

Faszinierender Maschinenbau

Willy Schweiger



Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Institut für Maschinenbau und Fertigungstechnik

Lehrstuhl für Konstruktionstechnik

Faszinierender Maschinenbau

Eines der beständigsten Kulturgüter der Menschheit ist der Maschinenbau. Er wurde unsere Lebensgrundlage. Ohne Maschinenbau keine Zivilisation!

Zweifler und Ungläubige werden sich ob dieser Aussagen spontan mit Widerspruch erheben. Doch vergeblich! Betrachten wir unseren Tagesablauf: Ohne landwirtschaftliche Geräte keine Ernährung. Kleidung und Hygiene ohne Maschinen? Undenkbar! Ein Haushalt ohne Elektrizität, kaum mehr praktikabel. Unsere so vielgepriesene Mobilität ist nur durch Maschinenbau möglich. Urlaub, Sport und Hobbys, alles ist maschinenabhängig. Selbst in der Humanmedizin ist man von klinischen Geräten, maschinellen Hilfsmitteln verschiedener Art und Chemietechnik abhängig. Wie unvollständig diese Aufzählung auch sein mag, sie zeigt dennoch: Maschinenbau ist alles, ist unser Leben. Hoek [Hoek1952] beschreibt diesen Status so: „Im Kraftwagen, im Flugzeug, da bin ich Wille, auch wenn ein anderer lenkt, fühle ich mich als treibendes Agens. Ich will mit dem anderen, denke, kämpfe mit ihm. Die Maschine ist und bleibt stets ein Teil meines Körpers, durch meinen Willen belebt, ein Werkzeug meiner Sinne, ein Stück meiner selbst.“ Diesem Universalitätsanspruch des Maschinenbaus kann schwerlich Faszination verweigert werden.

Eine weitere Quelle der Faszination, die nicht nur retrospektiv sondern auch künftig ergiebig sprudeln wird, bildet die *historische Sicht* auf den Maschinenbau. Die Kenntnis der entwicklungsgeschichtlich gewachsenen Verkettung von menschlichem Sein und Maschinenbau bestätigt die Gewissheit der Ingenieure, dass es ohne sie keine lebenswerte und verbesserte Zukunft geben kann.

Nicht minder attraktiv ist die *logische Dimension*. Die mathematischen Gesetzmäßigkeiten zur Beschreibung der Mechanik und ihrer Auswirkung auf den Maschinenbau schaffen ein kristallklares Denkgebäude höchster Ästhetik. Eng verbunden mit dieser logischen Dimension erwächst zwanglos eine weitere Begründung für Faszination. Es ist die *erkenntnistheoretische Dimension*, Gemeint ist die Möglichkeit, a posteriori erfahrbares Verhalten a priori vorausberechnen zu können [Leisegang 1956]. Die a posteriori erfahrbare Erkenntnis zum Beispiel eines sich in der Luft befindlichen Flugzeuges kann durch eine a priori schöpferische Tätigkeit initiiert, konstruiert und in ihren a posteriori Funktionen voraus berechnet werden. Das bedeutet eine gezielte Vorwegnahme des physikalisch Realen auf der Basis idealtypischer Denk- und Wissensmodelle. In ihrer Tragweite stehen logische und erkenntnistheoretische Dimension der historischen in nichts nach. Jede für sich und erst recht ihre Gesamtheit muss als Fundament jedweder menschlicher Kulturentwicklung angesehen werden.

Im Folgenden sollen diese Dimensionen etwas stärker beleuchtet werden. Wenn die Darstellung auch nur skizzenhaft sein kann, bleibt zu hoffen, dass der Funke der Faszination für den Maschinenbau auf den geneigten Leser überspringt.

Die historische Dimension

Geschrieben steht: "Im Anfang war das Wort!"
Hier stock ich schon! Wer hilft mir weiter fort?
Ich kann das Wort so hoch unmöglich schätzen,
ich muss es anders übersetzen,
wenn ich vom Geiste recht erleuchtet bin.
Geschrieben steht: Im Anfang war der Sinn.
Bedenke wohl die erste Zeile,
das deine Feder sich nicht übereile!
Ist es der Sinn, der alles wirkt und schafft?
Es sollte stehn: Im Anfang war die Kraft!
Doch, auch indem ich dieses niederschreibe,
schon warnt mich was, dass ich dabei nicht bleibe.
Mir hilft der Geist! auf einmal seh ich Rat
und schreibe getrost: Im Anfang war die Tat!

