einmal in die Entstehungs- und Entwicklungszusammenhänge dieser beiden Motorenprojekte, dann läßt sich Bemerkenswertes erkennen: Die "Gewinner"-Technik Dieselmotor wurde zu Beginn der Serieneinführung zunächst mit ähnlich großen Vorbehalten konfrontiert wie sie vom NSU/Wankelmotor bekannt sind. Um die Jahrhundertwende häuften sich die technischen Probleme bei der Einführung der neuartigen Dieselmotoren in einem Ausmaß, daß sich viele, ursprünglich begeistert eingestiegene Unternehmen von diesem Projekt wieder zurückzogen und in Fachkreisen bereits offen über das Ende dieser neuen Antriebstechnik spekuliert wurde. Um nämlich als eine technische Alternative im Selektionsprozeß Bedeutung zu gewinnen, müssen sich Projekte in einem konsolidierten Zustand befinden, bei dem bereits das für den Auswahlprozeß notwendige konstruktive Profil eindeutig und stabil erkennbar ist. In diesem Zustand tauchen technische Optionen aber nicht einfach - wie Zebulon aus der Kiste - auf, sondern in dieser für die Frage Erfolg oder Mißerfolg so wichtigen Phase sorgen erst geeignete "Schutz- und Sicherungsmaßnahmen" für die Voraussetzungen zur Generierung und Härtung technischer Wissens- und Erfahrungsbestände.⁵

2. Technischer Voluntarismus?

Wenn die sozialwissenschaftliche Forschung mit dem Etikett "Technik als sozialer Prozeß" arbeitet, oder - wie hier - den Erfolg der Genese von genügend vorhandener Definitionsmacht abhängig macht, wird von Seiten der Techniker und Ingenieure häufig der Vorwurf gemacht, daß die Abkehr vom "technologischen Determinismus" zu vehement betrieben worden sei. Nunmehr erscheine technisch alles möglich, wenn nur die gesellschaftlichen Kräftekonstellationen entsprechend konfiguriert seien. Hinter diesem Einwand verbirgt sich auch die sicherlich berechtigte Kritik, daß sich die sozialwissenschaftliche Forschung bislang nur sehr ungenügend mit den konkreten Problemen der alltagspraktischen Konstruktionsarbeit beschäftigt hat. Häufig genug wurde zudem nur mit Analogien aus der Wissenschaftsforschung gearbeitet und so getan, als ob die wissenschaftliche Theoriebildung mit der Konstruktion technischer Geräte gleichzusetzen sei.⁶

Gegenstand der Arbeit von Technikern, Ingenieuren, Konstrukteuren, von allen technisch Schaffenden ist der Bau von Maschinen. Die materielle Beschaffenheit von

Maschinen ist hierbei zweitrangig. Im Vordergrund steht vielmehr der funktionale Charakter. Maschinen werden eingesetzt, um definierte Operationen weitgehend orts- und zeitunabhängig in verlässlicher und voraussagbarer Weise und - in angegebenen Grenzen - beliebig oft zu wiederholen. Hierfür müssen die zumeist recht komplexen Anforderungen und Nutzungswünsche, die an eine technische Realisierung gestellt werden, zunächst in eindeutige Zwecksetzungen umdefiniert und für die maschinelle Bearbeitung in einen Algorithmus zerlegt werden, dessen einzelne Operationsschritte dann kausal miteinander verknüpft sind.⁷

Diese eindeutige Zwecksetzung zwingt die Konstrukteure zu einem hohen Grad an Konsistenz, da sich die Ergebnisse der Arbeit hinsichtlich der definierten Ziele unmittelbar beurteilen lassen. Um die für Techniker und Ingenieure so reputationsfeindlichen Funktionsmängel zu vermeiden, ist die technische Arbeit eher durch ein beharrliches, fast konservatives Grundmoment gekennzeichnet. Was einmal als maschinelles Gefüge stabilisiert werden konnte, wird gegenüber veränderten Anforderungen - zumindest in den Basisfunktionen - möglichst lange verteidigt. Jede gewünschte Funktionsänderung - und sei sie auch noch so minimal - droht die innere Struktur zu zerreißen. Schon kleinste Änderungen eines Teilmechanismus können in einer Art Dominoeffekt die gesamte Funktionsfähigkeit gefährden. "Wenn es nicht nötig ist, zu ändern, ist es nötig, nicht zu ändern", so wird in einem Lehrsatz die hieraus resultierende Verhaltensmaxime auf den Punkt gebracht.⁸

Auf etablierten Technikmärkten im Rahmen formierter Branchenstrukturen läßt sich erkennen, daß die miteinander im Wettbewerb stehenden Unternehmen eine grundlegende Verständigung nicht nur über einen gemeinsam zu nutzenden Denk- und Handlungsrahmen verfügen. Darüber hinaus betreffen die Übereinkünfte auch Entscheidungen über die technischen Grundfragen, den Bestand von Konstruktions- und Funktionsgrundlagen, die als "Stand der Technik" festgeschrieben und stabilisiert werden. Eine solche Verständigungsleistung erlaubt den Nutzern, auf die Funktions- und Betriebs-tauglichkeit dieser Wissens- und Erfahrungsbestände zu setzen, damit das Risiko für Neuentwicklungen zu minimieren und die Voraussetzungen für hochselektive Entwicklungsleistungen zu schaffen, ohne grundlegende Entscheidungen immer wieder zur Disposition stellen zu müssen. Dieser "Stand der Technik" umfaßt einmal quasi weltweit anerkannte und damit gültige Funktions- und Konstruktionsprinzipien, die von allen Herstellern eines definierten Marktbereiches als eine Art "Grammatik" für technisches Handeln anerkannt, genutzt und damit "vorgeschrieben" wird. Diese Normen lassen sich dann als "gemeinsame Praxis" erkennen und beschreiben, wie sie sich beispielsweise in der Automobilindustrie im Hubkolben-Verbrennungsmotor als Antriebstechnik repräsentiert.

Das bedeutet aber nicht, daß alle technischen Lösungen nun identisch sind. Die globalen Prinzipien werden als "lokale Praxis" konstruktiv umgesetzt, wobei die im "Stand der

Technik" definierten Wissens- und Erfahrungsbestände die Komponenten liefern, die unternehmensspezifisch ausgewählt und kombiniert werden. Nur im Rahmen der "lokalen Praxis" können neue Wissens- und Erfahrungselemente generiert werden, die, zunächst von einem Unternehmen getragen, nur dann dauerhaft stabil bleiben, wenn sie in den branchenweiten Verständigungsprozeß und dann als gemeinsam anerkannter "Stand der Technik" festgeschrieben werden. Auf der Basis der gemeinsam getragenen technischen Grundlagen sind Unternehmen schon aus Wettbewerbsgründen hoch motiviert, im Rahmen der "lokalen Praxis" spezielle Konstruktionskomponenten anzubieten und für einen möglichst langen Zeitraum in einer technischen Vorreiterrolle exklusiv zu nutzen. Diese besondere Akzentsetzung läßt sich aber nur dann als ökonomischer Wettbewerbsvorteil sowie als technisches Reputationsgebilde realisieren, wenn Wettbewerber diese Vorgaben als Leitlinien akzeptieren und zum Nachbau bereit sind. "Erfolg ist" - so ein Entwicklungsvorstand -, "wenn nachgebaut wird".

