

# FORSCHUNG IN DEUTSCHLAND

## BILANZ UND ANALYSE

Herausgegeben

von

Volker Freiherr v. Hagen



v. HASE & KOEHLER VERLAG



1981. 11122 G

© Copyright 1974 by v. Hase & Koehler Verlag GmbH, Mainz  
Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung, vorbehalten  
Gesamtherstellung: Neuwieder Verlagsgesellschaft, Neuwied  
Printed in Germany ISBN 3-7758-0884-1

## INHALTSVERZEICHNIS

<i>Volker Freiherr v. Hagen</i> : Forschung in Deutschland . . . . .	7
<i>Volker Aschoff</i> : Nachrichtentechnik . . . . .	21
<i>Walter Brendel</i> : Immunologie . . . . .	43
<i>Hellmut Glubrecht</i> : Biophysik . . . . .	63
<i>Hans W. Jürgens</i> : Bevölkerungswissenschaft . . . . .	95
<i>Wilhelm Krelle</i> : Wirtschaftswissenschaften . . . . .	115
<i>Kurt Magnus</i> : Technische Mechanik . . . . .	133
<i>Heinz Maier-Leibnitz</i> : Physikalische Grundlagenforschung . .	157
<i>Frank Marguth</i> : Neurochirurgie . . . . .	175
<i>Hellmut Mehnert</i> : Innere Medizin am Beispiel der Diabetologie	189
<i>Max Schmidt</i> : Die Bedeutung der Chemie . . . . .	209
<i>Hellmuth Seidenfus</i> : Verkehrswissenschaft . . . . .	237
<i>Hansjörg Sinn</i> : Technische Chemie . . . . .	251

## TECHNISCHE MECHANIK

### 1. *Herkunft und Wandel der Technischen Mechanik*

Die Begriffe Mechanik, Technik und auch die Kombination Technische Mechanik haben sich im Laufe der Jahrhunderte inhaltlich so stark gewandelt, daß man zunächst erklären muß, was darunter verstanden werden soll. Hierzu läßt sich ein kurzer Blick zurück nicht vermeiden, denn letztlich ist die Sprachregelung im Altertum der eigentliche Ausgangspunkt für Mißverständnisse, die auch heute noch nachwirken. Bei Aristoteles kann man nachlesen, daß die Mechanik die Kunst sei, die Natur zu überlisten. So wird mit dem Begriff der Mechanik zugleich auch die Vorstellung von Wunder, aber auch von List, ja sogar von Betrug verbunden. Ein Erfinder, der Wasser, das von Natur aus stets abwärts fließen möchte, mit Hilfe eines Schöpfrades auf höher gelegene Felder hebt, betrügt letztlich die Natur, wenn auch das Ergebnis dieses Betruges für den Menschen überaus nützlich ist. So bleibt der Mechanik von der Antike bis zum Mittelalter ein Ruch von Taschenspielererei, bestenfalls von kunstvoller Geschicklichkeit. Und die „mechanik techne“ ist dann das Inden-Dienststellen dieser Geschicklichkeit zum Nutzen des Menschen, also ein Zweig der Technik. Nur taucht der Begriff einer Technik zunächst überhaupt nicht auf; es gibt zwar verschiedene Techniken, aber keine Technik allgemein. Die verschiedenartigen Techniken kann man getrost als eine Art praktisches Vermögen, als die Fähigkeit also, sich auf etwas zu verstehen, interpretieren und sie damit in die Nähe des Handwerks rücken.

Sind so die Begriffe Mechanik und Technik bereits bis zum Mittelalter nicht eindeutig fixiert, so zeichnet sich etwa zur Zeit Galileis eine

weitere Wandlung ab: die Mechanik wird zu einer Wissenschaft von der Natur. Jetzt setzt sich die Anschauung durch, daß der Erfinder einer Maschine die Natur nicht mehr überlistet; vielmehr berücksichtigt er die als allgemeine Gesetzmäßigkeiten erkannten Zusammenhänge, um seine Ziele zu erreichen. Galilei zeigte in seinen Vorlesungen eindringlich, daß der Mensch überhaupt nicht in der Lage sei, etwas wider die Natur zu vollbringen; er habe vielmehr stets die Naturgesetze zu befolgen. Diese zu erkennen und zu erklären ist nun Aufgabe der Mechanik. Das Ausnutzen der Grundgesetze in geschickt konstruierten Maschinen bleibt weiterhin eine Tätigkeit, bei der Kunst und Handwerk, eben Technik, ins Spiel kommen. Wir könnten sie als mechanische Technik bezeichnen, deren notwendige Grundlage die Technische Mechanik ist.

In allen Darstellungen zur Geschichte der Mechanik oder der Physik kann man nachlesen, daß nach dem im allgemeinen Galilei zugeschriebenen Durchbruch eine Woge von Erfolgen und Entdeckungen über die wissensdurstig gewordene Menschheit hinwegbrandete. Als eine Art Höhepunkt und Krönung wird die in *Newton's* Werk „*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*“ niedergelegte Formulierung der berühmten drei Grundgesetze der Mechanik angesehen. Sie schlossen ein Teilgebiet der Physik ab, das meist als „Newton'sche Mechanik“ bezeichnet, auch jetzt noch sehr erhebliche Bedeutung besitzt. Schließlich war diese Mechanik der Schoß, aus dem sich die Physik als Wissenschaft der Erscheinungen in der unbelebten Natur entwickelte. Physik war bis vor etwa 150 Jahren eben Mechanik. Aber die Mechanik hat sich weiterentwickelt, seit ihre Tochter, die Physik, erwachsen war und ihre eigenen Wege ging. Deshalb ist die Vorstellung beinahe grotesk, daß ein heute auf dem Gebiet der Technischen Mechanik arbeitender Wissenschaftler mit dem von Newton gelieferten Handwerkszeug noch auskommen und erfolgreich sein könne. Das ging bereits kurze Zeit nach *Newton* nicht mehr. Wir können heute die Newton'sche Mechanik nicht einmal als klassische Mechanik bezeichnen, denn zur klassischen Mechanik gehören wichtige Ergebnisse, die von *Newton's*

Nachfolgern, vor allem von *Euler*, erarbeitet worden sind. Diese aber sind gerade für die Technische Mechanik von besonderer Bedeutung. So muß man es heute als eine Tatsache registrieren, daß physikalische Mechanik und Technische Mechanik verschiedene Wege der Entwicklung durchlaufen haben, sicher bedingt durch die Verschiedenartigkeit der Aufgabenstellungen oder der Interessen, aber auch der Methode: während der Physiker vorwiegend induktiv arbeitet, wird in der Technischen Mechanik deduktiv auf mathematischem Wege vorgegangen. So hat sich die moderne Mechanik zu einer mathematischen Disziplin entwickelt. Sie ist allerdings nicht frei in der Wahl der Axiome, sondern entlehnt ihre Grundgesetze von der Physik. Auf diese Weise entsteht ein formelhaftes Abbild der realen Welt, das uns helfen kann, in eben dieser Welt bestimmte technische Ziele zu verwirklichen.

