

# 1 Einführung

## 1.1 Vorbemerkungen sowie Ziel und Aufbau des Buches

Dieser Band beschließt die fünfteilige Reihe Studium der Umweltwissenschaften. Reihen wie diese sind notwendiger denn je, denn Bücher von Experten für (angehende) Experten gibt es hinreichend. Es gibt jedoch einen eklatanten Mangel an Büchern von Experten für interessierte Laien. Die Gründe hierfür sind vielfältig. Wissenschaftliche Lorbeeren lassen sich damit kaum erwerben. Versuche einer zumindest partiellen Laisierung der Wissenschaften gelten bei uns leider immer noch eher als karriereschädigend, allen wortreichen Beteuerungen zu PUSH (Public Understanding of Science and Humanities) zum Trotz. Ich bin das reizvolle Wagnis gerne eingegangen, Studenten anderer Fachrichtungen (insbesondere der Umweltwissenschaften in ihren vielfältigen Ausprägungen) in die Gedankenwelt und die Arbeitsweise von Ingenieuren einzuführen.

An dieser Stelle sogleich eine eingeschobene Bemerkung zu den Begriffen Student und Ingenieur. Damit meine ich selbstverständlich Vertreter beiderlei Geschlechts. Ich folge nicht der modischen Unsitte, von Studentinnen und Studenten sowie von Professorinnen und Professoren zu sprechen. Als ich die Formulierung Christinnen und Christen zum ersten Mal hörte, hatte ich zunächst an einen Scherz gedacht.

Im Gegensatz zu den vier vorliegenden Bänden dieser Reihe, das sind Wirtschaftswissenschaften (Schaltegger 2000), Rechtswissenschaften (Brandt 2001), Sozialwissenschaften (Müller-Rommel 2001) und Naturwissenschaften (Härdtle 2002), stammt dieser Text aus einem Mund und einer Feder. Längere Textpassagen habe ich mit einer Spracherkennungssoftware (IBM ViaVoice Release 8) direkt in den Rechner diktiert. Dadurch erhoffe ich mir, dass der Text im Vergleich zu üblicher wissenschaftlicher Literatur ein wenig lockerer wird. Damit verbinde ich die Hoffnung, die Zahl der interessierten Leser zu erhöhen.

Kann *ein* Autor überhaupt eine Disziplin wie *die* Ingenieurwissenschaften überblicken, um darüber in der Gesamtheit zu schreiben? Hinreichende Erfahrungen in Lehre und Forschung vorausgesetzt, sollte die Kompetenz eines Autors ausreichen, einen einführenden Text zu schreiben. Aufmerksame Leser werden unschwer feststellen können, in welchen Bereichen ich mehr oder weniger kompetent bin. Auch wenn ich mich bemüht habe, dies nicht allzu deutlich werden zu lassen. Im Übrigen glaube ich, dass es weder für Studienanfänger noch für Fachfremde besonders motivierend ist, wenn man für eine Einführung in eine Disziplin mehrere Experten bemühen muss.

*Für wen* ist dieses Buch gedacht? Zunächst natürlich für Studenten der Umweltwissenschaften. Den Bezug zu den Umweltwissenschaften habe ich durch Beispiele und durch Bezüge im Text versucht zu verdeutlichen. Weiter habe ich die Hoffnung, dass auch Studenten anderer Fachrichtungen an einem derartigen Buch Interesse haben, sofern die Technik in ihrem Studium eine Rolle spielt. Beispielhaft seien hier die Wirtschaftswissenschaften (insbesondere das Wirtschaftsingenieurwesen), die Sozialwissenschaften (insbesondere die Techniksoziologie und der Komplex Gesellschaft und Technik), die Rechtswissenschaften (insbesondere das Umweltrecht und das Patentrecht) sowie die Geschichtswissenschaften (insbesondere die Technikgeschichte) genannt. Der Bezug zur Mathematik, zur Informatik und zu den Naturwissenschaften ist ohnehin evident. Sofern in den Schulen ein Fach Technik eingeführt werden sollte, was vielerorts und zunehmend gefordert wird, so könnte auch hier dieser Band verwendet werden. Letztendlich werden wohl auch Ingenieurstudenten eine knappe und anschauliche Wiederauffrischung begrüßen.

Die von mir geäußerte Hoffnung auf eine breite Leserschaft muss ich sogleich etwas einschränken. Denn einem gängigen Bonmot zufolge halbiert jede Formel in einem Buch die Zahl der Leser. Da Ingenieurwissenschaften ohne Formeln, also ohne Mathematik, nicht denkbar sind, könnten potenzielle Interessenten durch die (wenigen) formellastigen Passagen abgeschreckt werden. Dies betrifft die Abschnitte 2.1 Mathematik, 3.1 Mechanik, 3.2 Thermodynamik, 3.3 Strömungsmechanik sowie 3.4 Elektrotechnik. Ich habe mich bemüht, der Anschauung den Vorrang vor Exaktheit bei den Herleitungen zu geben. Letztere sind zumeist eher Plausibilitätsbetrachtungen. In der Mehrzahl der Abschnitte habe ich Formeln weitgehend vermieden.

Stets habe ich besonderen Wert auf geschichtliche Bezüge gelegt, weil sie nach meiner Erfahrung den Studenten den Zugang zu einer Disziplin erleichtern. Dass ein Band wie dieser von persönlichen Erfahrungen, Vorlieben und Marotten zwangsläufig geprägt ist, soll nicht unerwähnt bleiben. Nach diesen Vorbemerkungen komme ich zum Aufbau des Buches.

Nach der in diesem Kapitel folgenden historischen Einführung werden die Kapitel zwei bis fünf der heutigen Ausbildung der Ingenieure gewidmet sein. In dem Kapitel sechs werde ich umweltbezogene Forschung in den Ingenieurwissenschaften behandeln, einerseits klassischer technischer Art und andererseits fachübergreifender Art. Im siebten Kapitel beschreibe ich aus meiner Sicht, welchen Anforderungen sich Ingenieure heute (und morgen?) gegenüber sehen (werden) und welche Konsequenzen bezüglich der Lehrinhalte und Lehrformen daraus gezogen werden sollten.

Das zweite Kapitel behandelt die mathematischen und naturwissenschaftlichen Grundlagen: Mathematik, Informatik, Physik und Chemie. Daran schließt sich das dritte Kapitel an, die Vermittlung der technischen Grundlagen: Mechanik, Thermodynamik, Strömungsmechanik, Elektrotechnik, Werkstofftechnik und Konstruktionstechnik.

Die in den Kapiteln zwei und drei behandelten Grundlagen werden in einem viersemestrigen Grundstudium vermittelt. Da diese Fächer weitgehend aufeinander aufbauen, ist das Grundstudium verschult. Denn nur die richtige Reihenfolge

macht Sinn; plakativ formuliert: Die Mathematik lernt der Ingenieur in der Mechanik, und die Mechanik lernt er in der Konstruktionstechnik.

Die Inhalte des Grundstudiums sind weitgehend trendinvariant, sie haben sich seit meiner Studienzeit vor etwa vierzig Jahren kaum (Ausnahme Informatik) verändert. Sie machen mit knapp 100 Semesterwochenstunden (SWS) den Löwenanteil des Ingenieurstudiums aus.

Alsdann wird im vierten Kapitel der Stoff des Hauptstudiums, die technischen Vertiefungen, behandelt. Noch zu meiner Studienzeit gab es an den Technischen Universitäten nur drei klassische Studiengänge. Diese waren Maschinenbau, Elektrotechnik und Bauingenieurwesen. Hinzu kamen an einigen wenigen Hochschulen die traditionellen Fächer Bergbau und Hüttenwesen.

In den letzten Jahren hat eine zunehmende Spezialisierung eingesetzt, die zu zahlreichen neuen Studiengängen geführt hat. Diese Spezialisierungen haben weniger die trendinvarianten Grundlagenfächer berührt, dafür umso stärker jedoch die technischen Vertiefungen im Hauptstudium. So hat sich aus dem Maschinenbau die Verfahrenstechnik entwickelt, und aus letzterer ist in Zusammenarbeit mit der Chemie das Chemieingenieurwesen entstanden. Aus dem Bauingenieurwesen und aus dem Bergbau heraus hat sich zusammen mit den Geowissenschaften die Deponietechnik entwickelt. Aus dem Maschinenbau und der Physik sind die Werkstoffwissenschaften entstanden. Studiengänge der Umweltschutztechnik haben neben der Verfahrenstechnik und dem Chemieingenieurwesen ihre Wurzeln im Bauingenieurwesen, im Bergbau und in der Metallurgie.

Im vierten Kapitel werde ich exemplarisch vorgehen, wobei der Schwerpunkt (dieser Buchreihe entsprechend) auf umweltrelevanten Vertiefungen liegen wird. Bei den fachübergreifenden Fächern, Kapitel fünf, gibt es kontroverse Diskussionen darüber, ob und in welchem Umfang diese zur Kernkompetenz der Ingenieure gehören. Auf diese Diskussionen werde ich eingehen.

Im Kapitel sechs werden typische umweltbezogene Forschungsthemen behandelt, zu denen Ingenieure maßgebliche Beiträge liefern können. Überschneidungen mit anderen Disziplinen werden diskutiert. Die umweltrelevanten Forschungsgebiete haben sich sehr dynamisch entwickelt. Angehende Ingenieure und Naturwissenschaftler finden reizvolle und spannende Aufgaben vor, das gilt auch für Ökonomen, Soziologen und Juristen. Dies soll in Kapitel sechs deutlich gemacht werden. Daran schließen sich in Kapitel sieben (subjektive?) Bemerkungen darüber an, was Ingenieure der Zukunft können sollten.