Mit diesen Verständigungsleistungen über Basisprinzipien und der gemeinsam getragenen Definition von maschinellen Grundfunktionen ist aber auch die Festlegung von Entwicklungskorridoren verbunden, weil eben jetzt nicht mehr alle Optionen gelten. Damit sind einerseits Strukturierungsleistungen verbunden, die technisches Handeln in kognitiver, sozialer und ökonomischer Hinsicht erleichtern. Auf der anderen Seite droht aber die Gefahr eines "Technological Fix"⁹: Im Bemühen um eine möglichst dauerhafte Fortschreibung der stabilen maschinellen Grundfunktionen wird eine optimale Abstimmung zwischen Zieldefinition und Mitteleinsatz gestört, indem sich die Fragestellung umdreht. Es werden nicht mehr zuerst die Probleme definiert und dann nach technischen Lösungsmöglichkeiten gefahndet, sondern die existierenden maschinellen Grundfunktionen bestimmen die möglichen Lösungswege. Beispiel automobile Antriebskonzepte: Obwohl diese Technik in ihrer charakteristischen Struktur durch die besonderen Bedingungen der Jahrhundertwende geprägt ist, konnte in einer linearen Fortschreibung diese maschinelle Grundfunktion durch den Einsatz neuer Werkstoffe, elektronischer Steuer- und Regeltechnik sowie neuer Fertigungsverfahren zwar zu beachtlichen Leistungen kultiviert werden, gleichwohl blieben die während der Entstehungsphase zeitbedingten konstruktiven Grundentscheidungen erhalten. Insbesondere der für die damaligen Zwecke durchaus attraktive mobile Energiespeicher der flüssigen Kohlenwasserstoffe (Benzin), der nicht nur durch einen hohen massen- und volumenspezifischen Energiegehalt, sondern auch als leicht flüchtiger Treibstoff für die motorische Verbrennung geeignet war, ist heute wegen der grundsätzlich begrenzten Verfügbarkeit, aber insbesondere wegen der hohen Umweltbelastungen sowie den generell veränderten technischen Bedingungen zur Gewährleistung von Mobilität nicht mehr zeitgemäß. Um aber den Hubkolben-Verbrennungsmotor, der nur aus dem Betrieb von Benzin und Diesel seine technische Überlegenheit ableitet, auch zukünftig zu legitimieren, werden

weiterhin Anforderungen an Kraftfahrzeuge gestellt, die von der Realität längst überholt sind. Ein leitender Automobilingenieur beschreibt eine solche status quo-orientierte Nutzerperspektive folgendermaßen: "Da Nachtanken immer, besonders aber bei Selbstbedienung in der heutigen Form, überaus lästig ist, sollte der Kraftstoffvorrat für mindestens 600 km reichen. Wegen ihrer überlegenen Eigenschaften (Energiedichte nach Masse und Volumen, Handhabbarkeit, Speicherfähigkeit, schnelle Auffüllung) werden die Kraftstoffe auch in Zukunft Kohlenwasserstoffe sein"¹⁰. Hierbei muß in Erinnerung gerufen werden, daß heute zwei Drittel aller Fahrten mit einem Pkw kürzer als zehn Kilometer sind¹¹. Eine Lösungssuche für technische Voraussetzungen zur Gewährleistung von Mobilität scheint unabhängig von den existierenden Ansätzen im wahrsten Sinne des Wortes nicht mehr "denkbar".

Nun ist es zudem so, daß die Aufgaben, für deren Lösung man technische Mittel einsetzt, häufig nicht einfach in die für maschinelle Verarbeitung notwendigen algorithmischen Formen übersetzt werden können. Nochmals der Automobilmotor: Die Nutzergemeinde erwartet von einer solchen Maschine, daß diese jeden Morgen, egal ob es nun Sommer oder Winter ist, ob es am Urlaubsort oder zu Hause ist, sofort anspringt und dienstbereit ist. Der Motor soll betriebssicher im Rahmen der Benutzungsdauer funktionieren und mindestens eine Fahrleistung von 100.000 km erbringen. Die Maschine muß für lange Dauerfahrten auf Autobahnen genauso geeignet sein wie für kurze Strecken in der Stadt. Das heißt, vom Motor wird erwartet, daß er bereits in unteren Drehzahlbereichen die in ihm steckende Traktionskraft auf die Räder bringt, gleichzeitig für Überholvorgänge ein gute Beschleunigung und Durchzugsfähigkeit besitzt und dabei noch möglichst leise funktioniert. Selbstverständlich sollte dabei nicht nur der Verbrauch an Kraftstoff so gering wie möglich, sondern auch der Schadstoffausstoß begrenzt sein.

Auf der Basis des weltweit für automobile Antriebe durchgesetzten Hubkolben-Verbrennungsmotors - also unter Nutzung des "Standes der Technik" - sind diese vielfältigen Nutzungswünsche allerdings nicht alle realisierbar, da sie sich einer seriellen Problemverarbeitung im maschinellen Gefüge sperren. Der Wunsch nach einer hohen Endgeschwindigkeit läßt sich nur schwer mit dem Bedürfnis nach einem hohen Drehmoment in den unteren Drehzahlbereichen vereinbaren. Der zur Zeit in Mode kommende Einsatz der Mehrventiltechnik verbessert zwar den sogenannten "Füllungsgrad" der Zylinder, sorgt somit für eine bessere Verbrennung, ein Absenkung des spezifischen Kraftstoffverbrauches und einen etwas verbesserten Schadstoffausstoß, dies aber alles nur in höheren Drehzahlbereichen, die heute kaum noch gefahren werden können. Im Alltagsverhalten dagegen verkehren sich die aufwendigen Konstruktionen nicht nur durch höhere Kosten, höhere Reibleistungen, sondern auch durch die schlechtere Verbrennung ins Gegenteil. Der Einsatz von Techniken zur Abgasreduzierung bewirkt ein höheres Fahrzeuggewicht und erhöht damit wiederum den Kraftstoffverbrauch.

Ist ein Verständigungsprozeß auf bestimmten Grundfunktionen erreicht, kann zwar mit einem eingegrenzten Satz an Elementen operiert werden; für die Konstrukteure ist damit eine strukturierte Lösungssuche gesichert, die vielfältigen Ansprüchen an die Motorentechnik lassen hinsichtlich der maschinellen Realisierung im Ergebnis aber nur einen Kompromiß zu. Damit sind Konstruktionsergebnisse bewertungsabhängig und müssen als projektiertes Gefüge definiert, durchgesetzt und in der tatsächlich realisierten Gestalt gegenüber anderen Kompromißlinien verteidigt werden.

In maschinellen Systemen realisierte Lösungswege können nun zwar im Labor ausgehandelt und konfiguriert werden, gleichwohl existiert das Problem, daß die ausgehandelte Kompromißlinie auf Anhieb nicht vollständig in maschinelle Systeme realisiert werden kann, um eine weitgehend störungsfreie Reproduktion der gewünschten Operationen zu gewährleisten. Dieser "Einschreibevorgang" konstituiert sich als ein Prozeß, bei dem Schritt für Schritt das "flüssige" Wissen auf der Basis der sich entwickelnden Fähigkeiten in "gehärtete" maschinelle Systeme gegossen wird. Übergangsweise sind neue maschinelle Konfigurationen also noch auf Hilfestellungen angewiesen, die maschinelle Funktionsmängel durch den Einsatz manueller Hilfs- und Stütztätigkeiten kompensieren. Hierfür müssen aber nicht nur die entsprechenden Ressourcen zur Verfügung gestellt werden, es erfordert eben auch genügend Macht, um die im Vergleich zu etablierten Techniken erst mangelhaft funktionierenden Lösungsansätze zu schützen, zu verteidigen und mit dem entsprechenden "langen Atem" als potentiell funktionsfähig zu definieren. Konstruktionsbedingte Vorteile neuer Maschinen wirken als Erfolgs- bzw. Durchsetzungskriterium ja nicht sofort, sondern müssen durch eine entsprechende Schutzpolitik erst geschaffen werden.