Faust in seinem Studierzimmer

„Am Anfang war die Mechanik“ steht über dem Eingang zur einschlägigen Abteilung des Deutschen Museum zu München. Gemessen in einer Zeitskala der menschlichen Entwicklungsgeschichte fällt der Beginn der menschlichen Entwicklung mit dem Anfang der historischen Dimension, also „im Bereich des Tier-Mensch-Übergangsfeldes“ zusammen. In dieser Epoche "gehen die tool-user in die tool-maker über, der Urmensch als Schöpfer tritt auf“ [Heberer 1991]. Auch Dessauer erkennt [Dessauer1956]: „Die spezifisch menschliche Technik beginnt mit unseren ältesten Vorfahren, die vor Jahrhunderttausenden Artefakte, Schmuck- und Nutzgegenstände, Waffen und Feuerstellen herstellten und gebrauchten. In solchem, das Vermögen der Tiere übersteigendem Handeln äußern sich Urgegebenheiten, Formkräfte des menschlichen Wesens, dessen Geistseele die vegetativ-animalischen Zonen übersteigt“. Durch wahrscheinlich noch unbewusste, aber konsequente Anwendung des *Keiles* entstehen die ersten Artefakte. Der Faustkeil aus Stein ist das erste hominide *Werkzeug*. "In der Anwendung des Keils war man ... bei allen alten Völkern erfahren. Er diente zunächst schon in der Form zahlreicher Werkzeuge wie Meißel, Beil, Axt, usw. seit Urzeiten den mannigfachen Zwecken" [Neuburger1919]. Viel später, in der Antike, wird der Keil zu den grundlegenden *einfachen Maschinen* gerechnet. Die zeitliche Fixierung des Urbeginns muss mit dem Lebensabschnitt der sogenannten Australopithecinen gleichgesetzt werden. „Dieser A-Typ verfolgte dann seine Evolution zur höheren Menschheit weiter“ [Wendt 1971]. „Bei den humanen Hominiden“, sie lebten in der Zeit des Präoldowan, erdgeschichtlich im Pliozän gelegen, der jüngsten Stufe des Tertiärs, „tritt das Vermögen der Tradition hinzu. Durch Tradieren von technischen Erfahrungen, durch die Übertragung dieser Erfahrungen und durch die Ansammlung zu einem immer reicheren Erfahrungsschatz hat sich, sehen wir von Wertungen hier ab, die *Kultur* und die *technische Zivilisation* aufgebaut, welche die humane Phase der Hominidenevolution charakterisiert ... Morphologisch gesehen sind sie (gemeint

sind die Australopithecinen, d. Verf.) der bisher älteste humane Hominidentypus“ [Heberer1991]. Tradieren ist untrennbar mit Optimieren verbunden.

Offensichtlich ist die Fähigkeit zur Optimierung inhärent in der Evolution verankert. Das Optimierungsziel des Menschen besteht dabei in der ständigen Verbesserung seiner Situation. Der gesuchte Anfang muss also vor einigen Millionen Jahren angesetzt werden.

Das *Prinzip des Keils* stellt den Urnukleus für die theoretischen Grundlagen des Maschinenbaus dar. Deutliche und bewusste Ausprägungen der hergestellten keilförmigen Werkzeuge finden sich dann im Acheuléen, beginnend vor etwa einer Million Jahren. Mit fortschreitender Entwicklung wird im Mesopäolithikum, etwa am Ende des Moustérien vor rund 100.000 Jahren „der Bedarf an Geräten, die *präzise Funktionen* erfüllen, durch die sogenannte Levalloistechnik (Abschlagtechnik) gesichert“ [Fiedler1989]. Im Neolithikum vor etwa 5000 Jahren erreicht die Formgebung der nach wie vor keilförmigen Werkzeuge durch Schleifen und Polieren schließlich den Höhepunkt der aus dem Werkstoff Stein herstellbaren künstlichen Werkzeuge. Zu dem ursprünglich alleine vorhandenen Keil haben sich im Laufe der Entwicklung weitere, auf entsprechenden mechanischen Prinzipien beruhende Werkzeuge gesellt: der Hebel, die Rolle mit Achse, das Rad und die Schraube.