## 1.2 Technik gestern und heute

Dieser Abschnitt ist aus einer Zusammenfassung meiner Vorlesung „Zivilisationsdynamik“ entstanden, gehalten im Wintersemester 2001/2002 im Rahmen des Studium generale der TU Clausthal. Dabei lag mein Hauptaugenmerk auf den Wechselwirkungen von Technik einerseits und politischen Strukturen sowie Veränderungen in der Gesellschaft andererseits. Insbesondere wollte ich vornehmlich Fragen stellen, aber auch versuchen, diese zu beantworten. Warum, wohin

und wodurch entwickelt sich die Menschheit? Welches sind die Kräfte der Veränderung, welche die der Beharrung? Wie lassen sich unterschiedliche Entwicklungsgeschwindigkeiten erklären? Wie kann Entwicklung (gleich Fortschritt?) beschrieben werden? Warum gibt es arme und reiche Gesellschaften?

Fünf Thesen bilden den Ausgangspunkt dieses Abschnitts:

1. Die Geschichte der Menschheit ist ein evolutionärer Prozess, nennen wir ihn Zivilisationsdynamik.
2. Nur der Mensch kann seine eigene Evolution beschleunigen, durch von ihm selbst geschaffene Innovationen: durch die Sprache seit 500.000 Jahren, die Schrift seit 5000 Jahren, den Buchdruck seit 500 Jahren und die (insbesondere digitalen) Informationstechnologien seit etwa 50 Jahren.
3. Die Menschheitsgeschichte ist die Geschichte eines sich durch Technik ständig beschleunigenden Einflusses auf immer größere Räume und immer fernere Zeiten.
4. Sind die Kräfte der Veränderung größer als die Kräfte der Beharrung, so tritt ein Strukturbruch ein. Wir sprechen von einer Verzweigung, einer „Revolution“. Die neolithische Revolution setzte vor etwa 10.000 Jahren ein. Die von Europa ausgegangene wissenschaftliche und industrielle Revolution ist nur wenige hundert Jahre alt. Die digitale Revolution hat soeben begonnen.
5. Jede strukturelle Veränderung beruht auf einer Ausweitung von Handlungsräumen.

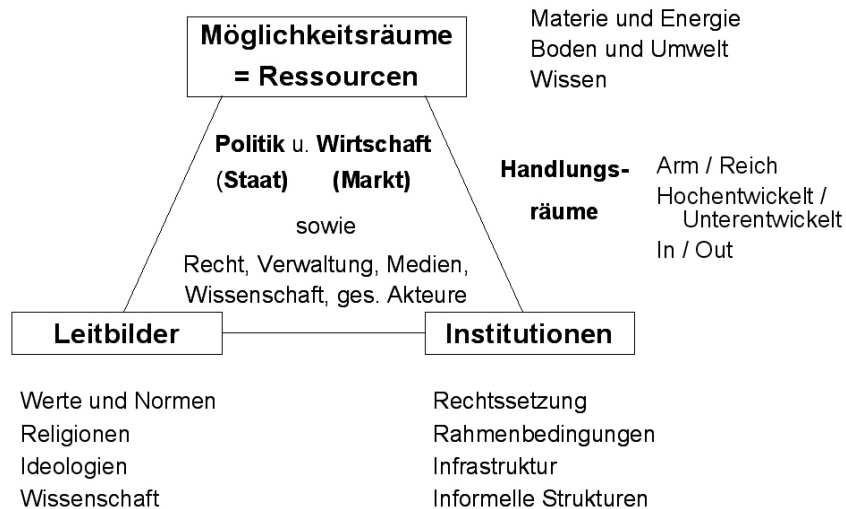


Abb. 1.1. Handlungsräume (Jischa 2003)

Die letzte These soll mit Abb. 1.1 verdeutlicht werden. Handlungsräume entstehen, sie werden erweitert oder verengt. Dabei sind drei Faktoren dominierend:

- Ressourcen, natürliche wie künstliche, eröffnen Möglichkeitenräume. Ob daraus Handlungsräume werden, hängt von den beiden anderen Faktoren ab.

- Leitbilder prägen Gesellschaften in hohem Maße: Von den Göttern zu dem einen Gott, und später zur Wissenschaft als der neuen Religion, das war der entscheidende Wandel abendländischer Leitbilder.
- Institutionen: Damit sind formelle wie auch informelle Strukturen gemeint, Rahmenbedingungen und Rechtssetzung sowie Infrastruktur.

Zwischen diesen drei Faktoren gibt es zahlreiche Wechselwirkungen mit positiven und negativen Rückkopplungen. Warum (oder warum nicht) Gesellschaften erfolgreich und innovativ sind, hängt von deren Wechselspiel ab. Damit lässt sich der überaus unterschiedliche Verlauf einer Geschichte der Regionen erklären. Es handelt sich hierbei um die klassische Frage, ob technischer und ökonomischer Wandel den kulturellen und politischen Wandel verursachen, oder umgekehrt. Karl Marx vertrat einen ökonomischen Determinismus. Er war der Auffassung, das technologische Niveau einer Gesellschaft präge ihr ökonomisches System, das wiederum ihre kulturellen und politischen Merkmale determiniert. Auf der anderen Seite vertrat Max Weber einen kulturellen Determinismus. Nach ihm hat die protestantische Ethik die Entstehung des Kapitalismus erst ermöglicht, somit maßgeblich zur industriellen und demokratischen Revolution beigetragen. Für beide Auffassungen lassen sich Belege aus der Geschichte finden. Im Folgenden werde ich in einem Schnelldurchgang durch die Menschheitsgeschichte das Wechselspiel zwischen den drei Faktoren Ressourcen, Leitbilder und Institutionen skizzieren. Dabei wird insbesondere die Rolle der Technik thematisiert werden.

Als Ressource wird beispielhaft die Energie betrachtet, deren Bereitstellung ganz maßgeblich die technische Entwicklung beeinflusst hat. Aus dem Geschichtsunterricht sind wir es gewohnt, die Epochen der Menschheitsgeschichte an Materialien festzumachen wie Steinzeit, Bronzezeit oder Eisenzeit. Ich halte die Energie für die interessantere Ressource, um das Wechselspiel zwischen technischer und gesellschaftlicher Entwicklung zu beschreiben. Generell ist die Bedeutung physischer Ressourcen, ob mineralische Rohstoffe oder Energierohstoffe, in der Regel überschätzt worden. Die Bedeutung der Leitbilder, der Werte und Normen einer Gesellschaft, die zumeist einen direkten Einfluss auf Institutionen wie etwa Rahmenbedingungen und Rechtssetzung haben, ist häufig unterschätzt worden.

Die älteste Gesellschaftsform bezeichnen wir als die Welt der Jäger und Sammler. Die Gesellschaft war in Stämme und Clans organisiert, sie war egalitär und demokratisch. Es gab keine zentrale Macht, Anführer bei kriegerischen Auseinandersetzungen wurden auf Zeit bestimmt. Erste technische Geräte waren Werkzeuge aus Stein, Holz oder Knochen wie etwa Faustkeile, Wurfspieße und Äxte.

Die Menschen der Urzeit haben in allen Naturvorgängen das Wirken von Göttern und Dämonen gesehen. Diese freien und unberechenbaren übernatürlichen Mächte wurden durch Opfer, Gebete, Beschwörungen und kultische Handlungen freundlich gestimmt. Die Welt war geheimnisvoll und voller Zauber, wir sprechen von einer magischen Weltbetrachtung. Das Leitbild der damaligen Zeit waren Götter, die durch Naturkräfte wie Blitz, Donner, Dürre oder Überschwemmungen wahrgenommen wurden. Als Energieressource standen das Feuer und die menschliche Arbeitskraft zur Verfügung.

Vor etwa 10.000 Jahren setzte eine erste durch Technik induzierte strukturelle Veränderung der Gesellschaft ein, die zu einer starken Ausweitung von Handlungsräumen führte, die *neolithische* Revolution. Sie kennzeichnet den Übergang von der Welt der Jäger und Sammler zu den Ackerbauern und Viehzüchtern. Pflanzen wurden angebaut und Tiere domestiziert, die Menschen begannen sesshaft zu werden. Die Agrargesellschaft entstand. Aus der Erschließung des Schwemmlandes an Euphrat und Tigris entwickelte sich die erste, die sumerische Zivilisation. Das Sumpfdickicht war fruchtbares Schwemmland und fruchtbringendes Wasser zugleich. Die Unterwerfung der Natur durch Be- und Entwässerungsanlagen sowie durch Dammbau war die erste große technische und soziale Leistung der Menschheit. Die systematische Zusammenarbeit vieler Menschen war hierzu erforderlich. Ein derartiges organisatorisches Problem konnte nicht von relativ kleinen und überschaubaren Stämmen gelöst werden. Es entwickelte sich eine erste regionale Zivilisation neuer Art.

Anlage und Wartung von Bewässerungssystemen waren Grundbedingung für das Leben der Gemeinschaft. Anführer wurden erforderlich, mündliche Anweisungen wurden ineffizient und mussten durch neue Medien wie Schrift und Zahlen ersetzt werden. Die Sumerer entwickelten vor etwa 5500 Jahren die erste Schrift, eine Bilderschrift aus Piktogrammen und Lautzeichen. Zahlen und Maße entstanden als Erfordernis der Praxis. Denn die Sumerer waren die erste Gemeinschaft, die einen Mehrertrag erwirtschaftete. Und dieser musste erfasst werden.