Die Konstruktion von technischen Geräten ist somit hinsichtlich der grundsätzlichen Realisierungsfrage sowie der qualitativen Ausformung eng mit sozialen Prozessen verwoben: Die Einigung auf einen gemeinsamen Grundbestand technischer Funktionselemente, Wissenskomponenten und Verfahrenswege sowie soziale Aushandlungsprozesse um die Festlegung der Kompromißlinie bei der konstruktiven Festlegung sind genauso elementarer Teil der "Technikentwicklung" wie die zur Sicherung von Entwicklungsfreiräumen notwendige Existenz von genügender Definitionsmacht. Vor diesem Hintergrund muß der Erzeugungsprozeß von neuen Techniken als ein aktiv einzuleitendes und politisch abzusicherndes Projekt verstanden werden.

Für die Untersuchung solcher Entstehungsprozesse auf schon bestehenden Märkten mit bereits existierenden technischen Angeboten kann die Phase der Technikgenese als ein "Schließungs- und Konsolidierungsprozeß" generierter Wissens- und Erfahrungsbestände aufgefaßt werden, der dann einen erfolgreichen Abschluß findet, wenn eine neue technische Lösung zum "Stand der Technik" wird. Neue Lösungen und Ver-

fahrenswege sind damit als "legitimer" Wissens- und Erfahrungsbestand global anerkannt, als "gemeinsame Praxis" Teil des unternehmensübergreifenden Verständigungsprozesses und stehen damit den Unternehmen für die "lokale Praxis" zur Verfügung.

Drei Phasen lassen sich unterscheiden:

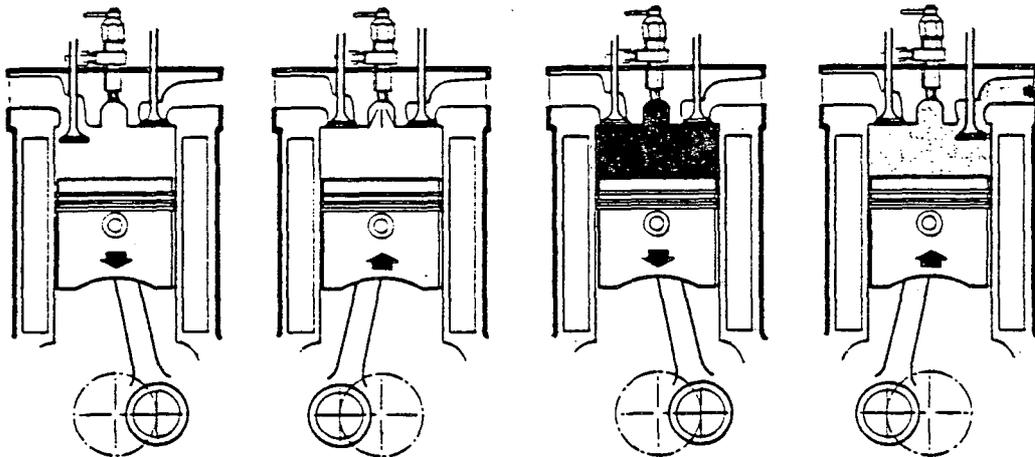
- "Einbruch" in bestehende und nach außen hin abgesicherte Wissensstrukturen. Existierende Binde- und Stabilisierungskräfte des aktuellen "Standes der Technik" müssen in ihrer eliminierenden Kraft partiell neutralisiert, Ressourcen mobilisiert und Vorkehrungen zum Aufbau von "Definitionsmacht" zur Sicherung von Entwicklungsfreiräumen geschaffen werden.
- "Schließen und Konsolidieren": Neue Erkenntnisse werden in maschinelle Systeme eingeschrieben und stabilisiert, sowie Konsens über die nicht mehr zur Disposition stehende konstruktive Auslegung erzielt.
- "Institutionalisierung": Neue Technikelemente oder Konfigurationen werden über den Entstehungszusammenhang der "lokalen Praxis" sozial "gehärtet", indem sie im oder als "Stand der Technik" festgeschrieben und damit zu allgemein akzeptierten und verwendeten Regeln gehören.¹²

3. Die Organisation technischer Innovationsprojekte: "Gewinner" (Diesel) und "Verlierer" (Wankel) im Motorenbau

In Ingenierskreisen ist man sich heute darüber einig, daß das nach Rudolf Diesel benannte motorische Verfahren aufgrund der besonderen thermodynamischen Eigenschaften, die sich in einer kraftstoffsparenden Betriebsweise ausdrücken, zur weltweiten Nummer 1 der Wärmekraftmaschinen geworden ist. Die Einsatzgebiete reichen von stationären Verwendungen, zum Einsatz in Schiffs- und Schwerlastverkehr bis zum modernen Pkw-Motor.

In Ingenieurskreisen herrscht auch Einverständnis über die Ursachen, die für das weitgehende Scheitern des vom schwäbischen Zweirad- und Automobilhersteller NSU in den 60er Jahren nach Ideen und Plänen von Felix Wankel eingeführten neuartigen Kreiskolbenmotors für den Serienantrieb in Pkws verantwortlich waren: Sogenannte "prinzipbedingte" technische Nachteile des Wankelmotors gegenüber der herrschenden Konstruktionspraxis, nämlich die für den Verbrennungsprozeß äußerst ungünstigen Brennraumform, werden als maßgebliche Gründe genannt. Hierdurch sind der Optimierungsarbeit mit dem Ziel der Schadstoffreduzierung und der Verbrauchsabsenkung im Vergleich zum klassischen Hubkolben-Triebwerk von vornherein 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 Jahre weitgehend eingestellt haben.

Schematische Skizze eines Hubkolben-Ottomotors



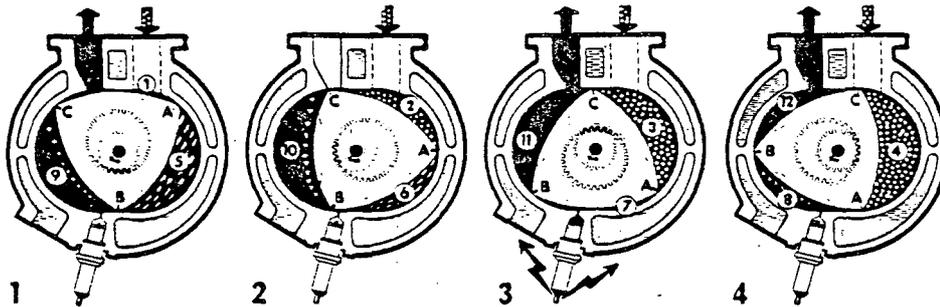
1. Takt: Kolben bewegt sich abwärts und saugt Luft durch das Einlaßventil an

2. Takt: Am Ende des Verdichtungshubs wird Kraftstoff eingespritzt, der sich entzündet

3. Takt: Arbeitshub; der Druck der Verbrennungsgase schiebt den Kolben abwärts

4. Takt: die verbrannten Gase werden durch das Auslaßventil ausgestoßen

Schematische Skizze eines NSU-Wankelmotors



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

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

Im einzelnen bedeuten:

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

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

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

Bild 4: Ende des Ansaugvorgangs (4), Beginn der Verbrennung (8), Ausschieben (12). Bei C öffnet der kreisende Kolben wieder den Einlaß für den nächsten Ansaug-Takt.