Auf eine Besonderheit der Technischen Mechanik muß noch hingewiesen werden: Sie kann es sich ungestraft leisten, gewisse Erkenntnisse der neueren Physik zu ignorieren, ohne dabei wesentliche Fehler zu begehen. So ist es – von ganz wenigen extremen Sonderfällen abgesehen – in der Technischen Mechanik nicht notwendig, die teilweise sehr weitreichenden Modifikationen der Grundlagen der Physik zu berücksichtigen, wie sie durch die Relativitätstheorie *Einstein's* oder die Quantentheorie *Planck's* in Gang gesetzt worden sind. Die Erkenntnis freilich, daß die physikalischen Grundgesetze des Naturgeschehens nicht in völlig deterministischer Weise festliegen, daß diese Gesetze vielmehr Wahrscheinlichkeitscharakter haben können, muß zunehmend auch bei Anwendungen der Technischen Mechanik berücksichtigt werden.

Man kann also feststellen, daß sich die Technische Mechanik aus einer Sammlung handwerklicher Erfahrungen zu einer mathematisch orientierten Wissenschaft gemausert hat. Als solche aber bildet sie die Grundlage für die vielseitigen Anwendungen, die sich in der modernen Technik ergeben.

## 2. Umfang und Aufgaben

Kennzeichnend für den Wandel in der Auffassung von der Mechanik ist die Tatsache, daß sie sich aus dem objektorientierten quasi-handwerklichen Fachgebiet zu einer an Methoden und Phänomenen orientierten Wissenschaft entwickelt hat. Das erkennt man bereits an den Gebieten, die zur Mechanik gezählt wurden oder werden: die antike Mechanik wurde eingeteilt in die Lehre vom Bau von Häusern, Tempeln und Festungen, von Hebezeugen, Be- und Entwässerungsanlagen, von Automaten sowie Sonnen- und Wasser-Uhren. Heute wird die Technische Mechanik im Unterricht zumeist wie folgt gegliedert: *Statik* als Grundlage jeder Berechnung von Gleichgewicht und Festigkeit, einschließlich der Statik fester, flüssiger und gasförmiger Stoffe; *Kinematik* als der Lehre von der Bewegung und *Kinetik* als der Disziplin, in der das Zusammenwirken von Kräften und Bewegungen untersucht wird. Wichtige Teilgebiete der Kinetik sind Schwingungslehre und Strömungslehre, die ihrerseits wieder auf feste, flüssige oder gasförmige Stoffe angewandt, weite technisch wichtige Bereiche umfassen. Zum Teil haben sich, praktischen Anforderungen entsprechend oder auch aus Gründen der Zweckmäßigkeit, besondere Disziplinen gebildet, wie die für die Umformtechnik grundlegende Plastizitätstheorie oder auch die Rheologie, die als allgemeine Lehre vom Fließen flüssiger bis breiartiger Stoffe ein Fundament der modernen Verfahrenstechnik bildet. Neben den genannten Teilgebieten gibt es einige Sondergebiete, die entweder aus methodischen oder aus sachlichen Gründen ein gewisses Eigenleben entwickelt haben. Hier wäre zum Beispiel die Himmelsmechanik zu nennen, aber auch die gebietsübergreifende Kontinuumsmechanik, ferner die Regelungstechnik, die als allgemeine Systemtheorie oder Kybernetik den engeren Bereich der Mechanik weit überschreitet.

Schon diese Aufzählung macht deutlich, daß eine strenge Abgrenzung der Technischen Mechanik gar nicht möglich ist. Sie ist auch nicht wünschenswert, da es sich immer wieder gezeigt hat, daß gerade die

Offenheit gegenüber Nachbargebieten zu fruchtbaren Kontakten und neuen Ergebnissen führte. Wo zum Beispiel soll etwa die Grenze zwischen Mechanik und Thermodynamik gezogen werden? Schon aus physikalischen Gründen wäre eine derartige Grenze nicht sinnvoll und auch dem Versuch, sie unter Berücksichtigung praktischer, d. h. an speziellen Anwendungen orientierter Gesichtspunkte zu ziehen, haftet stets Willkür an. Dank des fließenden Übergangs zwischen Mechanik und Thermodynamik lassen sich aber wichtige Aufgaben auf dem Gebiet der Wärmekraftmaschinen oder der Verbrennungsmotore besser bewältigen, als wenn sich beide Gebiete getrennt entwickelt hätten. Freilich gibt es auch Beispiele für eine völlig unabhängige Entwicklung von eng benachbarten Spezialgebieten innerhalb der Mechanik. Hier sei das fast zweihundertjährige Nebeneinander der anwendungsbezogenen Hydraulik und der primär mathematisch-physikalischen Hydrodynamik erwähnt. Beide Gebiete hatten ihre eigene Sprache entwickelt und eigene Begriffssysteme geschaffen, eine Tatsache, die die allgemeine Entwicklung sehr behindert hat. So ist es erst zu Beginn dieses Jahrhunderts gelungen, eine tragbare Brücke zu schlagen und damit eine beide Teilbereiche umfassende Strömungslehre aufzubauen, die sowohl für praktische Anwendungen gut brauchbar als auch vom theoretischen Standpunkt aus befriedigend ist. Etwas ähnliches scheint sich jetzt in größerem Maßstab zu wiederholen: es liegen Anzeichen für eine Annäherung zwischen der der Praxis zugewandten Technischen Mechanik und der axiomatisch aufgebauten Theoretischen Mechanik vor. Beide Gebiete liefen seit Jahrhunderten nebeneinander her, wobei alle Möglichkeiten des gegenseitigen Mißverstehens gegeben waren und genutzt worden sind, Zu unterschiedlich waren Zielsetzungen und Methoden. Nun aber haben beide Gebiete einen solchen Stand der Entwicklung erreicht, daß die Zahl der Berührungsflächen und die Überdeckungsbereiche ständig anwächst. Diese Situation drängt zu einer übergreifenden Synthese. Schon heute ist es zum Beispiel auf dem Teilgebiet der Festkörpertheorie oder der Werkstoffmechanik zu erkennen, wie fruchtbar eine solche Synthese sein kann.

Bei der Ausbildung auf unseren Universitäten und Hochschulen ist die Technische Mechanik bisher nicht als eigene Fachrichtung vertreten. Die verschiedenartigen Lehrveranstaltungen für Technische Mechanik bilden jedoch eine der wichtigsten Grundlagen für die Ausbildung in den Fächern Maschinenbau, Elektrotechnik, Bauingenieurwesen sowie für diejenigen Physiker und Mathematiker, die sich anwendungsbezogenen Ausbildungsgängen widmen. Es sind allerdings Überlegungen im Gange und versuchsweise bereits praktiziert worden, den zweifellos vorhandenen Mehrbedarf an Fachleuten mit vertiefter Ausbildung in den theoretischen Grundlagen durch die Einrichtung spezieller Studiengänge für „Mechanik“ decken zu helfen. Die Erfahrungen haben nämlich gezeigt, daß bei der zunehmenden Mathematisierung auch der technischen Wissenschaften der Grundlagen-Mechaniker zu einem gesuchten Mitarbeiter geworden ist. Hierzu haben zwei Tatsachen beigetragen: zum ersten sind die Berechnungsmethoden vor allem dank der Entwicklung elektronischer Rechanlagen erheblich vielseitiger und treffsicherer geworden, zum anderen sind die Anforderungen an Genauigkeit oder Leistung technischer Geräte enorm gestiegen – man denke nur an die extremen Anforderungen der Raumfahrt. Man kann daher feststellen, daß eine vertiefte Grundlagenausbildung und Grundlagenforschung zur unabdingbaren Voraussetzung für technologische Erfolge und Entwicklungen geworden ist. Diese Erkenntnis beeinflußt natürlich Art und Umfang der Aktivität auf dem Gebiet der Technischen Mechanik.