Damit standen die Sumerer vor einem neuen Problem, das bis heute die gesellschaftliche und politische Diskussion beherrscht: wie soll dieser Mehrertrag verteilt werden? Die Antwort der Sumerer war folgenschwer. Sie entschieden sich für eine ungleichmäßige Verteilung und schufen damit eine privilegierte Minderheit. Die Mehrheit akzeptierte dies offenkundig. Damit war die ökonomische Basis der Klassendifferenzierung gelegt.

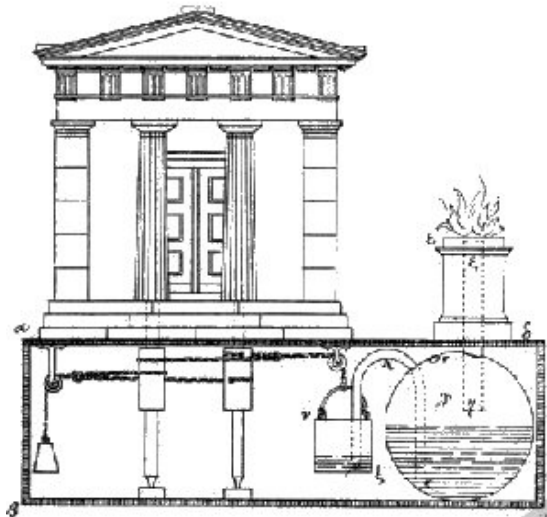
Entscheidende Veränderungen lagen im Wandel des Charakters und der Funktion der Götter. Früher wurden die Götter durch Naturkräfte verkörpert. Die erste große gemeinschaftliche menschliche Aktion der Unterwerfung der Natur, die Erschließung des Schwemmlandes, verschob das Kräfteverhältnis zwischen Mensch und Natur. Die Menschen begannen, die eigene Kraft und insbesondere die der Herrscher zu verehren neben den nichtmenschlichen Kräften. Die weltliche Macht der Herrschenden wurde zunehmend durch religiöse Funktionen gestützt. Die Herrschenden wurden zu Mittlern zwischen den Göttern und der Gemeinschaft. In der ägyptischen Zivilisation, der zweiten Zivilisation in der Menschheitsgeschichte, wurde dies auf die Spitze getrieben: der Pharaos wurde zu einem Menschengott.

In der Agrargesellschaft kam eine neue Energiequelle hinzu. Neben dem Feuer und der menschlichen Arbeitskraft wurde zunehmend tierische Arbeitskraft eingesetzt. Domestizierte Tiere wie etwa Rinder konnten Wagen oder Pflüge ziehen. Auch das gesellschaftliche Leitbild wandelte sich. Während in den vorzivilisatorischen Gesellschaften Gottheiten in den Naturkräften erfahren wurden, wurden nunmehr Natur- und Menschenmacht gleichzeitig vergöttert. Der Gegenstand der Verehrung hatte gewechselt, aber weiterhin wurde die Macht vergöttert und angebetet.

Ab etwa 600 v.Chr. findet der für die menschliche Entwicklung so bedeutsame Übergang von der magischen zur physikalischen Weltbetrachtung statt. Die Natur wird entzaubert, ihr wird das Geheimnisvolle genommen. Die umgebende Welt wird von Naturgesetzen beherrscht gesehen, welche den Ablauf der Erscheinungen eindeutig beschreiben und die Vorhersage kommender Ereignisse gestatten. So erkannten die Griechen, dass die Nilfluten durch saisonale Regenfälle im Inneren Afrikas verursacht werden.

Eine zentrale Rolle bei der Erklärung von Naturvorgängen spielte die Mechanik. Das Wort bedeutet im Griechischen soviel wie Werkzeug oder Werkzeugkunde. Die Entwicklung der Mechanik wurde maßgeblich von der Einstellung des Altertums zur Technik geprägt. Die körperliche Arbeit galt als niedrig und unfein. Der freie Mann widmete sich den Staatsgeschäften, der Kunst und der Philosophie. So lesen wir in einem der Dialoge Platons: „Aber du verachtest ihn (den Techniker) und seine Kunst und würdest ihn fast zum Spott Maschinenbauer nennen, und seinem Sohn würdest du deine Tochter nicht geben, noch die seinige für deinen Sohn freien wollen.“ Bei Aristoteles lesen wir: „Ist denn nicht der Mechaniker ein Betrüger, der Wasser durch Pumpwerke zwingt, sich entgegen dem natürlichen Verhalten bergaufwärts zu bewegen?“

Die antike Technik beschränkte sich zumeist auf mechanische Spielereien. So gab es einen Automaten, der nach dem Einwurf eines Geldstücks Weihwasser spendete, oder eine Einrichtung zum automatischen Nachfüllen von Öl für Lampen. Ein Meister seines Faches war damals Heron von Alexandria, von dem der häufig zitierte pneumatische Tempeltüröffner stammt, Abb. 1.2.



**Abb. 1.2.** Pneumatischer Tempeltüröffner des Heron von Alexandria. Aus: Schmid W (1899) Herons von Alexandria Druckwerke und Automatentheater. Universitätsbibliothek Leipzig

Dessen Wirkungsweise sei kurz skizziert. Wird über einem unterirdisch angebrachten Wasserbehälter ein Opferfeuer entzündet, so nimmt der Druck der Luft wegen der Erwärmung und der damit verbundenen Ausdehnung über der Wasseroberfläche zu. Dadurch wird das Wasser über eine Rohrleitung in einen daneben liegenden beweglichen Behälter gedrückt, der schwerer wird als ein entsprechendes Gegengewicht. Wasserbehälter und Gegengewicht treiben über Seile oder Kettenzüge die Tempeltüren an. Die Türen werden so lange geöffnet gehalten, wie das Feuer für die Aufrechterhaltung des hohen Druckes sorgt. Wird das Feuer gelöscht, so nimmt der Druck wegen der Abkühlung ab, und der Wasserstand in dem festen Behältern steigt wieder an. Dadurch wird der bewegliche Wasserbehälter leichter und das Gegengewicht kann die Türen wieder schließen. Dies wird auf die Gläubigen der damaligen Zeit einen nachhaltigen Eindruck gemacht haben. Hier wurde Technik ausgenutzt, um durch Herrschaftswissen Macht über die Gesellschaft auszuüben.

Die Römer haben nicht an einer Weiterentwicklung des griechischen Weltbildes gearbeitet. Es entstanden jedoch grandiose Ingenieursleistungen, insbesondere auf dem Gebiet der Bautechnik. Hier sind die Wasserversorgungsanlagen zu nennen, wofür das uns erhaltene Aquädukt von Nimes ein schönes Beispiel ist. Es gab offene Wasserleitungen und unterirdische Druckleitungen, die um 100 n. Chr. in Rom eine Gesamtlänge von ungefähr 400 km erreicht hatten.

Die Götterwelt der Römer war durch wenig Tiefsinn und durch Toleranz bis hin zur Beliebigkeit charakterisiert. Die pragmatische Integration von Göttern aus besetzten Regionen führte dazu, dass es Gottheiten und Halbgötter für alles und für jeden gab. Der Polytheismus der Römer war quasi ausgereizt. Mit dem Judentum gab es um die Zeitwende zwar schon eine gut 1000 Jahre alte monotheistische Religion. Diese war jedoch in hohem Maße exklusiv, Missionierung fand nicht statt. Mit dem Aufstieg des Christentums entwickelte sich eine zweite monotheistische Religion, die einen ausgesprochen inklusiven Charakter aufwies. Sie wurde zur Staatsreligion im römischen Reich und damit zur beherrschenden Religion der westlichen, der späteren industrialisierten Welt.

In dem 1000 Jahre währenden Mittelalter wurde keine eigenständige Naturforschung betrieben. Römische Technik wie der Bau von Straßen, von Brücken, Wasserleitungen und Wasserpumpen wurde kaum weiterentwickelt. Die kulturelle Prägung erfolgte durch die Kirche, das geistige Leben war auf die Klöster beschränkt. Fragen nach der Struktur der sichtbaren Welt lagen einer auf das Jenseits gerichteten Metaphysik des Christentums völlig fern.

Vor gut 500 Jahren begann jenes große europäische Projekt, das mit den Begriffen Aufklärung und Säkularisierung beschrieben wird. Es beruhte auf vier Bewegungen: der Renaissance, dem Humanismus, der Reformation und dem Heliozentrismus. „Das Wunder Europa“, wie es mitunter genannt wird, führte zur Verwandlung und zur Beherrschung der Welt durch Wissenschaft und Technik.