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

Die Genese des Dieselmotors mit der des NSU/Wankelmotors zu vergleichen, bietet sich nun aus mehreren Gründen an: Einmal lassen sich so Entstehungsprozesse der Jahrhundertwende (Diesel) mit technischen Innovationsprojekten der 50er, 60er und 70er Jahre (NSU/Wankel) in Beziehung setzen. Beide Motorenprojekte sind 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 industrielle und ingenieurwissenschaftliche Reformfähigkeit zu treffen. Schließlich - so das Hauptaugenmerk - soll gezeigt werden, daß die heute wie selbstverständlich existierenden technischen Linien keineswegs aus dem Nichts heraus entstanden sind. Die von Ingenieurskreisen bemühten "prinzipbedingten" technischen Kriterien sind nicht von vornherein wirksam, sondern als Ergebnis sozialer Prozesse entstanden, das auf der Grundlage objektiver Bedingungen und subjektiver Voraussetzungen ausgehandelt wurde. Entsprechend dem oben skizzierten konzeptionellen Verständnis werden die beiden Fallanalysen in drei Schritten vorgestellt.¹³

"Einbruch"

Rudolf Diesel (1858-1913) und Felix Wankel (1902-1988) waren als Initiatoren ihrer Projekte Außenseiter in der Motorenbaubranche. Der als Kältetechniker bei der Firma Linde angestellte Diesel träumte 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, den damals vorherrschenden Kraftmaschinen. Er schockierte daher die Maschinen- und Motorenbauer seiner Zeit mit dem Vorhaben, den vom französischen Gelehrten Sadi Carnot schon 1824 angegebenen "idealen Kreisprozeß" für Wärmekraftmaschinen endlich zu verwirklichen. Eine praktische Realisierung der von Carnot empfohlenen isothermischen Zustandsänderung von Gasen, bei der durch Verbrennung entstehende Wärme möglichst weitgehend in Arbeit verwandelt werden soll, war damals als theoretisches Modell durchaus bekannt, galt aber unter Praktikern wegen des notwendigen hohen Verdichtungsdrucks im Zylinder als völlig unbrauchbares Konzept. Rein deduktiv vorgehend, stellte Diesel darauf aufbauend Berechnungen für Wärmekraftmaschinen an, die der Theorie nach über eine vielfach höhere Kompression verfügen mußten, als im Verbrennungsmotorenbau damals üblich waren. Diesels Konzeptionsvorschläge verstießen damit aber gegen die bisherige "gemeinsame Praxis", die Vorschläge waren viel zu unkonventionell ausgefallen und versprachen keine Aussicht auf eine maschinelle Realisierung. Die Maschinenfabrik Augsburg, die Deutzer Gasmotorenfabrik, die Gebr. Körting, die Gebr. Sulzer

und der Krupp-Konzern, alle damals führenden Unternehmen des Maschinen- und Gasmotorenbaus in Deutschland, die Diesel um Mitarbeit an seinem Projekt angeschrieben hatte, 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 von 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".¹⁴ Noch bevor das Berliner Patentamt Diesels Vorschläge endgültig bewertet hatte, war ihm von der Industrie bereits die Tür zugeschlagen worden.

Felix Wankel, der Bastler und Autodidakt, hatte sich als "Reichs-Dichtungs-Heini" durchaus in Motoren- und Automobilkreisen einen Namen gemacht, indem er mit einer kleinen Werkstatt in unkonventioneller Weise Probleme der Gasabdichtung bei Kolbenmotoren bearbeitete und zu diesem Zweck mit der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt (DVL) in Berlin-Adlershof zusammenarbeitete. Seine eigentliche Liebe galt allerdings einem neuartigen Motor, der sich nicht mehr dem umständlichen Hubkolben-Triebwerk bedienen sollte, sondern den Verbrennungsprozeß als kreisenden Bewegungsablauf ausführte. Wankels Konzept einer solchen "Rotationskolbenmaschine" verfügte damit aber über eine langgestreckte, sichelartige Brennraumform, während der herrschende "Stand der Technik" eine möglichst kompakte Architektur als optimale Form festgeschrieben hatte. Als Wankel in den 30er Jahren und später nach Kriegsende die Industrie für seinen neuen Motor zu interessieren versuchte, bekam er diese Abweichung als arrogantes Desinteresse der Hersteller offen zu spüren. "Bessere Motoren als unsere gibt es nicht" behauptete man beispielsweise bei Opel. Auch Daimler-Benz und BMW sahen keine Veranlassung, die Hubkolben-Technik auch nur zu überdenken. Selbst die als innovationsfreudig bekannte NSU sah "bei aller Anerkennung der Bedeutung, die derartigen Kraftmaschinen einmal zukommen kann", keine Realisierungschancen.

Um die nach außen abgedichteten Grundfesten der herrschenden Konventionen des "Standes der Technik" aufzuweichen und die existierenden Eliminierungskriterien zu neutralisieren, bedurfte es erst eines wohlorganisierten Prozesses. Durch den Aufbau von grenzüberschreitenden Sinnzusammenhängen wurden "Übersetzer" gesucht, die die unkonventionellen Projektideen langsam und zumindestens teilweise mit den herrschenden Konventionen synchronisierten, um zumindest als "lokale Praxis" eine Realisierungschance zu bekommen. Bei beiden Projekten wurde dieser "Einbruch" allerdings mit sehr verschiedenen Strategien versucht, die sich schließlich auch in sehr unterschiedlichen technischen Ergebnissen ausdrückten.

Wankel gelang die Verbindung zu einem Unternehmen mit Hilfe einer Strategie, die man vielleicht als "Trojanisches Pferd" bezeichnen könnte. Ein Beratervertrag seiner "Technischen Entwicklungsstelle Lindau" (TES) mit dem schwäbischen Zweiradhersteller NSU über Abdichtungsprobleme bei der Weiterentwicklung von Drehschieber-Motoren ermöglichte es ihm, eine Art Brücke zu bauen und den damaligen Rennleiter Froede nicht nur Schritt für Schritt in sein Konzept der Rotationskolbenmaschine einzuführen, sondern Froede im Unternehmen NSU auch zu einem "Fahnenträger" des neuen Motorenprojektes zu machen. Froede arbeitete aber nicht nur als Verbindungs- und Werbeträger, sondern sah seine Rolle auch darin, Wankel dem Vorstand gegenüber nicht als "technischen Phantasten" erscheinen zu lassen. Als der Anlagen- und Maschinenbauer Borsig in einen recht unverbindlichen Kontakt mit der TES trat, um über verschiedene Anwendungsmöglichkeiten von Rotationskolbenmaschinen zu verhandeln, nutzte Froede diese Anfrage dazu, den NSU-Vorstand unter Zugzwang zu setzen. 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 eher angestammte Marktsegmente besetzte und damit einem Erfahrungsvorsprung erreichte.

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 reputierten Professoren des Theoretischen Maschinenbaus sowie der Technischen Thermodynamik eine Art "Unterstützernetzwerk" aufbaute. Mit einer zu diesem Zweck beim Berliner Springer Verlag erschienenen Schrift ließ er insbesondere die theoretischen Grundlagen seines Werkes von führenden Kapazitäten wie Reuleaux, Zeuner und Linde begutachten, deren weitgehend positive Stellungnahmen er zu Promotionszwecken seines Projektes 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".¹⁵

Den von Diesel bestellten Gutachten und Stellungnahmen 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 sehr gewagten mathematischen Berechnungen, reagierte auf dieses Angebot einer der führenden Maschinenbauanstalten in Deutschland aber kei-

neswegs begeistert. Die unverbindliche 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 sehr 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 Gruson-Werkes 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, 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 nicht nur eine gut ausgestattete materielle Basis, sondern erreichte damit 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. Führende Unternehmen des Schwermaschinenbaus eröffneten dem Projekt als "lokale Praxis" eine Aussicht auf Realisierung. Damit verbesserten sich auch die Chancen, daß andere Wettbewerber an diesem Motor Interesse zeigten, um das neue Konzept damit langsam zur "gemeinsamen Praxis" werden zu lassen.