Mit Beginn der geschichtsschreibenden Antike erfahren diese Geräte ihre intellektuelle Behandlung. „Die Physik (im wesentlichen die Mechanik, d.Verf.) des Altertums ist ausschließlich eine Schöpfung der Griechen; denn obwohl auch die Chaldäer, Ägypter und Inder die Natur und insbesondere den Himmel denkend beobachtet haben, wurden diese durch ihre theologisch-mystischen Spekulationen daran gehindert, zur Idee einer gesetzesmäßigen Naturforschung zu gelangen. Nur dem freien, nach einem erkennbaren Zusammenhang suchenden griechischen Geist war es möglich, eine Naturwissenschaft oder mindestens deren Anfänge zu schaffen“ [MorgensternSzabo1961]. In der Antike werden Keil, Hebel, Rolle, Rad und Schraube als die sogenannten *einfachen Maschinen* bezeichnet.

„Die einfachen Maschinen haben ihren Namen daher, dass sie keine Zergliederung in noch einfachere Maschinen zulassen“ [Neuburger1919], sie können als generische Maschinen angesprochen werden. Es scheint, dass Archytas (ca. 400 - 365 a.C.) aus dem unteritalienischen Tarent als erster mit einer Niederschrift über die Eigenschaften dieser einfachen Maschinen begonnen haben könnte. So schreibt Clagett [Clagett1959] sehr vorsichtig: “There is some evidence that we *ought to start* the history of statics (= Mechanik zu dieser Zeit, Verf.) in antiquity with Archytas of Taras. We were told by Diogenes Laërtius that Archytas was the first to expound mechanics by means of physical principles.” Bei Krafft findet man dazu [Krafft1970]: „Es gab also mindestens zur Zeit des älteren Platon (zwischen 365 und 350 a.C.) eine *theoretische Mechanik als angewandte Mathematik*; Platon spricht im *Philebos* speziell von der *στατική τέχνη* (statike techne, techne = Technik = Kunst, Verf.), die er im *Charmides* als das Wissen vom schweren und leichteren Gewicht definiert. Am interessantesten für unseren Zusammenhang ist jedoch eine andere Stelle aus einem Spätwerk Platons. Im zehnten Buch seiner *Gesetze* findet sich eine systematische Behandlung aller Formen der Bewegung im Sinne der Antike ... Die *Gesetze* Platons sind ein Spätwerk und entstanden in seinen letzten Lebensjahren, also vermutlich zwischen 350 und 347 a.C.. Dass Platon mehrmals mit Archytas zusammentraf, darf man mit Sicherheit annehmen.“ Soweit Krafft.

Im Verlauf der Entwicklung kümmern sich keine Geringeren als Aristoteles (384 - 322 a.C.), Euklid (um 300 a.C.) und Archimedes (287 - 212 a.C.) um eine erfolgreiche Formalisierung des Hebelprinzips als einem Axiom der Statik; in heutiger Diktion das sogenannte Gleichgewichtsaxiom der Momente. Aristoteles beschreibt in seiner *MHXANIKA* [Hett1955, Aristotele1982] u.a. auch das Keilprinzip, welches er, nicht ganz so erfolgreich, auf die Wirkung zweier Hebel zurückzuführen versucht. Es fehlt dem Griechen hierbei noch die Kenntnis des Kräfteparallelogrammaxioms, welches erst von Simon Stevin (1548 -1620), einem niederländischen Physiker, in die Mechanik eingeführt wird [Mach1988]. Allerdings legt Aristoteles durch sein *dynamisches* Konzept zur Ableitung des Hebelgesetzes ein Prinzip vor, das heute zur axiomatischen Begründung der theoretischen Mechanik herangezogen werden kann [Gurtin 1972]. Gemeint ist sein Konzept, das als Lagrange'sches Prinzip der virtuellen Verschiebungen, bzw. Jourdain'sches Prinzip der virtuellen Leistungen bezeichnet wird. Auf dieses Prinzip wird im Abschnitt über die logische Dimension noch eingegangen werden.