Im 15. Jahrhundert tauchten neue Akteure auf: Künstleringenieure, Experimentatoren und Naturphilosophen. Die neue Wissenschaft entstand durch heftige Auseinandersetzung mit dem tradierten Wissen. Leonardo da Vinci hat die Einheit von Theorie und Praxis klar erkannt und dies sehr plastisch formuliert: „Wer sich ohne Wissenschaft in die Praxis verliert, gleicht einem Steuermann, der ein Schiff



ohne Ruder oder Kompass steuert und der niemals weiß, wohin er getrieben wird.... Meine Absicht ist es, erst die Erfahrung anzuführen und sodann mit Vernunft zu beweisen, warum diese Erfahrung auf solche Weise wirken muss.... Die Weisheit ist eine Tochter der Erfahrung: die Theorie ist der Hauptmann, die Praxis sind die Soldaten.... Die Mechanik ist das Paradies der mathematischen Wissenschaften, weil man mit ihr zur schönsten Frucht der mathematischen Erkenntnis gelangt.“

Die Bedeutung des Experiments war der antiken und der mittelalterlichen Kultur gänzlich unbekannt. Aristoteles hatte die handwerklichen Arbeiter aus der Klasse der Bürger ausgeschlossen. Die Verachtung für die Sklaven erstreckte sich auch auf deren Tätigkeiten. Das griechische Wort *banausia* bedeutet ursprünglich handwerkliche Arbeit. Aristoteles hatte geglaubt, ohne Rückgriff auf die Beobachtung durch reines Denken beweisen zu können, dass ein großer Stein schneller als ein kleiner zur Erde fallen müsse. Umso schlimmer für die Realität, so lautete die typische Antwort in der Antike auf Widersprüche zwischen dem Resultat des Denkens und der Beobachtung.

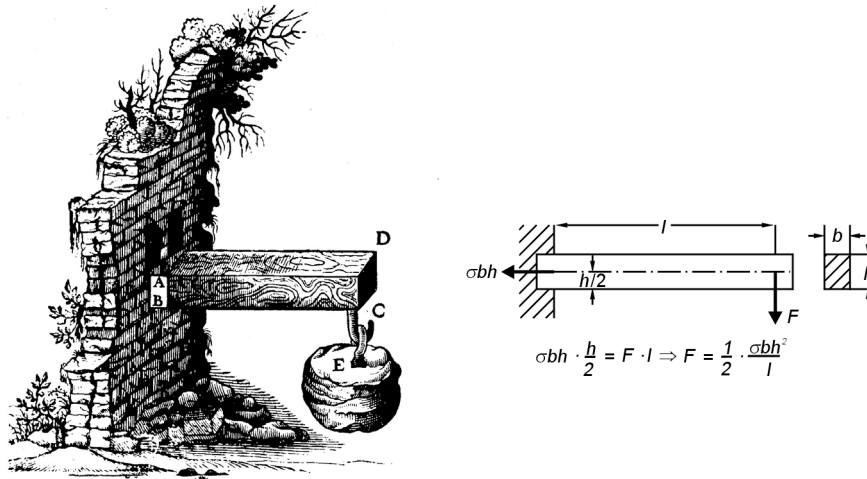
Die christliche Religion war *das* zentrale Leitbild des Mittelalters. Sie ging aus den nun folgenden Auseinandersetzungen, die den Übergang vom Mittelalter zur Moderne charakterisierten, geschwächt, diskreditiert und teilweise gelähmt hervor. Dieser Übergang hatte gesellschaftliche und politische Gründe, wobei auch hier die Technik eine zentrale Rolle spielte. Durch die Entstehung einer mächtigen Klasse der Kaufleute wurde die feudale Struktur des Mittelalters aufgelockert. Wachsendes Selbstbewusstsein und Macht der sich neu formierenden Bürgergesellschaft lässt sich nirgendwo plastischer erleben als in der Architektur jener Zeit in den oberitalienischen Städten wie etwa Florenz. Politisch verlor der Adel an Autorität, weil effizientere Angriffswaffen ihre Burgen bedrohten. An die Stelle von Pfeilen und Bogen, von Lanzen und Schwertern traten Kanonen und Schießpulver, also technische Innovationen.

Die vier großen Bewegungen, die „das Wunder Europa“ einleiteten, seien kurz skizziert. Die italienische Renaissance des 14. und 15. Jahrhunderts markierte die Wiedergeburt der Vertiefung in die weltliche Kultur der Antike sowohl in Kunst als auch in Wissenschaft. Dies führte zu einem Bruch mit der klerikalen Tradition des Mittelalters. Die zunehmende Beschäftigung mit dem Menschen und dem Diesseits statt der mittelalterlichen Versenkung in Gott und Vorbereitung auf das Jenseits nennen wir Humanismus. Die dritte große Bewegung, die Reformation, basierte auf offenkundigen Missständen in der Kirche wie Ablasshandel und Lebenswandel der Päpste. Ohne Technik hätte die Reformation diese enorme Durchschlagskraft wohl nicht erreicht, denn Luthers Flugschriften waren durch den kurz zuvor erfundenen Buchdruck mit beweglichen Lettern, der „ersten Gutenberg-Revolution“, die ersten Massendrucksaachen in der Geschichte gewesen. Hinzu kam die Entdeckung des heliozentrischen Weltbildes durch Kopernikus, Galilei und Kepler.

Diese vier europäischen Bewegungen bildeten die Grundlage für die *wissenschaftliche* Revolution des 17. und die sich anschließende *industrielle* Revolution des 18. Jahrhunderts. Die zunehmende Durchdringung von Wissenschaft und

Technik, basierend auf der Einheit von Theorie und Praxis, dem Experiment, führte zu niemals zuvor da gewesenen Veränderungen in der Gesellschaft.

Die klassischen Naturwissenschaften begannen mit Galilei. Die ersten bedeutenden Leistungen im Sinne unserer heutigen Mechanik, jener grundlegenden Disziplin zur Erklärung der Welt, sind von Galilei im Jahr 1638 in seinen berühmten „Discorsi“ niedergelegt worden. Es seien hier die Gesetze des freien Falles und des schiefen Wurfes sowie seine theoretischen Untersuchungen über die Tragfähigkeit eines Balkens erwähnt, die den Beginn der Festigkeitslehre darstellen. Bei letzterem handelt es sich um die wohl älteste Formulierung eines nichtlinearen Zusammenhangs, dass nämlich die Festigkeit eines belasteten Balkens von seiner Breite linear aber von seiner Höhe quadratisch abhängt. Mit diesem anschaulichen Beispiel soll schon an dieser Stelle in die Mechanik eingeführt werden, die eine zentrale Säule der Technik darstellt, Abb. 1.3. In Abschnitt 3.1 werden wir darauf zurückkommen.



**Abb. 1.3.** Balkentheorie nach Galilei, linkes Bild aus: Szabo I (1979) Geschichte der mechanischen Prinzipien. Birkhäuser, Basel

Galilei hat seine Überlegungen in einer damals üblichen Dialogform dargestellt. Darin diskutieren Simplicio, ein Anhänger der Lehren des Aristoteles, Sagredo, ein fortschrittlich gesinnter und gebildeter Laie und Salviati, ein die Lehren Galileis verfechtender Wissenschaftler, miteinander. Galilei nahm an, dass der Balken beim Zerschlagen an der unteren Kante des eingemauerten Endes dreht und an allen Stellen des Querschnittes dem Zerreißen den gleichen Widerstand entgegengesetzt. Die Resultierende der Widerstandskraft  $\sigma \cdot b \cdot h$ , wobei  $\sigma$  die Spannung,  $b$  die Breite und  $h$  die Höhe des Balkens darstellen, greift im Schwerpunkt des Querschnittes an der eingemauerten Stelle an. Das Momentengleichgewicht um die untere Kante liefert die dargestellte Beziehung. Dabei ist  $l$  die Länge des Balkens und  $F$  die senkrecht nach unten wirkende Kraft. Wir wissen heute, dass Galileis Annahme von den gleichen Spannungen in dem Querschnitt falsch

ist. Sein Resultat jedoch, dass die Bruchfestigkeit der Breite und dem Quadrat der Höhe direkt und der Länge umgekehrt proportional ist, ist qualitativ richtig. Eine Verdopplung der Balkenbreite  $b$  wird demnach die Bruchfestigkeit verdoppeln, eine Verdopplung der Höhe  $h$  wird diese jedoch vervierfachen. Galilei lässt Sagredo in seinen Discorsi sagen: „Von der Wahrheit der Sache bin ich überzeugt..., warum bei verhältnismäßiger Vergrößerung aller Teile nicht im selben Maße auch der Widerstand zunimmt...“. Schon vor Galilei haben die Zimmerleute aus Erfahrung die längere Kante eines Balkens stets senkrecht gelegt, um die Tragfähigkeit eines Balkens zu erhöhen.

Ständig stoßen wir auf nichtlineare Zusammenhänge. Ein Mensch ist in der Lage, seine eigene Körpergröße zu überspringen. In dieser Beziehung übertrifft ihn jedoch der Floh bei weitem, während noch nicht beobachtet wurde, dass der sehr viel kräftigere Elefant einen Artgenossen zu überspringen vermag. Die Mechanik lehrt uns, warum man bei bloßer geometrischer Vergrößerung oder Verkleinerung keine gigantischen Mücken oder winzige Elefanten „konstruieren“ kann, oder warum Bäume nicht in den Himmel wachsen.

Das Streben galt zunehmend dem Verständnis und der Erforschung der Gesetze, nach denen die Naturvorgänge ablaufen. Gelingt dies, so wird die Natur wie ein offenes Buch in allen Bereichen vollständig erfasst und berechenbar sein. Sie wird damit vorausberechenbar, das ist die zentrale Vorstellung des mechanistischen Weltbildes.

Newton war der geniale Vollender der Grundlegung der klassischen Mechanik. Seine größte Leistung war, zu erkennen, dass für die irdischen Körper und die Himmelskörper dasselbe allgemeine Gravitationsgesetz gilt. Mit seinem dynamischen Grundgesetz: „Die zeitliche Änderung des Impulses ist gleich der Summe aller von außen angreifenden Kräfte“ schuf er *die* zentrale Beziehung der klassischen Mechanik.