Bei beiden Projekten spielten allerdings auch Bedingungen eine Rolle, die weder von Wankel noch von Diesel unmittelbar zu beeinflussen waren. Denn bei beiden Vorhaben hatte eine sich abzeichnende Verschiebung 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 Turbinen-Fieber die Autoindustrie nervös werden, da plötzlich auch beim Pkw der konventionelle Hubkolbenmotor in Frage gestellt war und ein - in den Augen vieler Zeitgenossen - längst überfälliger Technologiesprung in Richtung Strahltriebwerk vor der Tür stand.¹⁶

Während Diesels konstruktive Fähigkeiten eher durchschnittlich einzuschätzen sind - der 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 und der NSU-Geschäftsleitung 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. Aus der Zulieferindustrie, deren Bedeutung man bei NSU, insbesondere in den Möglichkeiten zur Obstruktionspolitik, viel zu spät erkannte, wurde hinsichtlich des Verhaltens der NSU schon früh der Ausspruch kolportiert: "Eines Tages rennen die gegen eine Wand"¹⁷. NSU kokettierte in der Branche tatsächlich lange mit dem Spruch, eine "Goldader angekratzt" zu haben und ging erst dann auf Kooperationsuche, als sich Finanzierungssorgen einstellten. Zu dieser Zeit 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.¹⁸ Dabei waren schon Ende der 50er Jahre verschiedene Kontakte zur Ausweitung der finanziellen und industriellen Basis angebahnt, die durchaus zu einer Art "Interessengemeinschaft Neue Kolbenmaschine" - wie es Wankel selbst rückblickend einmal formulierte - hätten zusammengebunden werden können.

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-Konzern, Maschinenfabrik Augsburg und Gebr. Sulzer, über die ersten Testergebnisse berichten. Wankel referierte 1960 - Ironie der Geschichte - im Deutschen Museum über die fortgeschrittenen Entwicklungsarbeiten des Kreiskolbenmotors. Öffentlichkeit und Fachvertreter zeigten zwar einerseits sehr großes Interesse an dem neuen Motorenkonzept, die führenden Hersteller der Automobilindustrie blieben in ihrer Bewertung aber äußerst zurückhaltend. Der Chef des Branchenprimus VW, Nordhoff, sprach sogar abwertend von einem "todgeborenen Kind" und kündigte einen Einstieg höchstens aus "repräsentativen Gründen" an. Der Branchenneuling NSU, erst Ende der 50er Jahre wieder in den Kreis der Automobilbauer zurückgekehrt, galt bei der übrigen Industrie wegen seiner unkonventionellen Geschäftspraxis als suspekt. Als "kleinste Automobilfabrik mit dem größten Maul", hatte der VW-Chef NSU einmal charakterisiert. 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.

Eine in der Genesephase vernachlässigte "Bündnispolitik" - dies soll noch gezeigt werden - schränkt die Möglichkeiten zur Bildung genügender Definitionsmacht ein und übt damit nicht nur unmittelbaren Einfluß auf den Prozeß der technischen Konfiguration aus, sondern vermindert damit ganz generell die Durchsetzungschancen einer neuen Lösung zur "allgemeinen Praxis".

"Schließen- und Konsolidieren"

Obwohl sich Diesels trickreiche Absicherungspolitik von Wankels Strategie so deutlich unterschied, teilten doch beide "Erfinder" gleichermaßen das Schicksal, vom Gang der Entwicklungsarbeiten immer stärker ausgeschlossen zu werden. Beide hatten für ihr Projekt zwar Entwicklungsfreiräume geschaffen, in denen für eine befristete Zeit die herrschenden Eliminierungskriterien des "Standes der Technik" außer Kraft gesetzt waren, dennoch setzten sich bei Beiden 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 quasi in eine Dampfmaschine des 20. Jahrhunderts, die mit technischen Eigenschaften für ein genau kalkuliertes Einsatzgebiet ausgestattet werden sollte. Die von Diesel skizzierten Vorschläge und Berechnungen zu einer allgemeinen Reform im Verbrennungsmotorenbau konnten zwar tatsächlich in einem maschinellen System realisiert und damit als reproduzierbarer Funktionsablauf fixiert werden, allerdings nur um den Preis einer "Milieuschädigung" des neuen Konzeptes: Abmessungen, technische Eigenschaften, Leistungsprofil, Bauform usw. stellten Korsettstangen dar, 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 dem Projekt eines Verbundmotors, Diesels "eigentlichem Dieselmotor", standen bei dieser Schließungspolitik, wenn überhaupt, nur sehr begrenzt Zeit und Geld zur Verfügung.

Felix Wankel konnte sich mit seiner kleinen Entwicklungsfirma länger gegenüber den Interessen von NSU behaupten. Er mußte aber schließlich auch akzeptieren, daß vor dem Hintergrund sehr begrenzter Ressourcen "Schließungsprozesse" eingeleitet wurden. Aus der Fülle von Möglichkeiten entschied man sich schließlich für einen Kreiskolbenmotor, einer weniger radikal ausgefallenen "Revolution", die Wankel als "Volksausgabe" einer ursprünglichen Idee titulierte. Allerdings gab es in Neckarsulm zunächst - im Gegensatz zur Augsburger Maschinenfabrik - keine Konzentration auf Marktsegmente. Ein leitender Mitarbeiter sah später in der Verfolgung der verschiedenen Einsatzgebiete mit unterschiedlichen technischen Konzepten eine völlige "Verzettelung im Forschungs-

und Entwicklungsbereich" und damit einen der "Hauptfehler der Geschäftspolitik". Als Ende der 50er Jahre immer deutlicher wurde, daß die finanziellen Belastungen nicht mehr allein von 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 wurde aber auch deutlich, daß wegen der viel zu spät eingeleiteten Absicherungsmaßnahmen von Seiten der NSU nun eine Bündelung der Entwicklungsanstrengungen, die aber für einen erfolgreichen Großserienstart notwendig waren, nicht mehr zu schaffen war. Weitere Lizenzgeber zu akquirieren setzte voraus, jetzt noch mehr "in die Breite zu gehen". Der 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 Schließungs- und Konsolidierungsarbeiten nicht in der für die Generierung maschineller Systeme notwendigen Qualität gelang. Verschiedene Testeinsätze, unter anderem als Bootsmotor und in einem kleinen Sportwagen, dem NSU-Spider, hatten die Probleme der mechanischen Haltbarkeit deutlich dokumentiert und führten dazu, daß in Fachkreisen der "Ruf des Motors" - noch vor dem Erscheinen des legendären Ro80 - schon "ruiniert war".

"Institutionalisierung"

Sind neue technische Prinzipien vom gesicherten "Stand der Technik" noch sehr weit entfernt, werden sie in der Fachwelt zunächst mit Skepsis aufgenommen. Durch die Brille der etablierten Technik betrachtet, werden die Nachteile neuer Lösungen besonders aufmerksam registriert, da sie den Nutzen vorhandener Wissensbestände und Fähigkeiten zu entwerten drohen. Die Qualität der eingeleiteten Schutz- und Sicherungsmaßnahmen offenbart sich daher dann, wenn in die maschinellen Systeme eingeschriebene neuen Wissens- und Erfahrungsbestände über den unternehmerischen Bereich der "lokalen Praxis" heraus transferiert werden sollen, um als branchenweite Lösung anerkannt und als "Stand der Technik" institutionalisiert zu werden. Nur unter diesen Bedingungen kann der erreichte "Vorsprung" ja kommerzialisiert werden.

Das Problem in dieser für den Erfolg bzw. Mißerfolg einer technischen Innovation so sensiblen Phase liegt - wie im zweiten Kapitel bereits skizziert - 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 bereitgestellt werden und das neue

Prinzip auch in dieser labilen Phase gegenüber den herrschenden Techniken verteidigt wird, hängt von der Existenz genügender Definitionsmacht ab, die letztlich auch darüber entscheidet, ob aufgrund der Resultate die neue Technik als funktionsfähig oder nicht funktionsfähig zu bewerten ist.