### *3. Nationale und internationale Aktivitäten*

Bei der zunehmenden europäischen und internationalen Verflechtung von Forschungsarbeiten wird es immer schwieriger, einen spezifisch deutschen Anteil herauszudestillieren. Zu eng ist die Zusammenarbeit im übernationalen Rahmen bereits geworden. Immerhin kann festgestellt werden, daß ein deutscher Beitrag und eine deutsche Mitarbeit

auf dem Gebiet der Technischen Mechanik vorhanden und auf Teilgebieten sogar bemerkenswert ist. Hierzu soll zunächst eine kurze Übersicht über Organisationen gegeben werden, deren Tätigkeit auch den Bereich der Technischen Mechanik überdeckt.

Vor 50 Jahren wurde in Deutschland die zuerst vorwiegend nationale „Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik“ (GAMM) gegründet. Sie bringt in ihrem Namen die schon erwähnte enge Verwandtschaft von Mathematik und Mechanik zum Ausdruck. Die nach Beendigung des Krieges wiedergegründete GAMM hat sich zu einer internationalen Gesellschaft entwickelt, deren Aufgabe, die Förderung von Forschung und Zusammenarbeit auf den genannten Gebieten, durch Veranstaltung von Tagungen und durch die Tätigkeit von Fachausschüssen erfüllt wird. Die GAMM ist Mitglied der „Internationalen Union für Theoretische und Angewandte Mechanik“ (IUTAM), in der diese Arbeiten im weltweiten Rahmen koordiniert werden. Ihr Präsident ist zur Zeit – zum erstenmal in der 25-jährigen Geschichte der IUTAM – ein Deutscher. In Abständen von vier Jahren veranstaltet die IUTAM Kongresse, die eine Art Momentaufnahme des Standes der Forschung und der laufenden Aktivitäten auf dem Gebiet der Mechanik darstellen.

Als Begegnungsstätte für Wissenschaftler aus aller Welt wurde vor sechs Jahren das „Internationale Zentrum der mechanischen Wissenschaften“ (CISM) in Udine/Italien gegründet. Dem Dreier-Direktorium dieser Organisation gehören zur Zeit ein Pole, ein Rumäne und ein Deutscher an. Aufgabe dieses Zentrums ist die Förderung der Zusammenarbeit auf zukunftssträchtigen Teilgebieten der Mechanik. Zu diesem Zweck werden in jedem Jahr einige mehrwöchige Vortrags- und Diskussionsveranstaltungen durchgeführt. Bisher war es fast immer gelungen, führende Fachleute zur Leitung dieser Kurse zu gewinnen. Der deutsche Anteil an der Arbeit des CISM ist bisher sehr erfreulich gewesen; das bezeugt unter anderem die Liste der wissenschaftlichen Veröffentlichungen des CISM.

Eine Art deutsches Gegenstück zum CISM bildet das bereits etwa 30 Jahre aktive „Mathematisches Forschungsinstitut Oberwolfach“ – eine ideale, einsam im Schwarzwald gelegene Tagungsstätte, an der in jedem Jahr auch einige Kurse über Themen der Mechanik durchgeführt werden.

Neben den genannten Organisationen gibt es weiterhin die Euromech-Kolloquien und Fachveranstaltungen der AGARD, durch die eine Zusammenarbeit von Wissenschaftlern verschiedener Staaten auf aktuellen Gebieten gefördert werden soll. Fast unübersehbar groß ist die Zahl der Veranstaltungen auf dem Gebiet der Raumfahrt und der Weltraumforschung. Hier sind zusätzlich die „Wissenschaftliche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt“ (WGLR), die „Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt“ (DFVLR), die europäischen Organisationen ESRO (Weltraumforschung) und ELDO (Trägerraketentechnik) tätig. Auch die amerikanische NASA muß genannt werden, da sie auch in Europa durch Vortragsveranstaltungen viele Interessenten erreicht. Sie ermöglicht außerdem durch ein großzügiges Stipendien- und Austauschprogramm die Mitarbeit von deutschen Forschern an aktuellen Raumfahrtvorhaben in den USA.

Auf den mehr klassischen Gebieten der Mechanik sind Fachausschüsse des „Vereins Deutscher Ingenieure“ (VDI) tätig. Eine erst im vergangenen Jahre gegründete „Gesellschaft für Meß- und Regelungstechnik“ widmet sich der Pflege der allgemeinen Regelungstechnik, wobei das Gemeinsame von mechanischen und elektrischen Regelproblemen hervorgehoben wird. Diese Gesellschaft ist aus einer Fachgruppe des VDI und des VDE (Verein Deutscher Elektrotechniker) hervorgegangen, die über 20 Jahre bestanden hat und in zahlreichen Tagungen sowie Fachausschußsitzungen einen beachtlichen Beitrag zur Förderung der Regelungstechnik geben konnte. Unter anderen war sie maßgebend an der Gründung der „International Federation of Automatic Control“ (IFAC) beteiligt, die inzwischen weltweit und erfolgreich aktiv geworden ist.

Es ist an dieser Stelle weder möglich noch nötig, die verschiedenen Institute an Universitäten, Hochschulen, Forschungsvereinigungen oder der Industrie einzeln zu erwähnen, die forschend auf dem Gebiet der Mechanik tätig sind. Wohl aber muß der umfassenden Förderung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft gedacht werden. Ihr ist es vor allem zu verdanken, daß es unter den schwierigen Bedingungen der Nachkriegsjahre in Deutschland gelungen ist, planvolle und vernünftig koordinierte Forschungsvorhaben durchzuführen. Man kann diesen Beitrag zur Entwicklung der Forschung in Deutschland nicht hoch genug einschätzen. So sind allein im Jahre 1971 über 200 einzelne Forschungsvorhaben zu allgemeinen Themen der Mechanik finanziell von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unterstützt worden. Zum Teil wurde die Förderung auf Schwerpunktgebiete konzentriert, wie zum Beispiel:

die mechanische *Umformtechnik* als Grundlage moderner Fertigungsmethoden,

die *Bodenmechanik*, unentbehrlich für Baugrundforschungen und Tunnelbauten, also z. B. für Hochhäuser und U-Bahnen,

*Flächentragwerke*, von denen die Berliner Kongreßhalle und das Olympiastadion eine anschauliche Vorstellung geben,

*Verschleiß - Reibung - Schmierung*, ein Gebiet, das dazu beitragen kann, Material- und Energieverluste bei Maschinen aller Art zu senken,

*Flugforschung* als anwendungsorientierte Erforschung von notwendigen Grundlagen,

*Strömungsprobleme*, wie sie in der Luft- und Raumfahrt, in der Energietechnik und bei der Lärmbekämpfung auftreten,

schließlich *Regelungstechnik* als eines der Grundlagenfächer, ohne das die sogenannte zweite industrielle Revolution nicht denkbar wäre.

Hierbei lassen sich zwei Arten von Schwerpunktvorhaben unterscheiden: einerseits solche, bei denen dank des Vorhandenseins eingearbeiteter Forschergruppen positive Ergebnisse zu erwarten sind; andererseits

Schwerpunkte, bei denen gerade umgekehrt wegen des Fehlens von wesentlicher Aktivität auf erfolgversprechenden Gebieten eine Art Entwicklungshilfe geleistet werden muß.