Zu den anderen einfachen Maschinen ist zu bemerken, dass Räder (die ersten gefunden um 3500 a.C. in Gräbern des Nahen Ostens [EB 1981,1]) und wahrscheinlich ihre Vorgänger, die Rollen mit Achsen (bereits bei den Assyrern ab etwa Mitte des 3. vorchristlichen Jahrtausends in Gebrauch) für die weitere Entwicklung des Maschinenbaus unerlässliche Elemente waren.

Schließlich noch ein paar Worte zur Schraube, ebenfalls zur Klasse der einfachen Maschinen zählend, und heute, ein in Myriaden von Ausprägungen nicht wegzudenkendes Maschinenelement. Im Altertum stellte man sich unter einer Schraube die sogenannte Schraubenpumpe (Wasserschnecke) zur Bewässerung vor. Eine ausführliche Beschreibung, findet man bei Vitruv (88 - 26 a.C.) [Vitruv1991]: „Es gibt aber auch eine Maschine, die Wasserschnecke, die eine große Menge Wasser schöpft, es aber nicht so hoch befördert wie das Schöpfrad“ (eine, auch heute noch von den Maschinenbauingenieuren verwendete Klassifizierung von Pumpen nach Durchsatz und Förderhöhe [Dubbel1956], d. Verf.). Weiteres sollte man einfach bei Vitruv selbst nachlesen. Nicht ganz eindeutig geklärt ist die Herkunft der Schraubenpumpe. Archimedes soll sie anlässlich einer Ägyptenreise gesehen oder erfunden haben. Da sie aber aus keinem Gemälde Ägyptens bekannt ist [Feldhaus 1970], muss es wohl der geniale Ingenieur selbst gewesen sein, der sie erfunden hat; man vergleiche dazu auch [Schneider1979].

Die Fortschritte der antiken Mechanik und schritthaltend mit ihr die Entwicklung des Maschinenbaus, sind unwiderruflich mit der ebenfalls stürmischen Entwicklung der griechischen Mathematik gekoppelt, wenn auch dabei festzuhalten ist, „das zu der Zeit, als sich der Maschinenbau zu entwickeln beginnt, die Mathematik ihren Höhenflug bereits angetreten hat; auch wenn ihre Fortschritte in gewisser Hinsicht wohl mit der Maschinenteknik verknüpft sind, haben sie darin doch nicht ihren Ursprung“ [Pichot1991].

Die Betrachtungen über die antiken einfachen Maschinen sollen nicht abgeschlossen werden, ohne einen weiteren der ganz großen antiken Ingenieure zu Wort kommen zu lassen, Heron von Alexandria (um 150 a.C.). Er stellt in seiner *Belipoiika* fest: „Der größte und notwendigste Teil der Weltweisheit ist der, welcher von der Seelenruhe handelt, über welche bei den Philosophen die meisten Untersuchungen angestellt worden sind und bis heute angestellt werden, und ich glaube auch, das die theoretischen Untersuchungen darüber nie ein Ende finden werden. Die Mechanik aber schritt über die theoretische Lehre von der Seelenruhe hinweg und lehrte allen Menschen die

Wissenschaft: durch einen einzigen, minimalen Teil von ihr, der von dem sogenannten Geschützbau handelt, in Seelenruhe zu leben. Denn durch ihn wird man in die Lage versetzt, sich weder im Friedenszustande durch Angriffe innerer oder äußerer Feinde, noch bei Kriegsausbruch zu beunruhigen, infolge der von ihm mitgeteilten Lehre von den Maschinen [Diehls1970]“.