Obwohl die Maschinenfabrik Augsburg, die 1898 mit der Nürnberger Maschinenbau AG zur M.A.N. fusionierte, den "Einschreibeprozess" durch die Vorgabe genau definierter Einsatzkonzepte rigider betrieben hatte, traten zum Serienstart des neuen Motors ganz erhebliche technische Probleme auf. Nachdem die VDI-Versammlung in Kassel noch einen glänzenden "Triumph der Theorie" gezeigt hatte, erlebte man in der praktischen Betriebserprobung nun ein völliges Desaster. Zur Jahrhundertwende hing der Erfolg des Motorenprojektes nur noch an einem "seidenen Faden", der über einige Jahre jederzeit abzureißen drohte. Die erste ausgelieferte Maschine, die 1898 als stationäre Kraftquelle im Kemptener Werk der "Vereinigten Zündholzfabriken AG" aufgestellt worden war, konnte im alltäglichen Betriebslauf überhaupt nicht befriedigen. Ständig traten Schäden an der Kurbelwelle, an 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 konnte auch nicht annähernd die vom Dampfmaschinenbetrieb gewohnten Eigenschaften erreichen. Die von Lizenznehmern nach Plänen der Augsburger Versuchsabteilung gebauten Maschinen zeigten während der Erprobung ganz ähnliche Schwierigkeiten.¹⁹ 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 Krupp zog sich ganz vom Projekt zurück. Selbst bei M.A.N. lebten anfängliche Widerstände gegen den neuen Motor wieder auf und in allen in Augsburg mit dem neuen Dieselmotor beschäftigten Bereichen herrschte eine "eisige Stimmung".

Rudolf Diesel hatte aber seine Arbeiten erst begonnen, als er führende Unternehmen der Branche im Rahmen einer "strategischen Allianz" an der Entwicklung beteiligen konnte. Als sich in dieser Phase die Geschäftsleitung unter Direktor Buz dazu entschied, am Motorenprojekt festzuhalten und die entstandenen Funktionsprobleme als prinzipiell lösbar zu definieren, hatte dies firmenintern wie auch in der Branche durchaus eine Signalwirkung. Die Entwicklungsarbeiten wurden auf reduziertem Niveau weitergeführt, das Konzept konnte zumindest im Unternehmen unter dem Schutz des Vorstandes "überwintern". Unter der Führung von Imanuel Lauster war im Unternehmen nach dem Ausscheiden Rudolf Diesels eine neue Generation von "Fahnenträgern" herangewachsen, deren Arbeiten nun unter der Promotion des Vorstandes trotz der erheb-

lichen Rückschläge fortgesetzt werden konnten. Die von Diesel trickreich aufgebauten "Schutzräume" erfüllten in diesen ersten Jahren nach der Jahrhundertwende somit nochmals eine zentrale Funktion.

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

Die technischen Probleme bei der Großserieneinführung des neuen Kreiskolbenmotors im NSU Ro80 nehmen sich aus dieser Perspektive 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 der Serieneinführung, zumal in der Pannenstatistik der Ro80 im Jahre 1969 dem ebenfalls neuen, "konventionellen" Audi 100 kaum unterlegen war. Eine zweite, deutlich verbesserte Kreiskolbenmotorgeneration, KKM 871 genannt, die ab Mitte der 70er Jahre für den Serieneinsatz bereitstand, dokumentierte zudem eine deutliche Verbesserung hinsichtlich der Drehmomentcharakteristik, dem Verbrauch und der Schadstoffreduzierung.

Auch im Fall Wankel waren Erfolg und Mißerfolg des neuen Kreiskolbenmotors eng an ein Unternehmen gebunden. Im Unterschied zum Branchenführer M.A.N. hatte der Branchenneuling NSU aber einen Alleingang hinter sich und benötigte zur Sicherung der maschinellen Stabilität dringend einer Verbreiterung der industriellen Trägerschaft. Als 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 die deutschen Hersteller gezwungen, einen "Fuß in der Tür" zu halten, wie es seinerzeit der Entwicklungschef der Daimler-Benz AG, Nallinger, formulierte. Als der neue Kreiskolbenmotor zum "Faustpfand des Überlebens" für NSU geworden war, verbesserte sich durch die hohen Eintrittsgebühren der sorgfältig ausgetüftelten Lizenzverträge mit den interessierten Automobilherstellern nicht nur die finanzielle Situation, mit dem in den Lizenzverträgen ebenfalls vereinbarten Austausch des gewonnenen Know-hows konnten auch weitere technische Verbesserungen in der Betriebssicherheit erreicht werden. Eine Bündelung der Ressourcen auf ein Anwendungsgebiet sowie der Ausbau des Erfahrungsaustausches zu einer gemeinsamen Entwicklungsgruppe gelang NSU zu diesem Zeitpunkt aber nicht mehr. In der zweiten Hälfte der 60er Jahre zeichnete sich vielmehr ab, daß die schwäbische Firma zum ökonomischen Überleben die Kooperation mit einem größeren Industrieunternehmen eingehen mußte; allerdings herrschte mit der Wankel-Entwicklung im Rücken noch

Optimismus, auch weiterhin in diesem Bereich die unternehmerische Selbständigkeit zu behalten. Als 1969 die Fusion mit der VW-Tochter Auto-Union zur Audi NSU Auto Union eingeleitet wurde, fühlte man sich bei NSU zunächst sogar als "Retter" des angeschlagenen Volkswagen-Konzerns, dessen viel zu langes Festhalten am Käfer-Konzept beinahe den Untergang des größten deutschen Herstellers bedeutet hätte. Die Zusammenarbeit mit der "fetten Tante" - so stellten sich Mitarbeiter von NSU VW vor - blieb jedoch nicht lange unproblematisch. Anfang der 70er Jahre vollzog sich zunächst bei NSU an entscheidenden Stellen ein Generationswechsel, die auf das Wankel-Konzept eingeschworenen Fahnenträger und Promotoren schieden aus Altersgründen aus, beim neuen Unternehmenspartner Audi stand mit Ferdinand Piech schon bald ein Mann an leitender Entwicklungsposition, der "kein Freund des Wankelmotors war". Damit fehlte dem Projekt 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.

Zu Beginn der 70er Jahre, als sich in der Automobilindustrie 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 möglicher Antriebskonzepte in einer Art "Schulterschuß" der Hersteller eine Rückkehr zur ökonomisch wie technisch besser zu kalkulierenden "reinen Lehre" statt. Im finanziell angeschlagenen Volkswagen-Konzern konnte vor diesem Hintergrund eine völlig unkonventionelle Antriebstechnik ohne Fahnenträger und Machtpromotoren im innerbetrieblichen Willensbildungsprozeß nicht gehalten werden. Statt dessen wurde in Wolfsburg und später auch in Ingolstadt als Reaktion auf die veränderten Anforderungen entschieden, die Entwicklung eines dieselmotorischen Antriebes aufzunehmen, um damit einer im "Stand der Technik" fest verankerten und damit risikoärmeren Lösung zu vertrauen.²⁰

Der japanische Hersteller Mazda, der in den 60er Jahren euphorisch in die Serienproduktion eingestiegen war, blieb entgegen dem internationalen Trend bei der Stange. "We used science and experimentation to cross that frontier", faßte Mazda-Chef Yamamoto 1983 in einer Rede in Detroit rückblickend die Probleme zusammen. "But we learned that without enthusiasm and untiring devotion, we could never have defied those seemingly impossible challenges".²¹