Eine sinnvolle Fortsetzung der Schwerpunktförderung der Deutschen Forschungsgemeinschaft in etwas flexiblerem organisatorischem Rahmen kann in den seit 1968 eingerichteten Sonderforschungsbereichen gesehen werden. Hier bietet sich die Möglichkeit, auf erfolgversprechenden Teilgebieten längerfristige Forschungsarbeit zu planen und durchzuführen. Seither wurden im Umkreis der Mechanik die folgenden Sonderforschungsbereiche gefördert oder angemeldet:

- Kontinuumsmechanik,
- Kontinuumsdynamik,
- Strömungsmechanik und Thermogasdynamik,
- Magnetohydrodynamik,
- Transportvorgänge in Strömungen,
- Strömungsprobleme in der Energieumwandlung,
- Fahrzeuge und Antriebe,
- Flugführung,
- Senkrecht- und Kurzstarttechnik,
- Satelliten- und Raumsondentechnik.

Die unbürokratische Art der Förderung in Verbindung mit einer kollektionalen Erfolgsbeurteilung hat die von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unterstützten Forschungsvorhaben zu den wohl effektivsten gemacht, die in Deutschland im Laufe der letzten Jahre durchgeführt worden sind. Man kann es deshalb begrüßen, daß die bei der DFG gesammelten Erfahrungen seit einigen Jahren auch von anderen Stiftungen, z. B. der Stiftung Volkswagenwerk und der Fritz-Thyssen-Stiftung aufgegriffen und ausgebaut worden sind.

Bei einem Überblick über Aktivitäten auf dem Gebiet der Technischen Mechanik müssen auch die wissenschaftlichen Zeitschriften erwähnt werden. Sie bieten ein Spiegelbild der jeweiligen Situation, und gerade bei ihnen kommt die Tatsache der internationalen Verflechtung besonders deutlich zum Ausdruck. Unabhängig vom Verlagsort und fast

unabhängig von den meist übernationalen Herausbergremien findet man kaum eine bedeutende Zeitschrift, in der nicht Autoren aus aller Welt zu Wort kommen. Wenn auch das Englische dabei als Fachsprache dominiert, so gibt es doch seit jeher auch einen aus internationaler Sicht nicht zu übersehenden deutschen und deutschsprachigen Anteil im Fachschrifttum.

#### *4. Probleme und Ergebnisse*

Von einigen Teilgebieten, auf denen die Entwicklung im Laufe der letzten Jahre bemerkenswert vorangeschritten ist, soll nun noch über einige Einzelergebnisse berichtet werden. Dabei werden solche Probleme herausgegriffen, bei deren Klärung auch deutsche Forscher und Forschergruppen beteiligt gewesen sind. Den deutschen Anteil dabei genauer abzugrenzen, wäre ein wohl aussichtsloser Versuch angesichts der internationalen Verflechtungen auf aktuellen Forschungsgebieten. Die hier erwähnten Ergebnisse sollen jedoch exemplarischen, vielleicht auch repräsentativen Charakter haben, Vollständigkeit können sie nicht beanspruchen.

##### *4.1 Himmelsmechanik*

Der als Himmelsmechanik bezeichnete Teil der Astronomie galt seit jeher als eine Art Paradies der klassischen Mechanik. Hier hatte diese ihre ersten großen Erfolge zu verzeichnen: die präzisen Voraussagen von Himmelsereignissen wie Sonnen- oder Mondfinsternisse, haben die Achtung vor diesem Sondergebiet der Mechanik begründet und die „astronomische Genauigkeit“ sprichwörtlich werden lassen. Die Himmelsmechanik schien in sich abgeschlossen und keiner methodischen Erweiterung bedürftig. Das aber änderte sich beinahe schlagartig mit der Schaffung künstlicher Himmelskörper, also der Satelliten. Die bisherige passive Himmelsmechanik, deren Gegenstand die Bahnbestimmung für gegebene, nicht beeinflussbare Himmelskörper ist, wurde

Schwerpunkte, bei denen gerade umgekehrt wegen des Fehlens von wesentlicher Aktivität auf erfolgversprechenden Gebieten eine Art Entwicklungshilfe geleistet werden muß.

Eine sinnvolle Fortsetzung der Schwerpunktförderung der Deutschen Forschungsgemeinschaft in etwas flexiblerem organisatorischem Rahmen kann in den seit 1968 eingerichteten Sonderforschungsbereichen gesehen werden. Hier bietet sich die Möglichkeit, auf erfolgversprechenden Teilgebieten längerfristige Forschungsarbeit zu planen und durchzuführen. Seither wurden im Umkreis der Mechanik die folgenden Sonderforschungsbereiche gefördert oder angemeldet:

Kontinuumsmechanik,  
Kontinuumsdynamik,  
Strömungsmechanik und Thermogasdynamik,  
Magnetohydrodynamik,  
Transportvorgänge in Strömungen,  
Strömungsprobleme in der Energieumwandlung,  
Fahrzeuge und Antriebe,  
Flugführung,  
Senkrecht- und Kurzstarttechnik,  
Satelliten- und Raumsondentechnik.

Die unbürokratische Art der Förderung in Verbindung mit einer kollegialen Erfolgsbeurteilung hat die von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unterstützten Forschungsvorhaben zu den wohl effektivsten gemacht, die in Deutschland im Laufe der letzten Jahre durchgeführt worden sind. Man kann es deshalb begrüßen, daß die bei der DFG gesammelten Erfahrungen seit einigen Jahren auch von anderen Stiftungen, z. B. der Stiftung Volkswagenwerk und der Fritz-Thyssen-Stiftung aufgegriffen und ausgebaut worden sind.

Bei einem Überblick über Aktivitäten auf dem Gebiet der Technischen Mechanik müssen auch die wissenschaftlichen Zeitschriften erwähnt werden. Sie bieten ein Spiegelbild der jeweiligen Situation, und gerade bei ihnen kommt die Tatsache der internationalen Verflechtung besonders deutlich zum Ausdruck. Unabhängig vom Verlagsort und fast

unabhängig von den meist übernationalen Herausgebergremien findet man kaum eine bedeutende Zeitschrift, in der nicht Autoren aus aller Welt zu Wort kommen. Wenn auch das Englische dabei als Fachsprache dominiert, so gibt es doch seit jeher auch einen aus internationaler Sicht nicht zu übersehenden deutschen und deutschsprachigen Anteil im Fachschrifttum.

#### 4. *Probleme und Ergebnisse*

Von einigen Teilgebieten, auf denen die Entwicklung im Laufe der letzten Jahre bemerkenswert vorangeschritten ist, soll nun noch über einige Einzelergebnisse berichtet werden. Dabei werden solche Probleme herausgegriffen, bei deren Klärung auch deutsche Forscher und Forschergruppen beteiligt gewesen sind. Den deutschen Anteil dabei genauer abzugrenzen, wäre ein wohl aussichtsloser Versuch angesichts der internationalen Verflechtungen auf aktuellen Forschungsgebieten. Die hier erwähnten Ergebnisse sollen jedoch exemplarischen, vielleicht auch repräsentativen Charakter haben, Vollständigkeit können sie nicht beanspruchen.