Das mechanistische Weltbild der klassischen Physik ist von großer Überzeugungskraft und Einheitlichkeit. Es hat gewaltige Erfolge bewirkt. Nunmehr konnten die drei Keplerschen Gesetze über die Bewegungen der Planeten um die Sonne bewiesen werden. Alsdann wurden die Planeten Neptun und Pluto aufgrund von Vorausberechnungen und nachfolgender gezielter Suche entdeckt. Weitere Triumphe kamen hinzu. Die thermodynamischen Zustandsgrößen Druck und Temperatur wurden auf mechanische Größen, den Impuls und die kinetische Energie der Moleküle, zurückgeführt.

Das Universum schien im 18. Jahrhundert wie ein Uhrwerk zu funktionieren. Aber wer ist der Uhrmacher? Laplace hat auf Napoleons Frage, warum in seinem berühmten Werk „Himmelsmechanik“ Gott nicht erwähnt sei, geantwortet: „Sire, diese Hypothese habe ich nicht nötig gehabt.“ Es ist die Zeit, in der man die Wissenschaft zu vergötzen begann. Sie wurde zur neuen Religion. Das Leitbild Wissenschaften begann, das Leitbild Religion zu ersetzen. Gott wurde nur noch für die jeweiligen Wissenslücken benötigt, er wurde zu einem Lückenbüßer-Gott.

Am Vorabend der industriellen Revolution war die Energieversorgung vergleichbar mit jener des Altertums. Die Truppen Napoleons hatten noch die gleiche Marschgeschwindigkeit wie jene des Hannibal oder des Caesar. Es war die Geschwindigkeit von Mensch und Tier. Zur Nutzung des Feuers sowie der

menschlichen und tierischen Arbeitskraft traten ab etwa dem 10. Jahrhundert eine verstärkte Nutzung der Wind- und Wasserkraft hinzu. Wassermühlen wie auch Windmühlen waren schon lange bekannt; sie wurden bislang, wie der Name sagt, jedoch nur für den Betrieb von Mühlen verwendet. Wasserräder wurden nunmehr universell einsetzbar, ihre Leistung konnte zumindest über kurze Entfernungen mittels Transmissionswellen, -rädern, -gestängen und -riemen übertragen werden. Sie trieben Walkereien, Hammerwerke, Pochwerke zum Zerkleinern von Erz, Sägewerke, Stampfwerke für Papierbrei, Quetschwerke für Oliven und Senfkörner sowie Blasebälge an.

Im 15. Jahrhundert begann eine weitere durch Technik induzierte Innovationswelle mit dem Aufschwung des Erzbergbaus. Dieser wurde zwar schon zu früheren Zeiten betrieben, so etwa im Altertum im vorderen Orient und ab dem 10. Jahrhundert im Harz. Vor allem Deutschland wurde das Zentrum berg- und hüttenmännischer Technik; deutsche Bergleute wirkten vielfach als Lehrmeister im Ausland. Mit immer tiefer werdenden Schächten wurde das Beherrschen des Grubenwassers zu einem zentralen Problem. Auch hier wurde mit großem Erfolg die Wasserkraft eingesetzt: für Pumpen zum Entwässern der Bergwerke, für Winden zum Betrieb der Förderkörbe und für Maschinen zur Bewetterung der Stollen. Es ist bemerkenswert, dass man mit Feldgestängen die Energie der Wasserräder über beträchtliche Entfernung vom Tal in die Höhe leiten konnte. Dies war sozusagen ein Vorgriff auf die elektrischen Überlandleitungen unserer heutigen Zeit, freilich mit bescheidenerem Wirkungsgrad.

Der bevorzugte Baustoff und Energieträger war nach wie vor das Holz. Der ständig steigende Bedarf an Bauholz, Brennholz und Holzkohle zur Verhüttung der Erze führte zu gewaltigen Abholzungen. Da in den Mittelmeerregionen die Waldgebiete durch Abholzungen in der antiken Zeit drastisch dezimiert worden waren, verlagerte sich der Schwerpunkt der Güterproduktion zwangsläufig in das walddreichere Mittel- und Nordeuropa. Als Konsequenz nahmen auch dort durch Holzeinschlag und Rodung die Waldflächen deutlich ab, denn die wachsende Bevölkerung erzwang eine Vermehrung von Anbauflächen.

England hatte seine Waldregionen im 17. Jahrhundert weitgehend abgeholzt. Für den Bau der englischen Schiffsflotte musste schon vor dieser Zeit auf Importholz, vorwiegend aus Nordeuropa, zurückgegriffen werden. Dadurch entstand insbesondere in England ein gewaltiger Innovationsdruck, die entscheidende Triebfeder für die industrielle Revolution.

Kernelemente der von England im 18. Jahrhundert ausgehenden industriellen Revolution waren die Mechanisierung der Arbeit, die Dampfmaschine als neue Energiewandlungsmaschine sowie die Erkenntnis, aus verschwelter Steinkohle Steinkohlenkoks herzustellen, womit die Verhüttung von Erzen sehr viel effizienter erfolgen konnte als zuvor mit Holzkohle. Kohle und Stahl standen am Anfang der industriellen Revolution; Bergbau und Metallurgie waren die technischen Disziplinen, die es zu fördern galt.

Gewaltige Verdrängungen fanden in außerordentlich kurzen Zeiträumen statt: Kohle ersetzte Holz als Energieträger, Eisen verdrängte Holz als Baustoff, die Dampfmaschine ersetzte das Wasserrad. Obwohl auch jetzt noch Energietransport

nur über geringe Distanzen möglich war, kam es zu einer in der bisherigen Geschichte der Menschheit beispiellosen Zunahme der Produktion von Gütern.

Im 19. Jahrhundert wurde das Transportwesen einschneidend umgestaltet: die Eisenbahn ersetzte die Pferdekutsche, das stählerne Dampfschiff verdrängte das hölzerne Segelschiff. Europa erlebte durch die gewaltige Zunahme der Produktivkräfte sowie durch hygienische wie medizinische Fortschritte eine dramatische Bevölkerungsexplosion. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurde das Erdöl neben der Kohle zum zweiten bedeutenden primären Energieträger; Mitte des 20. Jahrhunderts kam das Erdgas hinzu. Ende des 19. Jahrhunderts gelang die direkte Kopplung von Dampfmaschine und Stromerzeugung durch Werner von Siemens. Der elektrische Strom als Sekundärenergieträger erlaubte den Energietransport über große Distanzen und eine dezentrale Energieentnahme.

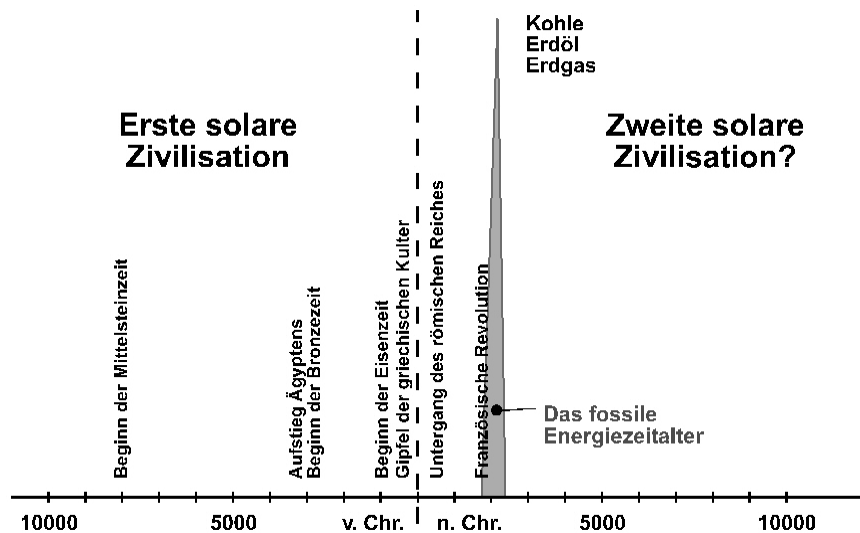


Abb. 1.4. Energiegeschichte der Menschheit (Jischa 1997 a)

In Abb. 1.4 ist die Energiegeschichte der Menschheit skizziert. Bis zur industriellen Revolution lebte die Menschheit in einer ersten solaren Zivilisation. Als Energie standen die menschliche und die tierische Arbeitskraft, das Feuer durch Verbrennen von Holz und Biomasse sowie Wind- und Wasserkraft zur Verfügung.

In großtechnischem Maßstab wird Kohle erst seit Beginn der industriellen Revolution, also seit gut 200 Jahren, genutzt. Mit dem zweiten großen fossilen Primärenergieträger, dem Erdöl, begann vor gut 100 Jahren der Aufstieg zweier Industriezweige, die maßgeblich an unserem heutigen Wohlstand beteiligt sind, der Automobilindustrie und der Großchemie. Erdgas trägt als dritter fossiler Primärenergieträger erst seit etwa 50 Jahren, zeitgleich mit der Nutzung der Kernenergie, zu dem Energieangebot bei. Auf die drei genannten fossilen Primärenergieträger entfallen derzeit knapp 90% und auf die Kernenergie gut 5% der Weltenergieversorgung. Die restlichen 5% werden im Wesentlichen durch

Wasserkraft gedeckt. Wind- und Sonnenenergie spielen heute noch eine untergeordnete Rolle.

Seit Beginn der industriellen Revolution verhalten wir uns nicht so wie ein seriöser Kaufmann, der von den Zinsen seines Kapitals selbst lebt. In geologischen Zeiträumen hat die Erde Sonnenenergie in Form von Kohle, Erdöl und Erdgas akkumuliert. Die Menschheit wird zum Verfeuern der gesamten Vorräte nur wenige Jahrhunderte oder gar Jahrzehnte benötigen.