Von einzelnen Personen im Unternehmen getragen, gefördert und gegen internen und externen Widerstand verteidigt, blieb der Wankelmotor als Antrieb für einen Sportwagen erhalten. Erste Anzeichen deuten nun darauf hin, daß Mazda dieser lange Atem möglicherweise gelohnt werden würde. 1991 gewann ein mit einem Wankel-Motor ausgerüsteter Mazda-Rennwagen die "24 Stunden von Le Mans", eine Demonstration von Zuverlässigkeit unter extremen Bedingungen, wie sie diesem Motorenkonzept immer wieder abgesprochen worden war. Auf der "Tokyo Motor Show" präsentierte die Firma

mit dem HR-X im selben Jahr erstmals einen mit Wasserstoff betriebenen Wankelmotor. Der hinsichtlich Erzeugung und Speicherung zwar als nicht unproblematische, aber wegen seines geringen Schadstoffgehaltes als eine mögliche Zukunftsoption für mobile Antriebskonzepte gehandelte Wasserstoff läßt sich in einem Wankelmotor wesentlich einfacher handhaben als im konventionellen Hubkolben-Triebwerk. Deutsche Hersteller - so wird jedenfalls in Fachkreisen angemerkt - haben mit der radikalen Abkehr von diesem Prinzip gerade auch hinsichtlich der Verwendung anderer Energieträger "wertvolle Forschungssubstanz verschenkt". Parallelen zwischen der Mazda-Politik in den letzten Jahren und dem Verhalten der M.A.N. kurz nach der Jahrhundertwende können jedenfalls nicht mehr ganz von der Hand gewiesen werden.

4. Resümee: "Man muß einen haben, der daran glaubt"

Auf der Grundlage der hier vorgestellten Projekte kann als Ergebnis festgehalten werden, daß für den Erfolg einer technischen Innovation weder anonyme strukturelle Komponenten noch die Genialität oder konstruktive Ausführung einer technischen Idee, sondern vielmehr ein machtpolitisches Gespür sowie organisatorische Fähigkeiten erforderlich sind, die mit dem Aufbau von Schutzräumen und Definitionsmacht erst die Voraussetzung für überlegene technische Resultate schaffen. Zur erfolgreichen Einführung und branchenweiten Absicherung einer grundlegenden technischen Neuerung auf einem bereits existierenden Technikmarkt ist daher ein Zusammenspiel mehrerer subjektiver und objektiver Faktoren notwendig, die erst in der Summe genügend Potential zur Destabilisierung herrschender Strukturen mobilisieren können. Auf die in der Einleitung vorgestellten Überlegungen zurückkommend, sollte die Darstellung dieser - zugegebenermaßen recht spektakulären - Fallbeispiele deutlich zeigen, daß zur Projektierung und Durchsetzung neuer technischer Produkte eben immer strukturell gegebene Realitäten und existierende Denk- und Handlungsroutinen durchbrochen werden müssen. Die konkret handelnden Akteure sind Menschen, die für bestimmte Konzepte einstehen und für deren Realisierung Mut zu Grenzüberschreitungen aufbringen müssen. Eine in den Konzepten schlummernde und als Werbe- und Durchsetzungsfaktor einsetzbare Rationalität gibt es nicht. Nur wenn es gelingt, "Fahnenträger" und "Promotoren" zu finden, können herrschende Konventionen überwunden werden. Diese beiden Funktionen, die sich durchaus auch in einer Person repräsentieren können, scheinen sich dabei in ihrer Bedeutung abzuwechseln. Zunächst müssen "Fahnenträger" gefunden werden, die ein Unternehmen mit neuen Ideen konfrontieren, die als Innovationsprojekte dann in den Willensbildungsprozeß eingespeist werden, um anschließend über "Promotoren" in die unternehmerische Entscheidungspraxis einfließen. Sind neue Projekte damit stabilisiert und als Entwicklungsfelder legitimiert, können sich im betrieblichen Alltag wieder neue

"Fahnenträger" heranbilden. Denn bei beiden Technikprojekten zeigte sich die Branche unisono einig, die Schwierigkeiten bei der Realisierung der neuen Techniken größer einzuschätzen als einen zu erwartenden Nutzen. Auf der Grundlage bisheriger Erfahrungen kamen diese Entscheidungen sicherlich mit gutem Grunde zustande. Unter Druck scheint sich die "Gemeinde" der Hubkolbeningenieure eher noch enger zusammenzuschließen und sich gemeinsam auf die Einhaltung des Denk- und Handlungsrahmens der technischen Thermodynamik zu verpflichten. In der Konsequenz wird die Anerkennung dieser Rahmenbedingungen zum Prinzip erhoben, wobei konstruktive Schwierigkeiten abweichender Lösungswege dann zu prinzipbedingten Problemen erklärt werden. In dieser Wagenburgmentalität droht die Reformfähigkeit - notwendige Voraussetzungen für Innovationen - verloren zu gehen, weil der Blick für das Ganze getrübt und somit das "Technological Fix" noch weiter stabilisiert wird. "Befaßt man sich näher mit der Bewegung im Kreiskolbenmotor, könnte man den Hubkolbenmotor - trotz beachtlicher Ausreifung im Detail - ein Fossil aus dem Urstromtal der Dampfmaschinen halten: schwergewichtig, ungefügt, unrationell in der Mechanik, so mit einem notwendigerweise großen und schweren Schwungrad, laut, kostspielig beruhigt - überreichliche Gaben auf dem Opfertisch der Thermodynamik".²² Großserienproduktion - wie sie in der Automobilindustrie weltweit vorherrscht - zwingt Unternehmen zu diesem sehr konservativen Verhalten. Grundlegende technische Sprünge werden tunlichst vermieden. "Ein neuer Motor kann nur ein besserer älterer Motor sein" faßt ein Entwicklungschef diese Verhaltensmaxime zusammen. Das Risiko schadhafter Kontruktionen wird sofort millionenfach multipliziert und droht zu unkalkulierbaren ökonomischen Folgen zu werden. "Wer sich nicht am Stand der Technik orientiert, ist ein Narr", unterstreicht ein ehemaliger Bereichsleiter die sich hieraus ergebende Vorsicht bei der Neuentwicklung. Da weltweit alle Hersteller in der Autoindustrie nach dieser Maxime handeln, ja deren strikte Befolgung erst die Voraussetzung für ökonomische Wettbewerbsfähigkeit bildet, bleiben für die Nutzerperspektive nicht nur positive Perspektiven. "Die Kleineren der Branche sind eher bereit, neue Ideen auf den Wickeltisch der Entwicklung zu nehmen. Häufig müssen sie indessen ihre Pionierleistungen - wie NSU und Citroen - mit dem Abschied von der Unabhängigkeit bezahlen: das Gesetz eines auf maximale Homogenität getrimmten Marktes. So erreichen die Großen mit üblicher Rezeptur höhere Stückzahlen und können ihren Platz am gedeckten Tisch behaupten...".²³

Die Autoindustrie scheint damit weltweit in der eigenen Rationalität gefangen zu sein. Neue Motorenkonzepte, die den sich veränderten Umweltbedingungen und Mobilitätswünschen angepaßt sind, haben hinsichtlich der technischen Zuverlässigkeit gegenüber den klassischen Hubkolbenmotoren einen Entwicklungsrückstand von 80 Jahren - für die notwendige Großserienproduktion ein unkalkulierbares Risiko. Um den moralischen Druck, der von einer kritischen Öffentlichkeit auf die Hersteller ausgeübt wird, bleibt der Ausweg, innovative Produktwege beispielsweise im Rahmen von futuristischen Concept

Cars anzuzeigen.²⁴ Nur auf veränderte Umfeldbedingungen als Voraussetzungen für neue technische Lösungen zu setzen, scheint jedenfalls bei einer so hochgradig formierten und in den technischen Grundlagen homogenisierten Branche wie der Autoindustrie verfehlt. Denn, so der ehemalige Entwicklungsvorstand von VW, Fiala, über die Voraussetzungen für die Durchsetzung neuer Konzepte, "man muß einen haben, der daran glaubt".