##### 4.1 *Himmelsmechanik*

Der als Himmelsmechanik bezeichnete Teil der Astronomie galt seit jeher als eine Art Paradies der klassischen Mechanik. Hier hatte diese ihre ersten großen Erfolge zu verzeichnen: die präzisen Voraussagen von Himmelsereignissen wie Sonnen- oder Mondfinsternisse, haben die Achtung vor diesem Sondergebiet der Mechanik begründet und die „astronomische Genauigkeit“ sprichwörtlich werden lassen. Die Himmelsmechanik schien in sich abgeschlossen und keiner methodischen Erweiterung bedürftig. Das aber änderte sich beinahe schlagartig mit der Schaffung künstlicher Himmelskörper, also der Satelliten. Die bisherige passive Himmelsmechanik, deren Gegenstand die Bahnbestimmung für gegebene, nicht beeinflussbare Himmelskörper ist, wurde

durch eine aktive Himmelsmechanik bedeutend erweitert. Kennzeichen dieses Gebietes ist die Tatsache, daß nun Himmelskörper mit fast beliebig vorgegebenen Bahnen gestartet und untersucht werden können – ja, diese Bahnen lassen sich sogar verändern, da künstliche Raumflugkörper manövrierfähig gemacht werden können. Es ist einleuchtend, daß zu ihrer Beherrschung neuartige Berechnungsmethoden geschaffen und erprobt werden mußten. Die bewundernswerte Präzision in der Durchführung der Mondflüge hat den Stand des Wissens und Könnens auf diesem Gebiet allgemein offenbar werden lassen.

Als Beispiel dafür, wie stimulierend die Raumfahrt auf die Begriffsbildungen zurückwirkte, sei erwähnt, daß der auch dem Nichtfachmann vertraute Begriff des Schwerpunktes eines Körpers – wichtiger Hilfsbegriff schon der antiken Mechanik – auf Satelliten nicht mehr angewendet werden kann. Es gibt streng genommen gar keinen in einem Körper festen Punkt, in dem man sich stets die Schwerkraft angreifend denken kann. Nur hat diese Tatsache bei mechanischen Problemen auf der Erde praktisch keinerlei Einfluß. Unter den extremen Bedingungen des Weltraums – und neuerdings auch bei einigen terrestrischen Präzisionsgeräten – muß dagegen auch diese Tatsache berücksichtigt werden.

Mit den Kraftverhältnissen beim schwerelosen Flug eines Satelliten hängt auch ein Effekt zusammen, der schon früher beim Mond, diesem natürlichen Satelliten der Erde, untersucht worden ist. Seit Jahrtausenden hat man nach dem Grund gefragt, weshalb der Mond der Erde stets dasselbe Gesicht zeigt. Gewiß fanden die Astronomen eine Erklärung, die für den fast kugelförmigen Mond einigermaßen befriedigte. Aber erst seit der Schaffung künstlicher Himmelskörper, also der Satelliten, denen man beliebige Gestalt geben konnte, sind diese Dinge genauer untersucht und geklärt worden. Die Massenverteilung eines Satelliten muß ganz bestimmten Bedingungen genügen, wenn zum Beispiel eine seiner Antennen von selbst, d. h. ohne einen Regelmechanismus, stets in Richtung auf die Erde zeigen soll. Eben diese Bedingungen sind auch beim Mond erfüllt: er wird einerseits von der

Anziehungskraft der Erde und der Zentrifugalkraft in radialer Richtung etwas auseinandergezogen, andererseits aber wegen seiner Eigendrehung durch Schleudervirkung etwas abgeplattet. So ist der Mond genau genommen gar keine Kugel, sondern so etwas wie eine seitlich leicht plattgedrückte Zitrone. Das aber ist gerade notwendig, damit er seine relative Lage zur Erde beibehalten kann. Bei künstlichen Satelliten wird eben dieser Effekt zur passiven Stabilisierung ausgenutzt.

Über Sinn oder Unsinn der Raumfahrtunternehmen ist in der letzten Zeit so viel gesagt worden, daß es unnötig ist, die Argumente zu wiederholen. Wohl aber soll hier auf zwei, auch von hartgesottene Kritikern des teuren Weltraumfeuerwerks nicht mehr bestrittene Tatsachen hingewiesen werden:

- 1) Die mit der Realisierung von Raumfahrtprojekten zusammenhängenden wissenschaftlichen und technischen Entwicklungen induzieren wegen der hier vorliegenden extremen Anforderungen stets auch Fortschritte auf anderen mehr oder weniger benachbarten Teilgebieten. So sind zum Beispiel auch unschwer Verbindungen von der Raumfahrttechnik zur Technik neuzeitlicher Schnellverkehrssysteme nachzuweisen.
- 2) Erfolgreiche Entwicklungsvorhaben sind auf dem Gebiet der Raumfahrt nur bei intensiver Forschung möglich. Dabei darf nicht nur an die angewandte Forschung gedacht werden, sondern vor allem auch an Grundlagenforschungen. Das befruchtende Wechselspiel zwischen technischer Realisierung und Forschung wird auf diesem Gebiet besonders deutlich.

In klarer Erkenntnis dieser Tatsachen hat man sich auch in der Bundesrepublik entschlossen, nicht nur an europäischen, schon zuvor erwähnten Raumfahrtorganisationen mitzuwirken, sondern auch im nationalen Rahmen eine eigene Forschung und Entwicklung durchzuführen. Partnerschaft im größeren Rahmen ist ja nur sinnvoll, wenn der einzelne Partner selbst schon Erfahrungen einbringen kann. Freilich scheint Europas Raumfahrt unter einem schlechten Stern zu stehen. Die Rückschläge bei der Erprobung der Europa-Rakete haben mit

dazu beigetragen, Pläne für europäische Trägerraketen auf Eis zu legen. Dagegen ist die Aktivität auf dem Gebiete der Forschungs- und Nutzsatelliten in Deutschland durchaus erfreulich. Es sei hier die Erforschung der näheren Erdumgebung durch die wissenschaftlichen Satelliten AZUR und DIAL sowie der deutsche Aeronomie-Satellit AEROS erwähnt. Mit dem deutsch-französischen Gemeinschaftsprojekt „SYMPHONIE“ soll 1974 der erste auch kommerziell nutzbare Satellit erprobt werden. Bei den an diesen Projekten aufgetretenen Teilproblemen, die freilich über die Raketen- und Himmelsmechanik weit hinausgehen und vor allem auch die elektrische Nachrichtentechnik betreffen, sind hier auch durchaus eigenständige neue Ergebnisse erzielt worden. Freilich zwingen die Kosten derartiger Unternehmen zu einem sorgfältigen Abwägen von Aufwand und voraussichtlichem Erfolg. Das Risiko ist oft schlecht kalkulierbar – was aber würde aus einer Forschung, die nicht gelegentlich auch vom Mut zum Risiko getragen wird?