Die einfachen Maschinen der Antike sind im heutigen Sinne keine eigenständigen Maschinen. Man bezeichnet sie jetzt als *Maschinenelemente*. Bereits Heron beschreibt *und berechnet* in seiner „... Mechanika II 29 eine theoretische Kombination von vier einfachen Maschinen (Hebel, Flaschenzug (=Rollen mit Achsen, d.Verf.), Rad und Schraube (hier Schraube im heutigen Sinne, d.Verf.)“ [Krafft, S. 133ff]. Den Unterschied zwischen Maschine und Maschinenelement hat auch Vitruv gesehen [Vitruv, S. 459]: „Eine Maschine ist ein beständiges, (in sich geschlossenes), aus Holz *zusammengesetztes* Gebilde, das besonders befähigt ist, Lasten zu bewegen. Sie wird durch kreisförmige Umdrehungen, die die Griechen *kyklike kinesis* nennen, künstlich in Bewegung gesetzt.“ Also, aus Holz sollte sie sein und sie sollte rotieren. Verschwommen noch, aber erkennbar werden bei der Vitruv'schen Beschreibung Kräfte (Lasten) und Bewegungen (Rotationen) in Verbindung gebracht. Und das scheint auch der Ursprung des Wortes Maschinenbau zu sein. „Holzer [Holzer1887] führt den Ursprung des Wortes *Maschine* auf die Stämme *Man* oder *Var* (d.h. wirken, arbeiten) und *Kana* oder *Kara* (d.h. gerades Rundholz) zurück. Daraus sei *Varkana* oder *Mankara* entstanden.“ [Feldhaus, S. 688]. Als älteste Maschine der Menschheit wird „die paläolithische Tierfalle mit Auslösemechanismus“ bezeichnet [Brockhaus 1983]. Im Lexikon der Antike liest man: „Die Maschinenteknik wurde von Plinius d.Ä. (23 - 79 p.C. beim Ausbruch des Vesuv) [Nat. hist. 7, 125] mit Recht als Wissenschaft (*scientia machinalis*) betrachtet“ [Irmscher1990].

Es würde den selbstauferlegten Rahmen sprengen, wollte man die weitere Entwicklung des Maschinenbaus bis in die Neuzeit auch nur halbwegs detailliert skizzieren. Dennoch darf einer der genialsten Ingenieure der Menschheitsgeschichte unter keinen Umständen unerwähnt bleiben: Leonardo da Vinci (1452 -1519). Der Glanz, den sein Genius verbreitet, ist alleine schon Rechtfertigung genug für die Faszination, die der Maschinenbau ausstrahlt [vgl. z.B. Gibbs-Smith1988].

„Das eigentliche Maschinenwesen begann gegen Ende des 18. Jh. Mit der Dampfmaschine erschienen zu Beginn des 19. Jh. viele neue Arbeits-, besonders Werkzeug-, Spinn- und Webmaschinen. Gegen Ende des 19.Jh. traten elektrische Maschinen und Verbrennungskraftmaschinen hinzu. Der *Maschinenbau* war *zum Kernfach der Technik* geworden“ [Brockhaus, cit.].

Die logische Dimension

Mit einer heute verwendeten, formalen Definition für eine Maschine [EB, Macropædia, 11, p. 230] soll in die logische Dimension des Maschinenbaus übergeleitet werden: „A machine may be defined as a device consisting of two or more resistant, relatively constrained parts that may serve to transmit or modify *force and motion* in order to do *work* The requirement that the parts of a machine be resistant implies that they are capable of carrying imposed loads without failure or loss

of function ...The most distinctive characteristic of a machine is that the parts are interconnected and guided in such a way that their motions relative to one another are constrained.” (Üb. d. Verf.: Eine Maschine kann als Vorrichtung definiert werden, welche aus zwei oder mehreren widerstandsfähigen Teilen besteht, die zwangsläufig miteinander verbunden sind und die dazu dienen, Kräfte und Bewegungen zu übertragen oder zu ändern, damit jene eine Arbeit leisten. Die Forderung der Widerstandsfähigkeit bedeutet, dass diese Teile derart belastbar sein sollen, dass sie nicht brechen oder ihre Funktion verlieren. Das hervorstechendste Merkmal einer Maschine ist die Tatsache, dass ihre Teile miteinander verbunden sind und sich auf vorgeschriebene Weise nur zwangsläufig relativ zueinander bewegen können.).