Zu dem Problem der sozialwissenschaftlichen Technikforschung zurückkommend, können die hier dargestellten Projekte dazu motivieren, die Konzeptentwicklung für die politischen Aspekte gerade im Mikrobereich der Technikentwicklung sensibler zu halten, was sich beispielsweise schon darin ausdrücken könnte, nicht mehr von "Technikgenese", sondern vielmehr von "Technikerzeugung" zu sprechen!

Anmerkungen

- 1 Die folgenden Überlegungen entstammen dem Forschungsprojekt "Technikgenese in organisatorischen Kontexten", das mit Mitteln des BMFT am Wissenschaftszentrum Berlin sowie am Institut für Soziologie der TU Berlin bearbeitet wird.
- 2 Bassala, G., *The Evolution of Technology*, Cambridge 1988 (1990), S.16. Nun gilt Bassala wohl als einer der Autoren, deren evolutionstheoretisches Verständnis auf einem umweltdeterminierten Modell beruht, während sich neuere Arbeiten des Neo-Darwinismus und der Synthetischen Evolutionstheorie stärker auf Variationen innerhalb der Systeme, die in einem kontingenten Prozeß selektiert werden, konzentrieren (vgl.mit einem freundlichen Dank an den Autor insbesondere Grundmann, R., *Technologische Evolution und Selbstorganisation. Die Welt der Objekte als Problem für die Theorie sozialer Systeme*, Vortrag Bielefeld, 29.4.1991). Aber auch diese Reformversuche operieren mit einem ertsubjektivierten Ablaufschema und bleiben damit für die machtpolitischen Voraussetzungen technikerzeugender Prozesse blind.
- 3 Vgl. Feyerabend, P., *Wissenschaft ist keine Monokultur. Plädoyer gegen eine verordnete Rationalität*, in: taz, World Media Nr.3, 24.12.1991, S.60-61; Joerges, B., *Soziologie und Maschinerie*, in: Weingart, P. (Hg.): *Technik als sozialer Prozeß*, Frankfurt 1989, S.44-89; Rammert, W., *Technisierung und Medien*, in: Weingart, a.a.O., S.178-173; Rammert, W., *Vom Umgang der Soziologen mit der Technik*, in: *Soziologische Revue*, 4, 1987, S.44-55; Dierkes, M., *Technische Entwicklung als sozialer Prozeß*, *Naturwissenschaften*, 77, 1990, S.214-220; Hard, M., "Beyond Harmony and Consensus: A Social Conflict Approach to Technology". *Science, Technology, and Human Values* (erscheint 1992/93)
- 4 vgl. Berthoin-Antal, A., *Corporate Social Performance: Rediscovering Actors in Their Organizational Contexts*, Frankfurt 1992; Ginsberg, A./E. Abrahamson, *Champions of Change and Strategic Shifts: The Role of Internal and External Change Advocates*, in: *Journal of Management Studies*, 28, 1991, S.173-190
- 5 Das vorgeschlagene Konzept sowie die dargelegten Fallanalysen fußen auf konzeptionelle Vorarbeiten, die bereits unter dem Titel "Diesel - Karriere einer Technik. Genese und Formierungsprozesse im Motorenbau, Berlin 1991, veröffentlicht wurden. Auf dieser Grundlage konnten inzwischen über 35 qualitative Interviews mit führenden Entwicklungsingenieuren der deutschen Autoindustrie geführt werden, deren Ergebnisse zur Zeit als Manuskript, "Motoren-Politik. Exzerpte und Protokolle", Berlin 1992, vorliegen. Wenn nicht anders angegeben, beziehen sich die Zitate auf die letztgenannte Arbeit. Die vorgeschlagene konzeptionelle Erweiterung wurde zusammen mit M. Hard entwickelt.
- 6 vgl. bspw. Laudan, R. (eds): *The Nature of Technological Knowledge*, Dordrecht 1984
- 7 vgl. Bammé, A., u.a., *Maschinen-Menschen. Mensch-Maschinen*, Reinbek 1983, S.108ff.; Ropohl, G., *Technologische Aufklärung*, Frankfurt 1991, S.167ff.
- 8 Bentele, M., *Engine Revolutions*, Warrendale 1991, S.187; Hard, M., "Technology in Flux: Local Practices and Global Patterns in the Development of the Diesel Engine" (erscheint 1992)
- 9 Winner, L., *Autonomous Technology*. Cambridge 1977
- 10 Förster, H.J., *Das Automobil am Anfang seines zweiten Jahrhunderts*, (1988), in: Förster, H.J., *Technik für den Menschen. Aus den Erfahrungen eines Ingenieurs*, o.O.,o.J., S.134
- 11 Seifried, D., *Gute Argumente: Verkehr*, München 1990, S.27/28
- 12 Dieses Konzept versteht sich in der Tradition der sozial-konstruktivistischen Ansätze, vgl. Engelhardt, H.T./A.L. Caplan, (eds): *Scientific controversies. Case Studies in the Resolution and Closure of Disputes in Science and Technology*, Cambridge 1987; Knorr-Cetina, K., *Die Fabrikation von Erkenntnis*, Frankfurt 1984
- 13 Die Person Diesels sowie Entstehungsumstände des Antriebskonzeptes sind bereits ausführlich dargestellt worden: Diesel, E., *Diesel - Der Mensch, Das Werk, Das Schicksal*, München 1983 (1937); Thomas, D.E., *Diesel, Technology and Society in Industrial Germany*, Alabama 1987; Meyer, P., *Beiträge zur Geschichte des Dieselmotors*, Berlin 1913. Entstehungs- und Entwicklungsetappen zum NSU/Wankelmotor sind hingegen bislang weniger Gegenstand der Forschung gewesen, freilich liegt mit Korp, D., *Der Wankelmotor. Protokoll einer Erfindung*, Stuttgart 1975, ein grundlegendes Werk für die ersten Jahrzehnte vor. Darüber hinaus vgl.: Albach, H., D. dePay, H. Okamura, *Der Einfluß kultureller Faktoren auf den Innovationsprozeß*, in: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Ergänzungsheft 1/89*, S.55-96
- 14 zit. nach Sass, F., *Geschichte des deutschen Verbrennungsmotorenbaus*, Berlin 1962, S.108; sowie zit. nach Goldbeck, G., *Kraft für die Welt*, Düsseldorf 1964, S.108
- 15 zit. nach Sass, a.a.O., S.397
- 16 vgl. Bentele, a.a.O., S.87ff.

- 17 zit. nach Korp., D., Der NSU R80, Manuskript (erscheint Stuttgart 1992), Kap.3, S.3
- 18 Wankel, F., W. Froede, Bauart und gegenwärtiger Entwicklungsstand einer Trochoiden-Rotationskolbenmaschine, in: Motortechnische Zeitschrift, 21, 1960, S.33-45
- 19 vgl. Sass, a.a.O., S.505-511
- 20 vgl. Hofbauer, P./B. Wiedemann, Advanced Automotive Power Systems, SAE-Paper 760591, 1976
- 21 Yamamoto, K., The Rotary Engine: Two Decades of Innovation, Vortrag, Detroit 1982, S.12
- 22 Korp, a.a.O. (1992), Kap. 13/S.18
- 23 Korp, a.a.O. (1992), Kap. 13/S.19
- 24 vgl. bspw.: Gloor, R., Zukunftsautos der 80er Jahre, Bern/Stuttgart 1991