#### 4.2 *Kybernetische Mechanik*

Um 1942 hat *N. Wiener* einen mechanischen Folgekreis (Flugabwehrkanone „folgt“ einem angreifenden Flugzeug) genauer analysiert und aus der zum Teil schon vorher bekannten Analogie zwischen Vorgängen in Technik und lebenden Organismen für die Lehre von Systemen mit geschlossenem, also rückgekoppeltem Wirkungskreislauf die Bezeichnung „Kybernetik“ vorgeschlagen. In der Technik zumindest ist die Kenntnis derartiger Regelkreise sehr viel älter. Man kann rückgekoppelte Systeme bereits bei antiken Wasserstandsreglern, später dann bei Druck- und Drehzahlreglern an den frühen Dampfmaschinen nachweisen. Die Erfinder solcher „Regulatoren“ arbeiteten meist unabhängig voneinander und intuitiv; jedenfalls scheint bis etwa gegen Ende des 19. Jahrhunderts das allen diesen Erfindungen gemeinsame Prinzip nicht erkannt worden zu sein. Erst nach der seit etwa 50 Jahren gewachsenen Erkenntnis, daß bei mechanischen, elektrischen und thermischen Regulatoren gleichermaßen ein rückgekoppelter Wirkungs-

kreislauf vorhanden ist, war die Geburtsstunde einer universellen Regelungstechnik gekommen. Zu jener Zeit gehörten deutsche Ingenieure noch mit zu den treibenden Kräften auf diesem sich schnell entwickelnden Gebiet. Auch später noch ging eine wesentliche Initiative von Deutschland aus: 1956 wurde der erste internationale Kongress für Regelungstechnik in Heidelberg veranstaltet. Schon damals mußte festgestellt werden, daß das regeltechnische (oder kybernetische) Grundprinzip weit über den eigentlich technischen Bereich Bedeutung besitzt, so daß sich ganz von selbst Verbindung mit so verschiedenartigen Gebieten wie Nachrichtentechnik, Biologie, Medizin, Volkswirtschaft, ja sogar mit der Pädagogik ergaben. Viel Mühe mußte aufgewendet werden, um gemeinsame oder analoge Grundstrukturen aufzudecken und um dann die gemeinsame Sprache zu schaffen, gefundene Sachverhalte unmißverständlich und übertragbar auszudrücken. Dabei kamen so komplexe Probleme zum Vorschein, daß die Mitarbeit von Mathematikern für eine erfolgversprechende Weiterarbeit bei der regelungs- und steuerungstechnischen Forschung notwendig wurde. So entwickelte sich etwa seit 1950 eine noch weiterreichende fachübergreifende Disziplin, die nach ihren Ursprüngen Regelungs- oder Kontrolltheorie, wegen ihres universellen Charakters etwas verschwommen als Systemtheorie bezeichnet wird. Diese Theorie nimmt zwischen der Mathematik und den verschiedenen Anwendungen etwa dieselbe Stellung ein, wie sie die Theoretische Physik als Mittlerin zwischen Mathematik und Physik innehat. Den Gegenstand der Systemtheorie bilden abstrakte mathematische Modelle, die als Abbilder technischer, biologischer oder volkswirtschaftlicher „Systeme“ aufgefaßt werden müssen. Dabei ist – wovon die auf diesem Gebiet arbeitenden Wissenschaftler ein Lied zu singen wissen – das Auffinden oder Aufstellen geeigneter, hinreichend einfacher, ausreichend komplizierter und zugleich auch zulässiger Modelle eine mühsame Arbeit, die von Routine noch weit entfernt ist. Das mathematische Modell hängt nämlich nicht allein von Art und Struktur des Originalsystems ab, sondern auch von der Natur der Fragestellungen, die untersucht werden sollen. Interessiert man sich

zum Beispiel primär für die Bahn eines Satelliten im Weltraum, dann kann man als physikalisch vereinfachtes Modell eine kleine Einzelmasse (Punktmasse) verwenden, auf die die jeweils vorhandenen Kräfte einwirken. Wenn jedoch auch die räumliche Orientierung von Antennen im oder am Satelliten interessiert, dann ist das Punktmodell zu primitiv; man hat hier ein Körper-Modell, für genauere Untersuchungen sogar Viel-Körper-Modelle zu verwenden. Dabei wird der einzelne Körper meist als starrer, in Sonderfällen aber auch als elastisch angenommen. Das mathematische Modell für systemtheoretische Untersuchungen wird dann aus dem physikalisch vereinfachten Modell durch Aufstellen der sogenannten Bewegungsgleichungen gewonnen.

Eines der wichtigsten Probleme der Modelltheorie ist das der Identifizierung. Man versteht darunter die Bestimmung der in das mathematische Modell eingehenden Kenngrößen aus den beobachtbaren Eigenschaften des Ausgangssystems. Das geschieht durch Ausfragen. In ähnlicher Weise wie man sich meist bemüht, einen unbekanntem Menschen, den man zum erstenmal trifft, auszufragen und aus den Antworten rückzuschließen, wes Geistes Kind er ist, genauso werden einem nicht ausreichend bekannten System Fragen gestellt und Antworten ausgewertet. Als Fragen verwendet man zum Beispiel genau dosierte Störimpulse. Variiert man Ort und Art dieser Störungen, so verrät sich das System selbst durch die entsprechenden Reaktionen. Nun sind aber in der Wirklichkeit Störung und Antwort fast nie in völlig eindeutiger und unveränderlicher Weise miteinander verbunden. Deshalb reicht eine deterministische Theorie vielfach nicht aus, so daß die Hilfsmittel der Wahrscheinlichkeitstheorie und der Statistik herangezogen werden müssen. Man erkennt, daß sich auf diese Weise auch noch Querverbindungen zu den modernen Gebieten der Datenverarbeitung und der Informatik ergeben.

Es ist in der letzten Zeit viel von Weltmodellen gesprochen worden, seit die Veröffentlichung über „Die Grenzen des Wachstums“ die Möglichkeit einer Anwendung systemtheoretischer Methoden auf Fragen der Futurologie allgemein in das Bewußtsein der Öffentlichkeit gerückt

hat. Die Schwierigkeit derartiger Untersuchungen liegt vorwiegend in der Frage der Quantifizierung der in das Modell eingehenden Größen. Wie zum Beispiel soll die in einem Weltmodell sicher zu berücksichtigende „Qualität des Lebens“ gemessen oder gewogen werden? So ist es verständlich, daß die Systemtheorie auf diesem, dem Seziermesser einer mathematischen Analyse noch nicht voll zugänglichen Gebiet bisher nur bedingte Erfolge erzielen konnte.

Was aber hat das noch mit „Technischer Mechanik“ zu tun? Methodisch eben doch recht viel! Und wem diese Antwort nicht genügt, dem sei gesagt, daß der in der Bundesrepublik wohl führende Vertreter der Forschungsrichtung, die sich zur Zeit intensiv mit der Verbesserung von Weltmodellen beschäftigt, Inhaber eines Lehrstuhls für Technische Mechanik ist. Dasselbe gilt übrigens auch für den derzeitigen Vorsitzenden der in der Bundesrepublik vor wenigen Jahren gegründeten „Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialkybernetik“. Beide Beispiele zeigen deutlich, daß mit einem Scheuklappendenken in streng abgegrenzten Fächern heute nicht mehr viel ausgerichtet werden kann. Sie demonstrieren zugleich, daß auch in der Bundesrepublik an diesen Fragen gearbeitet wird, wenn auch vielleicht nicht mit der z. B. in den USA möglichen Intensität.

#### 4.3 *Kontinuumsmechanik*

Wenngleich die stoffliche Materie aus Elementarteilchen, Atomen und Molekülen aufgebaut ist, also letztlich eine körnige Struktur besitzt, bewährt sich für viele Probleme der Mechanik seit langem das Kontinuumsmodell. Die Materie wird dabei als gleichmäßig verteilt, also als breiartig angenommen, so daß einzelne, beliebig herausgegriffene Teilmassen nicht voneinander unterschieden werden können. Da die Technische Mechanik ausschließlich mit makroskopisch großen kontinuierlichen Materialverteilung zu tun hat, kann die atomare Struktur guten Gewissens außer acht bleiben. Sie ist praktisch genau so wenig zu bemerken, wie etwa der Aufbau eines pointillistischen Gemäldes aus Punkten, wenn man es aus größerer Entfernung betrachtet.