Diese Definition erlaubt weitere Präzisierung. Die Relation „and“; welche die Kraft und Bewegung koppelt, ist durch das *Skalarprodukt* ihrer Vektoren gegeben. Dieses Produkt stellt die mechanische Leistung dar (power und nicht work wie in der EB-Definition). Betrachtet man die Bewegung als virtuell (also ursachenlos, infinitesimal, aber mit den geometrischen Randbedingungen verträglich), so gelangt man zu dem fundamentalen Axiom des Prinzips der virtuellen Arbeit, als einer *schwachen Form* des Gleichgewichts. „In der Mechanik gibt es zwei Methoden, um zu entscheiden, wann sich ein System im (axiomatisch geforderten, d.Verf.) Gleichgewicht befindet: - Man betrachtet die einwirkenden Kräfte und untersucht, ob sie sich in ihrer Wirkung gegenseitig aufheben. Man wendet ein Arbeitsprinzip an und betrachtet die Arbeit, welche die Kräfte bei einer *gedachten* Änderung des Systems leisten würden. Aus dem Verschwinden dieser Arbeit kann dann auf das Gleichgewicht geschlossen werden“ [Hahn1990]. Während die erste Methode die *starke* (vektorielle) Form der Gleichgewichtsbedingungen ist (wie von Euklid und Archimedes beim Hebel angewandt), wird die zweite Methode, wie bereits bemerkt als *schwache* (skalare) Form der Gleichgewichtsforderung bezeichnet (so von Aristoteles angedacht). Ist die Bewegung reell, also direkte Ursache äußerer Kräfte (d.h. es existiert ein kausaler Zusammenhang zwischen Kräften und Bewegung), so folgt der sogenannte Arbeitssatz, bzw. bei konservativen Systemen, bei welchen die (äußeren und inneren) Kräfte aus Potentialen ableitbar sind, der grundlegende erste Hauptsatz (Energiesatz). Die Gleichgewichtsforderung und der Arbeits- bzw. Energiesatz sind voneinander unabhängige Axiome der Mechanik. Sie sind sowohl für die theoretische als auch für die praktische Mechanik ebenso fundamental wie elegant.

Die in obiger Definition einer Maschine angesprochene *most distinctive characteristic* bedeutet im Lichte des genannten Arbeitsprinzips, dass die Arbeit von Zwangskräften aufgrund der *constraints* (Auflager- und Stützreaktionen, Anschluss-, Bindungs- und Gelenkkräfte usw.) verschwindet. „Dies Grundpostulat braucht nicht allgemein bewiesen zu werden, man kann es vielmehr geradezu als Definition eines mechanischen Systems ansehen“ [Hahn 1990].

Die ästhetische Komponente der Mechanik und die des Maschinenbaus liegt gleichermaßen in der ungeheueren Tragweite ihrer geschilderten Axiome und ihrer nicht mehr überbietbaren genialen Kompaktheit. Ästhetischer kann Ingenieurwissenschaft nicht dargestellt werden. Ohne jedweden hermeneutischen Zwang kann so der glanzvolle Weg einer jahrmillionenlangen Entwicklung nachgezeichnet und weiter verfolgt werden. Faszinierender Maschinenbau!

Die erkenntnistheoretische Dimension

Die erkenntnistheoretische Dimension ist eine direkte Folge der logischen Dimension. Die Anwendung der mechanischen Axiome ermöglicht erst den erkenntnistheoretischen Gewinn. Nun wäre eine reine Beschäftigung mit den Axiomen der Mechanik zwar höchst angenehmer Müßiggang, wäre dennoch *l'art pour l'art*. Wenn sich aber evolutionsgetriebenes und nunmehr auch verstandgetriebenes Tradieren und Optimieren ihrer bedienen, lassen sich Entwicklungen gezielt und erfolgreich durchführen. Genial eingesetzte Axiomatik, angewandt auf tradierte Erfahrungen und gepaart mit dem Wunsch nach optimalen Ergebnissen - ein Credo der Ingenieure - charakterisiert eine, als ingenieurmäßiges Vorgehen bezeichnete Arbeitsweise. Gerade diese Vorgehensweise erlaubt die eingangs geschilderte Möglichkeit einer a priori vorausberechenbaren Erkenntnis für ein erst a posteriori erfahrbares Verhalten. Kant bemerkt in der Einleitung zu seiner Kritik *der reinen Vernunft* [Kant1983] dazu: „Wir werden also im Verfolg unter Erkenntnissen a priori nicht solche verstehen, die von dieser oder jener, sondern die schlechterdings von aller Erfahrung unabhängig stattfinden. Ihnen sind empirische Erkenntnisse, oder solche, die nur a posteriori, d.h. durch Erfahrung, möglich sind, entgegengesetzt. Von den Erkenntnissen a priori heißen aber diejenigen rein, denen gar nichts Empirisches beigemischt ist.“