Ohne auf genaue Definitionen von Ressourcen, wahrscheinlichen und sicheren Reserven einerseits sowie auf statische und dynamische Reichweiten andererseits einzugehen, sei kurz gesagt: Kohle, Erdöl und Erdgas stehen uns nur noch für einen Zeitraum zur Verfügung, der etwa der bisherigen Nutzungsdauer entspricht. Es ist daher berechtigt, das erst gut 200 Jahre währende fossile Zeitalter als Wimpernschlag in der Erdgeschichte zu bezeichnen. Die Frage wird sein, ob die Menschheit nach der langen ersten solaren Zivilisation, unterbrochen durch eine sich dem Ende zuneigende fossile Energiephase, in eine zweite intelligente solare Zivilisation einsteigen wird oder ob sie einen massiven Ausbau der Kernenergie, die eine Brütertechnologie sein müsste, betreiben wird.

Die Verknappung von Ressourcen war und ist ein typischer Auslöser für Innovationen. Neben der Erzverhüttung durch Steinkohlenkoks an Stelle von Holzkohle nenne ich zwei entscheidende technische Entwicklungen des 20. Jahrhunderts: die Entwicklung der Kernreaktoren zur Stromerzeugung sowie die Entwicklung von Glasfaserkabeln in der Informationstechnologie. Ohne letztere Substitutionsmaßnahme hätten die Informationstechnologien nicht diesen Aufschwung nehmen können, denn Sande als Ausgangsstoff für Glasfasern kommen ungleich häufiger vor als Metalle wie Kupfer oder Aluminium. Die Kupfervorräte der Welt würden nicht ausreichen, Netze heutigen Zuschnitts zu realisieren.

Nach diesem Abstecher in die Energiegeschichte der Menschheit zurück zum Thema dieses Abschnitts, der Zivilisationsdynamik.

Der zentrale Treiber der Industriegesellschaft war die Technik. Das in der späten Agrargesellschaft durch Handel akkumulierte Kapital wurde zunehmend in Produktionsunternehmen, den Kapitalgesellschaften neuen Typs, investiert. Geprägt durch Mechanisierung und Fabrikarbeit entstand die Massengesellschaft. Das 19. Jahrhundert war von einer unglaublichen Fortschrittgläubigkeit gekennzeichnet: Wissenschaft und Technik verhießen geradezu paradiesische Zustände für die Gesellschaft.

Das Leitbild Wissenschaft wurde verkürzt zu Rationalismus und Determinismus. Mit der französischen Revolution entstand als politisches Leitbild der Nationalismus, begleitet durch einen zunehmenden Patriotismus bis hin zum Chauvinismus. Eine im 19. Jahrhundert kaum für möglich gehaltene Pervertierung erlebte das 20. Jahrhundert: totalitäre kommunistische und faschistische Systeme übten eine totale Macht über die Gesellschaft durch Technik aus. Man stelle sich einmal vor, derartige Systeme hätten über die heutigen technischen Überwachungsmöglichkeiten verfügt!

Wie stellt sich die Situation heute dar? Der Übergang von der Agrar- zur Industriegesellschaft war gekennzeichnet durch eine starke Abnahme der Beschäftigten in der Landwirtschaft und eine entsprechend große Zunahme in der indus-

triellen Fertigung. Etwa seit den siebziger Jahren ist bei uns und in vergleichbaren Ländern der Anteil der in der Industrie Beschäftigten deutlich gesunken, während deren Anteil im Dienstleistungsbereich stark zugenommen hat. Wir befinden uns offenbar im Übergang von der Industriegesellschaft hin zu einer Gesellschaft neuen Typs. Welcher Begriff sich hierfür einbürgern wird, scheint derzeit noch offen zu sein. Die Bezeichnungen Informations-, Dienstleistungs-, nachindustrielle oder postmoderne Gesellschaft werden vorgeschlagen.

Entscheidend ist, dass Informations- und Kommunikationstechnologien globaler Natur sind. Sie erfordern Systeme großer Art, Standardisierung und internationale Kooperation. Dies ist im Prinzip nicht neu, denn auch Stromnetze und Eisenbahnnetze machten eine Standardisierung erforderlich. Sich durch die Wahl einer anderen Spurweite beim Eisenbahnnetz vor einer Invasion schützen zu wollen, wie Russland es getan hatte, wäre im Zeitalter der Informationsnetze vollends eine ruinöse Strategie. Die durch Technik erzwungene internationale Kooperation und Standardisierung führt zwangsläufig zu einer Erosion nationaler Macht und zu einer erhöhten Mobilität der Gesellschaft. „Der flexible Mensch“ wird gebraucht, wie Richard Sennett es formuliert hat. Globalisierung scheint derzeit das zentrale Leitbild in der Wirtschaft zu sein, Liberalisierung und Deregulierung werden als Erfolgsrezepte propagiert. Die uralte Frage, wie viel Markt bzw. wie viel Staat wir uns leisten wollen oder können, ist aktueller denn je. Hervorzuheben ist, dass auch hier wiederum die Technik, mit den Stichworten Digitalisierung, Computer und Netze, der entscheidende Treiber ist.

Was für ein Leitbild hat unsere Gesellschaft für die Entwicklung und Gestaltung von Technik? Haben wir dafür überhaupt ein Leitbild? Vor gut 200 Jahren sagte Napoleon zu Goethe: Politik ist unser Schicksal. Wirtschaft ist unser Schicksal, so Rathenau vor knapp 100 Jahren. Heute sollten wir sagen: Technik ist unser Schicksal. Nach welchem Leitbild wir Technik gestalten und entwickeln wollen, sollte mit hoher Priorität im politischen und gesellschaftlichen Raum diskutiert werden.

Eines ist heute deutlicher denn je. Technischer Fortschritt beeinflusst mit beschleunigter Dynamik nicht nur unsere Arbeitswelt, sondern zunehmend auch unsere Lebenswelt. Somit betrifft er alle Mitglieder unserer Gesellschaft, auch diejenigen, die sich mit den rasant entwickelnden Informationstechnologien nicht auseinander setzen wollen oder können.

In der Vergangenheit ist der technische Fortschritt offenbar ein sich selbst steuernder dynamischer Prozess gewesen, den niemand verantwortet hat. Ob dies in Zukunft so bleiben muss, oder ob wir uns hierzu Alternativen vorstellen können, soll und muss nach meiner Auffassung thematisiert werden. Natürlich ist Technik schon immer bewertet worden, nämlich von jenen, die Technik produziert und vermarktet haben. Als bisherige Bewertungskriterien reichten technische Kriterien wie Funktionalität und Sicherheit sowie jene betriebswirtschaftlicher Art aus.

Das Leitbild Nachhaltigkeit, das in Politik und Gesellschaft etabliert zu sein scheint, verlangt mehr: Technik muss zusätzlich umwelt-, human- und sozialverträglich sein. Kurz, Technik muss zukunftsverträglich sein. Hierzu benötigen wir eine Disziplin, die mit Technikbewertung oder Technikfolgenabschätzung

bezeichnet wird. Deren Etablierung in Lehre und Forschung sowie Institutionalisierung durch geeignete Einrichtungen, in denen Experten der Natur- und Ingenieurwissenschaften mit jenen der Geistes- und Gesellschaftswissenschaften zusammenarbeiten, tut Not. Andernfalls wäre unsere Gesellschaft offenkundig bereit zu akzeptieren, dass wie in der Vergangenheit „Technik einfach geschieht“. Auf Technikbewertung werden wir in Abschnitt 6.3 eingehen.

### 1.3 Ingenieure im Wandel der Zeit

Der Begriff Ingenieur tauchte erstmalig im 16. Jahrhundert auf. Er wurde anfangs in der italienischen und später in der französischen Form verwendet. Zunächst als Ersatzwort für den Zeugmeister bezeichnete man mit Ingenieur bis in das 18. Jahrhundert hinein ausschließlich den Kriegsbaumeister.

Der zu Grunde liegende lateinische Begriff *ingenium* meint so viel wie angeborene natürliche Begabung, Scharfsinn und Erfindungsgeist. Das Wort Technik ist wesentlich älter, es geht auf den griechischen Begriff *techne* zurück und meint so viel wie Handwerk oder Kunstfertigkeit.

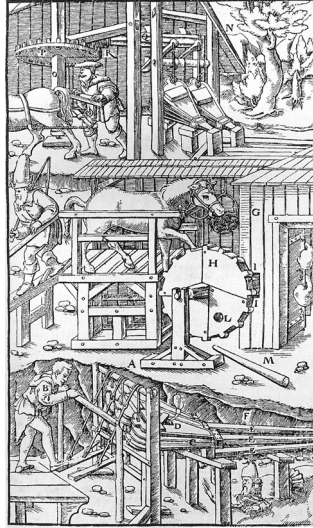
Die Technik diente dem Menschen von Beginn an als Mittel zur Beherrschung der Natur. Mit Hilfe technischer Verfahren gelang es den Menschen nach und nach, sich von den natürlichen Gegebenheiten zu emanzipieren. Der Bergmann und der Schmied waren erste frühe Ingenieure. Schon in der Antike wurden Metalle gefunden und bearbeitet. Auch die ersten Baumeister waren nach unserem heutigen Verständnis Ingenieure. Sie entwarfen und bauten Gebäude und Festungsanlagen, Straßen und Brücken, Schiffe und Fuhrwerke, Dämme und Deiche sowie Be- und Entwässerungsanlagen.