Sowohl bei festen wie auch bei flüssigen kontinuierlichen Körpern sind die sogenannten Stoffgesetze von entscheidender Bedeutung. Darunter versteht man Beziehungen, aus denen die Reaktionen eines Körpers, z. B. bei Einwirken von Kräften oder bei Verformungen abgelesen oder berechnet werden können. Derartige Stoffgesetze lassen sich leicht für idealisierte Medien formulieren, wie z. B. für ideal elastische Körper, ideal reibungsfreie Flüssigkeiten oder ideal zähe Flüssigkeiten. Reale Medien verhalten sich aber in vieler Beziehung anders als die idealisierten Näherungsmodelle. Man hat lange Zeit versucht, derartige Abweichungen durch entsprechend kompliziertere Stoffgesetze zu beschreiben. Dieses Vorgehen hat jedoch zu einer solchen Verwirrung von Begriffen und Bezeichnungen geführt, daß ein generelles theoretisches Konzept als Orientierungshilfe dringend gebraucht wurde. Auf diesem Gebiet aber konnten im Laufe der vergangenen Jahre erhebliche Fortschritte erzielt werden. Von sehr allgemeinen logischen oder physikalischen Prinzipien ausgehend ist es gelungen, eine allgemeine Theorie möglicher Stoffgesetze zu entwickeln. Sie hat seither bereits eine Fülle beachtenswerter, auch praktisch brauchbarer Erfolge erzielen können.

Als aktuelle Anwendungsgebiete seien hier die Umformtechnik, die Bruchmechanik, die Rheologie und die Strömungslehre erwähnt. Das rationelle Ausnützen der Materialeigenschaften bei der spanlosen Herstellung von Bauteilen führt nicht nur zu einer erheblich billigeren Fertigung, sondern im allgemeinen auch zu geringeren Fehlern, also zu weniger Ausschuß. Durch die schon mehrfach angewendete Explosions-Verformung sind der Umformtechnik sogar neue Anwendungsbereiche erschlossen worden.

Für die Sicherheit von technischen Systemen ist das Bruchverhalten, also Entstehung und Ausbreitung von Rissen im Material bis zum Bruch eines Maschinenteils wichtig. Auf der Grundlage geeigneter Stoffgesetze konnten hier erhebliche Fortschritte erzielt werden, zum Beispiel bei der Aufklärung der verformungslosen Bruchausbildung (Sprödbruch), die bei einigen Autobahnbrücken sowie bei den Liberty-Schiffen zu schwerwiegenden Schäden geführt hatten.

Die Verfahrenstechnik, die man allgemein als eine Technik der Stoffverarbeitung und Stoffumwandlung bezeichnen kann, hat wesentliche Fortschritte vor allem der Entwicklung genauerer Stoffgesetze zu verdanken.

Schließlich sind auch in der Strömungsmechanik Ergebnisse erzielt worden, die allgemein stimulierend auf verschiedene technische Bereiche gewirkt haben. In der Fliegerei, aber auch bei allen Strömungsmaschinen wie Wasserturbinen, Verbrennungsmotoren oder Strahlantrieben, spielt der Verlauf der Strömungen in der unmittelbaren Umgebung der die Strömung begrenzenden Wände eine sehr wichtige Rolle. Von diesem Verhalten in der sogenannten Grenzschicht hängt zum Beispiel der Widerstand und damit die Wirtschaftlichkeit eines Flugzeuges, eines Schiffes oder einer Strömungsmaschine ab. Die Erfahrung hat seit langem gezeigt, daß die für kleine Geschwindigkeiten glatte Strömung in der Grenzschicht bei Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit stets turbulent, also unregelmäßig wird. Das Umschlagen der Grenzschichtströmung, also ihre Stabilität, ist nun im Laufe der vergangenen Jahrzehnte von Forschern auf der ganzen Welt intensiv untersucht worden. Folgen dieser Arbeiten sind z. B. widerstandsarme Tragflügel, die das Fliegen rationeller machen, oder Strömungsmaschinen mit merklich verbessertem Wirkungsgrad. Einige deutsche Forschergruppen in Freiburg, Göttingen, Braunschweig und Berlin sind auf diesem Gebiet besonders erfolgreich gewesen.

#### 4.4. *Schwingungsmechanik*

Nur in wenigen Stichworten sollen hier Probleme aufgezählt werden, bei deren Lösung – auch in der Bundesrepublik – in der letzten Zeit neue Ergebnisse zu verzeichnen waren und weiterhin noch gearbeitet wird. Mit der auch außerhalb von Luft- und Raumfahrt allgemein festzustellenden Tendenz zu leichteren Bauweisen ist neben der statischen Festigkeit zunehmend auch die dynamische Festigkeit von Bauteilen zu berücksichtigen. Deshalb müssen die auftretenden Schwingungen untersucht, Stabilität und Möglichkeiten zur Dämpfung dieser

Schwingungen erforscht werden. Diese an sich klassische Aufgabe hat durch die Fortschritte der Meß- und Regeltechnik neue Aspekte gewonnen. An die Stelle der passiven Schwingungsbekämpfung durch energieverzehrende Dämpfer tritt zunehmend eine aktive Schwingungsreduktion durch Verwendung von geregeltten Stellmechanismen. Musterbeispiel für diese moderne, aber auch aufwendigere Art der Schwingungsentstörung ist das Regelungs- und Federungssystem von Schnellbahnprojekten. Die ohne jeden Körperkontakt schwebende Zelle eines solchen Fahrzeugs kann verschiedenartige Schwingungen ausführen, die durch den Antrieb, durch Luftwiderstand, vor allem aber durch die Unregelmäßigkeiten der Fahrbahn angeregt werden. Aufgabe des Regelungssystems ist es, die Lage des Fahrzeugs so einzurichten, daß der Schweb- und Antriebsmechanismus arbeiten kann, daß die Sicherheit gewährleistet ist und daß die Fahrgastzelle möglichst schwingungsfrei bleibt, um den erwünschten Fahrkomfort zu haben.

Ein weiteres aktuelles Beispiel bilden Gaszentrifugen, die z. B. zur Isotopentrennung verwendet werden. Um den notwendigen Trenneffekt zu erreichen, sind sehr hohe Drehzahlen erforderlich. Die dabei auftretenden Schwingungen sind jedoch nur schwer zu beherrschen. Theorie und Versuche zeigen nun, daß Werkstoffverformungen oder Nachgiebigkeit der Lager ein Aufschaukeln der Schwingungen bewirken können: die Zentrifuge „stürzt ab“. Ziel der Dimensionierung muß es sein, die kritischen Drehzahlen so hoch zu legen, daß das System wirtschaftlich und sicher zugleich betrieben werden kann.

Brücken, Lichtmaste, Türme und Gebäude können durch Wind zu Schwingungen angeregt werden, die – wie im berühmt gewordenen Fall der Tacoma-Brücke – bis zum Einsturz führen können. Diese Erscheinungen sind dem gefürchteten „Flattern“ von Flugzeugtragflügeln verwandt. Sie werden, wie übrigens auch die Tonerzeugung in allen Blasinstrumenten, zur Klasse der strömungs-selbsterregten Schwingungen gezählt, die in der Aeroelastik genauer untersucht werden. Auf diesem Gebiet sind zum Beispiel in Göttingen bahnbrechende Arbeiten geleistet worden.