In der Möglichkeit der a priori vorausberechenbaren Erkenntnis besteht ein unendlicher Reiz für den Ingenieur. Dieser erlaubt ihm, in einem Zustand permanenter schöpferischer Aktivität zu sein. Schöpferische Tätigkeit als höchster Wille menschlichen Seins wird so nutzbringende Realität. Scheer [Scheer1997] drückt das so aus: „Dieses Bewusstsein von sich selbst, zu dem der Mensch als Geist strebt, erlangt er auf theoretische Weise ebenso wie durch praktische Tätigkeit. Schon die Arbeit, die Hegel als *gehemmte Begierde* bestimmt, ist eine praktische Art und Weise, durch eigene Produktion und durch Veränderung des natürlich Vorhandenen zu einer Erfahrung des Fürsichseins zu gelangen.“

Der Universalitätsanspruch des Maschinenbaus

Die technische Welt des ausgehenden zwanzigsten Jahrhunderts ist nicht mehr alleine durch den Maschinenbau geprägt. Die Elektrotechnik *und* mit zeitlichem Versatz die Informationstechnik kamen als mächtige Partner hinzu. Das Zusammenwirken dieser drei Disziplinen nennt man Mechatronik. Aber dennoch: Maschinen sind räumlich ausgedehnte Strukturen aus real existierenden Werkstoffen, daher kann *nur* der Maschinenbau als alleiniger Träger der physikalischen Größe *Masse* fungieren. Maschinenbau - und nur er - ist zwangsläufig *materiebehaftet*. Das Produkt aus einer elektrischen Spannung und dem durch sie hervorgerufenen elektrischen Strom stellt ebenfalls eine (elektrische) Leistung dar. Nutzbringend für den Menschen wird sie aber erst dann, wenn sie mit Hilfe einer *Maschine* in eine mechanische Leistung konvertiert wird (sieht man von einer reinen Wärmeerzeugung ab). Dieses Alleinstellungsmerkmal, einzig möglicher Träger des physikalisch Realen zu sein, begründet den Universalitätsanspruch des Maschinenbaus. Dessauer [cit.] nennt das: „Technik (und damit Maschinenbau, d. Verf.) kann also mit Recht ein Real-Sein und Real-Werden aus Ideen genannt werden. ... Aus Spannung zwischen der vom Menschen stets als unbefriedigend empfundenen Wirklichkeit und der von seiner Phantasie vorweggenommenen besseren Möglichkeit gewinnt die erfinderische Tätigkeit immer neuen

Antrieb“. Und der berühmte Johann Bernoulli empfindet das Erhabene dieser schöpferischen Tätigkeit als "magna ars inveniendi" [Szabó1987], als die hohe Kunst des Erfindens, die wohl hervorragendste Eigenschaft des Homo faber.

Schlussbemerkung

Die skizzenhafte Darstellung zeigt, dass der Maschinenbau den Menschen während seiner gesamten Entwicklung begleitet hat. Maschinenbau ist eine *Conditio humana* ersten Ranges. Man sollte aber nicht vergessen, dass eine Maschine kein Bewusstsein, kein Wissen über sich selbst hat und nicht in der Lage sein wird, ihre eigenen Grenzen im menschlichen Sinne zu erkennen. Sie bedarf zu ihrer Existenz grundsätzlich ihres Schöpfers, des Ingenieurs. Der Phantasie dürfte es schwer fallen, sich Szenarien menschlichen Seins ohne Maschinenbau auszumalen. Also, kein Leben ohne *faszinierenden Maschinenbau!*

Für Ihre ständige Diskussionsbereitschaft und für viele gute Ratschläge danke ich meiner Frau Heide ganz herzlich.