Die Ingenieure der Frühzeit waren Bastler und Tüftler, sie waren Handwerker und Künstler zugleich. Ihre Vorgehensweise war durch Versuch und Irrtum gekennzeichnet, empirisch erworbenes Wissen wurde vom Meister auf den Schüler übertragen.

Die erste systematische Zusammenfassung technischer Anleitungen stammt aus dem frühen 16. Jahrhundert. Sie wurde von Georg Agricola (1494 bis 1555) in seinem berühmten Werk „*De re metallica*“ vorgenommen, dem ersten Lehrbuch über den Bergbau und das Hüttenwesen. Dieses war über Jahrhunderte in Gebrauch. Die Erläuterungen wurden in dem Werk durch zahlreiche Zeichnungen anschaulich ergänzt. Abb. 1.5 zeigt daraus ein Beispiel.

Die ersten europäischen Universitäten wurden bereits im frühen Mittelalter gegründet. Vergleichbare Ausbildungsstätten für Ingenieure sind wesentlich jüngeren Datums. Erste Einrichtungen dieser Art entstanden in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts, dem Beginn der industriellen Revolution. Diese basierte auf Kohle und Stahl. Als Folge davon wurde zwischen 1770 und 1780 in Mitteleuropa Ausbildungsstätten für Bergbau und Hüttenwesen eingerichtet. In Deutschland waren diese in Berlin, Clausthal und Freiberg, sowie in Leoben und Schemnitz in Österreich–Ungarn.





**Abb. 1.5.** Illustration zur Grubenbewetterung (= Belüftung) aus: Agricola G (1994) *De re metallica*. dtv reprint der vollständigen Ausgabe nach dem lateinischen Original von 1556, München

Eine systematische Förderung der Naturwissenschaften und Technik wurden erstmalig durch Napoleon vorgenommen. Wie so oft war auch hier der Krieg der Vater aller Dinge. Napoleon erkannte, dass seine Truppen denen seiner Gegner überlegen sein würden, wenn sie möglichst viel von Technik verstünden. Die Infanteristen sollten rasch und effizient Hilfsbrücken und Straßen bauen können, und die Artilleristen sollten viel von Ballistik verstehen. Deshalb baute Napoleon die in Ansätzen schon existierenden *Écoles Polytechniques* aus, die neben den Bergakademien als Vorläufer heutiger Technischer Universitäten gelten.

Eine vergleichbare Förderung der Naturwissenschaften und Technik ist in Deutschland erst etwa 100 Jahre später durch Kaiser Wilhelm II. erfolgt. Er gründete entsprechende Forschungsinstitute, die Kaiser-Wilhelm-Institute, aus denen die heutigen Max-Planck-Institute hervorgegangen sind. Daneben stellte er die im späten 18. und im 19. Jahrhundert entstandenen Technischen Hochschulen den Universitäten statusrechtlich gleich. Äußeres Zeichen dieser Gleichstellung waren das Promotions- und Habilitationsrecht sowie die Rektoratsverfassung.

Mit Beginn der industriellen Revolution kam zum Bergbau und dem Hüttenwesen der Maschinenbau hinzu. Die rasch aufsteigenden Industriezweige machten die Konstruktion und den Bau von Maschinen und Anlagen erforderlich. Aus Manufakturen entstanden Industriebetriebe. Das Maschinenzeitalter begann: Dampfmaschinen lieferten mechanische Energie für den Antrieb, Förder- und Transportbänder wurden erforderlich, die Textilindustrie benötigte Webstühle.

Noch bis vor wenigen Jahrzehnten war die Arbeit der Ingenieure durch die Entwicklung und die Herstellung von Produkten geprägt. Diskussionen über das Leitbild Nachhaltigkeit haben deren Tätigkeiten deutlich verändert. War der

Ingenieur in der Geschichte im Wesentlichen ein Gestalter, ein Entwickler und ein Konstrukteur, so ist er heute weitgehend zu einem Bewahrer geworden. Bauingenieure beschäftigen sich zunehmend mit der Sanierung von Altbauten und weniger mit Neubauten und Bergleute stärker mit dem Entsorgungs- als dem Gewinnungsbergbau.

Schutz der Umwelt, Schonung der Ressourcen durch Verbesserung der Ressourceneffizienz, Dematerialisierung der Prozesse, Kreislaufwirtschaft und Recycling, so lauten heute die vordringlichen Aufgaben. Seit wann und warum wir darüber verstärkt nachdenken, werde ich im folgenden Abschnitt behandeln.

## 1.4 Technik und Nachhaltigkeit

In den Wohlstandsgesellschaften der westlichen Welt wurde in den sechziger Jahren eine ökologische Bewusstseinswende (von Lersner 1992) sichtbar. Diese manifestierte sich in unterschiedlicher Weise. Zum ersten wurde Mitte der sechziger Jahre in den USA der Begriff *Technology Assessment* (TA) geprägt. Die TA-Diskussion führte bei uns - ebenso wie in vergleichbaren Ländern - zu wachsenden TA-Aktivitäten und der Einrichtung von entsprechenden Institutionen, die mit den Begriffen Technikbewertung oder Technikfolgenabschätzung verbunden sind. Zum zweiten wurde 1968 der Club of Rome gegründet, der 1972 seine erste Studie „Die Grenzen des Wachstums“ (Meadows u.a. 1973) vorstellte. Daraus erwuchs drittens eine anschwellende Nachhaltigkeitsdebatte, die über den Bericht „Global 2000“ 1980, den Brundtland-Bericht „Unsere gemeinsame Zukunft“ (Hauff 1987) mit der Formulierung des Leitbildes *Sustainable Development*, einen vorläufigen Höhepunkt in der Agenda 21, dem Abschlussdokument der Rio-Konferenz für Umwelt und Entwicklung 1992, fand.

Offenbar befinden wir uns „am Ende des Baconschen Zeitalters“ (Böhme 1993), wobei wir die neuzeitliche Wissenschaft als die Epoche Bacons bezeichnen. Denn in unserem Verhältnis zur Wissenschaft ist eine Selbstverständlichkeit abhanden gekommen. Nämlich die Grundüberzeugung, dass wissenschaftlicher und technischer Fortschritt zugleich und automatisch humaner und sozialer Fortschritt bedeuten. Die wissenschaftlich-technischen Errungenschaften bewirken neben dem angestrebten Nutzen immer auch Schäden, die als Folge- und Nebenwirkungen die ursprünglichen Absichten konterkarieren. Wir wollen den Verlauf der Bewusstseinswende kurz skizzieren und dabei charakteristische Literatur angeben.

Bis vor gut drei Jahrzehnten war der Fortschrittsglaube überall in der Welt ungebrochen. Insbesondere die Aufbauphase in unserem Land nach dem Zweiten Weltkrieg wurde davon getragen. Die Erde schien über nahezu unerschöpfliche Ressourcen zu verfügen, und die Aufnahmekapazität von Wasser, Luft und Boden für Schadstoffe und Abfälle schien unbegrenzt zu sein. Die Segnungen von Wissenschaft und Technik verhiessen geradezu paradiesische Zustände.

Alles schien machbar zu sein, und man glaubte, dass Wohlstand für alle – und damit auch für die Entwicklungsländer – nur eine Frage der Zeit sei. Die Entwick-

lungsländer huldigten uneingeschränkt – ebenso wie die Länder des ehemals kommunistischen Teils der Welt – dem Fortschrittsglauben, während dieser in der industrialisierten Welt zunehmend ins Wanken geriet. Ironischerweise bedurfte es erst des Wohlstands, damit die im Wohlstand lebenden Gesellschaften die Technik und deren Segnungen zunehmend skeptisch beurteilten. Hierfür lassen sich in der westlichen Welt mehrere Ereignisse exemplarisch festmachen.

1969 landeten zwei US-Astronauten als erste Menschen auf dem Mond. Dies markierte einerseits einen Höhepunkt der Techniqueuphorie. Andererseits wurde über die Fernsehschirme die Botschaft zu uns getragen, dass unser Raumschiff Erde endlich ist, und dass wir alle in einem Boot sitzen.

Wenig später erschien 1972 (auf deutsch 1973) der erste Bericht an den Club of Rome unter dem provozierenden Titel „Die Grenzen des Wachstums“, und ebenfalls 1972 führten die Vereinten Nationen eine erste Umweltkonferenz in Stockholm durch. Seit jener Zeit werden zunehmend Fragen nach der Zukunftsfähigkeit unserer Gesellschaft gestellt, die als „Herausforderung Zukunft“ zusammengefasst lauten (Jischa 1993):

Die Fortschritte und Segnungen der Technik werden zunehmend von deren Gefahren und Risiken überschattet. Großtechnische Katastrophen, drohende Verelendung der Dritten Welt, Flüchtlingsströme als Folge krasser wirtschaftlicher Unterschiede, Energiekrisen, Treibhauseffekt, Waldsterben und Ozonloch, Müllberge, Verschmutzungen des Bodens, der Gewässer und der Luft, Raubbau an der Natur und Plünderung des Planeten Erde beherrschen zunehmend die Diskussion in den Medien.

Nichts hat die modernen Industriegesellschaften stärker geprägt als technische Innovationen. Nichts verändert Gesellschaften radikaler als der immer rascher fortschreitende technische Wandel. Seit einigen Jahrzehnten ist deutlich, dass bestimmte technische Entwicklungen schwerwiegende und irreversible Folgen haben, die zukünftigen Generationen nicht zu verantwortende Hypotheken aufladen.