Zu den selbsterregt schwingenden Systemen gehören auch Uhren, gleichgültig ob es sich um Pendel-, Unruh-, Stimmgabel- oder Quarzuhren handelt. Der Entstehungsmechanismus der dabei verwendeten Schwingungen ist weitgehend bekannt. Weniger bekannt dagegen ist, daß in den letzten Jahrzehnten die Parallelen zu der inneren Uhr der Lebewesen immer deutlicher hervorgetreten sind. In der Biomechanik wird Aufbau und Beeinflußbarkeit der inneren Uhr bei Mensch und Tier untersucht und dabei auch die Analogie zu den mechanischen Uhren ausgewertet. Die mathematischen Gleichungen zur Berechnung der Schwingungsphänomene können weitgehend übertragen werden. In den letzten Jahren ist sogar noch eine andere Parallele zwischen mechanischem und organisch-psychischem Systemverhalten erkannt worden. Man hat feststellen können, daß der Entstehungsmechanismus der psychischen Labilität, die zu Apathie oder Aggression führen kann, analog zum Instabilwerden mechanischer Systeme ist. Auch hier wird man durch sinnvolles Ausnutzen der Analogie und durch Übertragen der mathematischen Modelle Erkenntnisse und damit vielleicht Möglichkeiten zur Beeinflussung gewinnen können. Beiläufig sei hier an die schon länger bekannte Tatsache erinnert, daß aus der biomechanischen Analogie zwischen selbsterregten Schwingungen und den Zittererscheinungen bei nervösen Erkrankungen Wege zur Therapie gefunden und mit Erfolg beschritten worden sind.

Schließlich noch einige Bemerkungen zu einem Gebiet, das man als Computer-Mechanik bezeichnen könnte. Die zunächst als Rechenhilfe begrüßten und immer mehr verwendeten elektronischen Rechenautomaten zeigten im Laufe der Jahre deutliche und nicht mehr zu vernachlässigende Rückwirkungen auf die Theorie der Erscheinungen, die man mit ihnen berechnen wollte. Der Rechenknecht wurde – wenn auch nicht zum Herrn, so doch zu einem mitbestimmenden Partner des Theoretikers. Die computergerechte Formulierung von Problemen hat es ermöglicht, jetzt Aufgaben von einem Schwierigkeitsgrad und einer Komplexität zu lösen, an die man noch vor 30 Jahren nicht zu denken wagte. Ist es da zu verwundern, daß auch die Denkwege der Theo-

retiker rückwirkend davon beeinflußt werden? Eines der Ergebnisse dieser Partnerschaft ist eine Art neuer Atomtheorie für die Berechnung mechanischer Systeme, die als „Methode der finiten Elemente“ bezeichnet wird. Sie kann als ein universelles, überaus flexibles Werkzeug für die Verhaltensforschung technischer Systeme angesehen werden. Wesentliche Arbeiten dazu sind in Stuttgart geleistet worden.

### 5. Bilanz und Ausblick

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft hat vor einigen Jahren eine Untersuchung unter dem Titel „Stand und Rückstand der Forschung in Deutschland“ veröffentlicht, in der für eine Reihe von Fachgebieten eine nüchterne Bestandsaufnahme vorgenommen wurde. Für die mit der Mechanik zusammenhängenden Fächer ergibt sich dabei keine allzu günstige Gesamtbilanz: trotz einzelner, zweifelsfrei anerkannter Spitzenleistungen sei kein Anlaß zum Jubeln gegeben, es fehle vielmehr die Breite. Merklichen Erfolgen auf den mehr klassischen Gebieten stehe ein deutlicher Rückstand auf interfakultativen Bereichen sowie auf solchen Gebieten gegenüber, die einen besonders hohen Aufwand erfordern. So wird beispielsweise die Regeltechnik als zurückgeblieben, die Raketen- und Weltraumtechnik als förderungsbedürftig bezeichnet. Es wird beklagt, daß allgemein noch zu wenig Verständnis für die Bedeutung der Forschung als Grundlage für die Zukunft der Industrie und damit auch der Wirtschaft anzutreffen ist. Nach sorgfältiger Analyse der Situation wird vor allem vorgeschlagen, Schwerpunkte bei der Förderung der Forschung zu bilden. Diese Anregung ist inzwischen durch die Bildung von Sonderforschungsbereichen konsequent verwirklicht worden. Weiterhin wird eine Förderung gerade auch für solche Bereiche empfohlen, die aussichtsreich erscheinen, aber nicht bereits in aller Munde sind und bei denen nicht schon andere die Rosinen herausgepickt haben.

Hat sich an dieser Bilanz etwas geändert? Global gesehen sicher nicht viel. Wohl aber hängt es bei allem Drang zu objektiver Berichterstattung sehr vom Blickwinkel des Beurteilenden ab, wie der Wert einzelner Ergebnisse im Spektrum der Gesamtwissenschaft beurteilt wird. Auch wird man in Zukunft Einzelerfolge immer weniger abgrenzen können, da die auch internationale Zusammenarbeit die Grenzen verwischt und – von gewissen Prestigeforschungen mit politisch verwertbarem fall-out einmal abgesehen – weniger Wert auf nationale Urhebererschaft gelegt zu werden scheint. Das darf man begrüßen, weil es die Situation besonders auch auf internationalen Kongressen entkrampft.

Wenn man Teilbereiche der Technischen Mechanik benennen sollte, deren zukünftige Bedeutung aller Voraussicht nach anwachsen wird, dann darf man wohl vorwiegend interdisziplinäre Forschungen nennen: Regel- und Steuertechnik, allgemeine Systemtheorie, Computermechanik, Biomechanik und – auch in einer Zeit der Raumfahrtmüdigkeit – die Weltraumtechnik mit ihren enormen Herausforderungen an Wissenschaft und Technik.

Die Tatsache, daß diese übergreifenden Fächer mehr und mehr in unser Blickfeld rücken, macht eine Tendenz deutlich, auf die abschließend mit Nachdruck hingewiesen werden soll. Es wurde und wird noch immer viel lamentiert über die fortschreitende Aufsplitterung der Wissenschaften in immer spezialisiertere Teilgebiete. Es wird das Schreckgespenst des Wissenschaftlers als Fachidiot heraufbeschworen. Wer jedoch allein diesen Aspekt sieht, verkennt, daß es daneben erstaunlicherweise gerade auch den entgegengesetzten Effekt gibt: die Wissenschaften wachsen zusammen, ihre Überdeckungsbereiche werden sichtbar und gewisse innere Strukturen lassen sich dank vielfältiger Analogien übertragen. Das Beispiel der fächerverbindenden Kybernetik wurde bereits erwähnt. So scheint nach langen Jahrhunderten, in denen die Wissenschaft durch das Sammeln von Einzelerkenntnissen und eine zwangsläufig erscheinende Aufsplitterung in Teilwissenschaften geprägt war, nun eine Zeit zu kommen, in der Fortschritte der

Forschung nicht notwendigerweise zu weiterer Zersplitterung führen müssen. Sie können vielmehr auch zu einer neuen Synopsis beitragen. Es ist denkbar, daß bei diesem Integrationsprozeß der Mechanik dank ihrer ausgereiften Methoden eine gewisse katalytische Bedeutung zukommen wird.