Erlangen, im April 1998

Referenzen

Aristotele - MEXANIKA - Tradizione Manoscritta Testo Critico Scolii
Editrice Antenore, Padova 1982, p. 122.

Brockhaus der Naturwissenschaften und Technik Wiesbaden, 1983, S. 223.

Clagett M. - The Science of Mechanics in the Middle Ages The University of Wisconsin Press,
Madison 1959, S. 3ff.

Encyclopædia Britannica, abgekürzt EB Micropædia, Vol. X, 15th Ed., 1982, Zitat 1, p. 643.

Dessauer F. - Der Streit um die Technik Frankfurt, 1956, S. 225ff.

Diehls H. A., Schramm E. - Herons Belopoiia, Philons Belopoiika Zentralantiquariat der DDR,
Leipzig 1970, S. 5.

Dubbel's Taschenbuch für den Maschinenbau, Bd. 2, 11. Aufl. Springer Verlag, 1956, S. 362.

Feldhaus F. M. - Die Technik - Ein Lexikon der Vorzeit, der geschichtlichen Zeit und der
Naturvölker Moos Verlag, Wiesbaden 1970, S. 834ff.

Fiedler L. et al. - Urkulturen - Zeugnisse der Steinzeit Veröff. d. vorgeschichtlichen Seminars
Marburg, Band 5, Marburg 1989, S. 28.

- Gibbs-Smith C. - Die Erfindungen von Leonardo da Vinci Belser Verlag, Zürich 1988.
- Gurtin M. E. - Modern Continuum Thermodynamics in *Mechanics Today, Vol 1* (Ed. S. Nemat-Nasser), Pergamon Press 1972, p. 168ff.
- Hahn H.G. - Technische Mechanik Hanser Verlag, 1991, S. 70 ff bzw. S. 228 ff.
- Heberer G. - Die Herkunft der Menschheit in *PropyCäen`Weltgeschichte*, Bd. 1 (Ed. G. Mann, A. Heuß), Berlin, Frankfurt, 1991, S. 129ff.
- Hett W. S. - Aristotle -Minor Works Harvard University Press 1955, p. 371ff.
- Hoek H. - Wege und Weggenossen R. Rother, München, 1952, S.56 ff.
- Irmscher J. -Das große Lexikon der Antike Heyne Verlag München, 1990, S. 338.
- Kant I. - Werke in sechs Bänden, Band II: Kritik der reinen Vernunft WBG Darmstadt, 1983, S. 46ff.
- Krafft F. - Dynamische und statische Betrachtungsweise in der antiken Mechanik Steiner Verlag, Wiesbaden 1970, S. 143ff.
- Leisegang H. - Einführung in die Philosophie Sammlung Göschen Bd. 281, Berlin 1956, S. 28.
- Mach E. - Die Mechanik in ihrer Entwicklung Reprogrph. Nachdr. d. 9. Aufl., Leipzig 1933, WBG Darmstadt 1991, S. 34ff.
- Morgenstern D., Szabó I. - Vorlesungen über theoretische Mechanik Springer Verlag, 1961, S.328.
- Neuburger A. - Die Technik des Altertums Leipzig 1919, Reprint, S.213.
- Pichot A. - Die Geburt der Wissenschaft WBG Darmstadt 1991, S. 250.
- Scheer B. - Einführung in die philosophische Ästhetik WBG Darmstadt, 1997, S. 123 ff.
- Schneider I. -Archimedes, Ingenieur, Naturwissenschaftler und Mathematiker Erträge d. Forsch., WBG Darmstadt 1979, S. 79ff.
- Szabó I. - Geschichte der mechanischen Prinzipien, 3. Autl. Birkhäuser Verlag, 1987.
- Vitruv - Zehn Bücher über Architektur WBG Darmstadt 1991, S. 485ff.
- Wendt H. - Der Affe steht auf -Eine Bilddokumentation zur Vorgeschichte des Menschen, Rowohlt, Hamburg 1971, S. 243.