Was müssen wir tun, um die Zukunft möglich zu machen? Welche Technologien sind in der Lage, eine dauerhafte und nachhaltige Entwicklung (sustainable development) der Menschheit zu gewährleisten? Die Fragen nach der Umwelt-, der Human-, der Sozial- und der Zukunftsverträglichkeit neuer Techniken erhalten einen immer größeren Stellenwert.

Die Diskussion über die „Herausforderung Zukunft“ lässt sich durch drei Problemkreise beschreiben:

- Zunahme der Weltbevölkerung  
Man spricht von Bevölkerungsexplosion, um die Dramatik zu verdeutlichen. Die wachsende Verelendung der Dritten Welt, die Flüchtlingsströme als Folge krasser wirtschaftlicher Unterschiede und das Asylantenproblem haben ihre Ursachen – neben anderen – ganz wesentlich in der Bevölkerungsexplosion.
- Versorgung der wachsenden Weltbevölkerung mit Energie und Rohstoffen  
Das Versorgungsproblem ist bei den mineralischen Rohstoffen durch technologische Maßnahmen wie Recycling und Substitution durch andere Materialien deutlich entschärft worden. Bei den Energierohstoffen und auch bei den natürlichen Ressourcen wie etwa „sauberem“ Wasser wird es in naher Zukunft zu Verteilungskämpfen kommen.

- Zerstörung der Umwelt  
Diese ist ursächlich mit den beiden ersten Problemkreisen verknüpft sowie mit der Art der Technologien, mit denen wir unseren Wohlstand erhalten oder gar mehren. Hierzu gehören im Einzelnen der Treibhauseffekt, das Waldsterben, das Ozonloch, die Müllberge, die Verschmutzungen des Bodens, der Gewässer und der Luft sowie großtechnische Katastrophen.

Abb. 1.6 zeigt in geraffter Form den Weg von der ökologischen Bewusstseinswende der sechziger Jahre bis zu unserem derzeitigen Diskussionsstand. Auf die rechts der Zeitachse aufgeführten Ereignisse wird später in Abschnitt 6.3 eingegangen werden, da die neue Disziplin Technikbewertung gesondert behandelt werden soll.

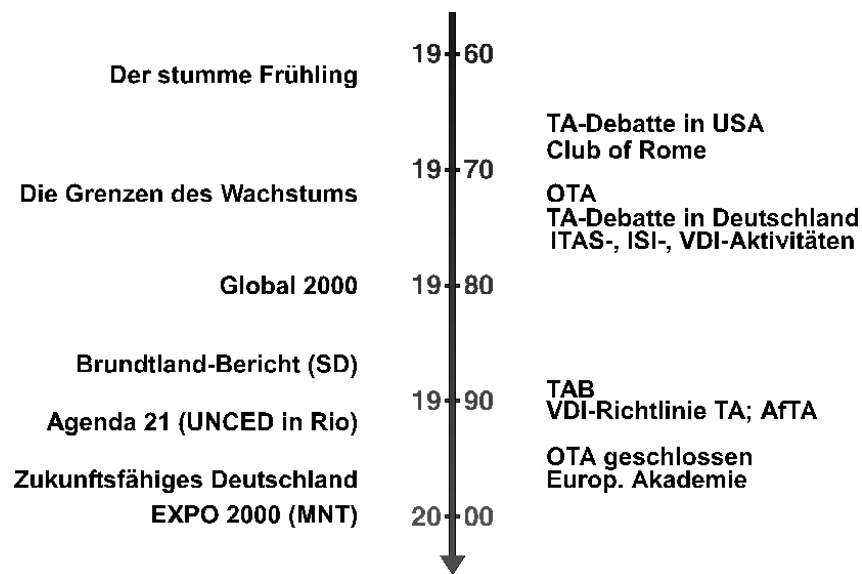


Abb. 1.6. Verlauf der Nachhaltigkeits- und Technikbewertungsdebatte (Jischa 1997 b, 1999)

Ein frühes aufrüttelndes Signal setzte die amerikanische Biologin Carson mit ihrem inzwischen zum Kultbuch der Ökologiebewegung avancierten Band „Der stumme Frühling“ (Carson 1962). Zehn Jahre später schockierte der bereits erwähnte Bericht „Die Grenzen des Wachstums“ die Öffentlichkeit; das Buch hat inzwischen eine Auflage von über 10 Mio. erreicht. Knapp zehn Jahre danach wurde der von J. Carter, dem damaligen Präsidenten der USA, initiierte Bericht „Global 2000“ vorgestellt.

Im Jahr 1987 erschien der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung mit dem Titel „Our Common Future“ und kurz darauf die deutsche Version „Unsere gemeinsame Zukunft“ (Hauff 1987). Dieser Bericht hat entscheidenden Verdienst daran, das Leitbild Sustainable Development einer

größeren Öffentlichkeit nahe gebracht zu haben und damit die Diskussion in Gang zu setzen. Der Begriff Sustainability ist jedoch keine Erfindung unserer Tage.

Konzeptionell wurde er erstmals im 18. Jahrhundert in Deutschland unter dem Begriff des nachhaltigen Wirtschaftens eingeführt, als starkes Bevölkerungswachstum und zunehmende Nutzung des Rohstoffes Holz (als Energieträger und als Baumaterial) eine einschreitende Waldpolitik erforderlich machten.

Die deutsche Rückübersetzung des Begriffs Sustainable Development ist noch uneinheitlich. Aus der Vielzahl gebräuchlicher Übersetzungen seien genannt: Dauerhafte und nachhaltige Entwicklung, nachhaltige Entwicklung, dauerhaft-umweltgerechte Entwicklung, nachhaltig zukunftsverträgliche Entwicklung, (global) zukunftsfähige Entwicklung, nachhaltiges Wirtschaften, zukunftsfähiges Wirtschaften, Zukunftsfähigkeit.

Der entscheidende Durchbruch hin zum heutigen Diskussionsstand erfolgte nach der Rio-Konferenz für Umwelt und Entwicklung im Jahre 1992. Die Vereinten Nationen hatten geplant, zwanzig Jahre nach der ersten Umweltkonferenz 1972 in Stockholm eine zweite Umweltkonferenz in Rio de Janeiro durchzuführen. Diese war schon in der Vorbereitungsphase von nahezu unüberbrückbaren Gegensätzen gekennzeichnet. Aus Sicht der Industrieländer hatte der Umweltschutz oberste Priorität. Sie sahen die Bevölkerungsexplosion in der Dritten Welt als Hauptursache für die Umweltkrise an. Die Entwicklungsländer hielten dagegen die Verschwendung und den ungebremsten Konsum in der Ersten Welt für die Hauptursache der Umweltkrise und forderten für sich „erst Entwicklung, dann Umweltschutz“.

Diese Auseinandersetzung im Vorfeld führte dazu, dass die Weltkonferenz schließlich die Bezeichnung UN-Konferenz für Umwelt *und* Entwicklung (UN-CED = United Nations Conference on Environment and Development) trug. Diese Mammutkonferenz hat die Situation, die tragische Ausmaße aufweist, in drastischer Weise deutlich gemacht. Denn gelingt es den Entwicklungsländern, das Wohlstandsmodell der Industrieländer erfolgreich zu kopieren (was sie mit unserer Hilfe mehr oder weniger erfolgreich versuchen), so wäre das der ökologische Kollaps des Planeten Erde. Davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man den derzeitigen Verbrauch an Primärenergie und Rohstoffen der Industrieländer sowie die damit verbundenen Umweltprobleme auf die Entwicklungsländer hochrechnet. Somit lautet die schlichte Erkenntnis, dass die Dritte Welt nicht mehr so werden kann, wie die Erste jetzt ist, und die Erste zwangsläufig nicht mehr so bleiben kann, wie sie noch ist. Kurz formuliert: Das Wohlstandsmodell der Ersten Welt ist nicht exportfähig.

Die Ergebnisse der Rio-Konferenz sind in einem Abschlussdokument, der Agenda 21, zusammengestellt. Das hat dazu geführt, dass die Begriffe *Nachhaltigkeit* und *Agenda 21* zunehmend synonym verwendet werden. Alle politischen Parteien und alle gesellschaftlichen Gruppen in unserem Land bekennen sich zu dem Leitbild Nachhaltigkeit. Was darunter einvernehmlich verstanden wird, kann z.B. einem Positionspapier des Verbandes der Chemischen Industrie entnommen werden (VCI 1994):

Die zukünftige Entwicklung muss so gestaltet werden, dass *ökonomische, ökologische* und *gesellschaftliche* Zielsetzungen gleichrangig angestrebt werden. ... Sustainability im

*ökonomischen* Sinne bedeutet eine effiziente Allokation der knappen Güter und Ressourcen. Sustainability im *ökologischen* Sinne bedeutet, die Grenze der Belastbarkeit der Ökosphäre nicht zu überschreiten und die natürlichen Lebensgrundlagen zu erhalten. Sustainability im *gesellschaftlichen* Sinne bedeutet ein Höchstmaß an Chancengleichheit, Freiheit, sozialer Gerechtigkeit und Sicherheit.

Die von BUND und MISEREOR initiierte und vom Wuppertal-Institut durchgeführte Studie „Zukunftsfähiges Deutschland“ erschien 1996. Im Jahr 2000 hat die EXPO in Hannover unter dem Motto „Mensch – Natur – Technik“ mit einem eindeutigen Bezug auf die Agenda 21 stattgefunden. Die Überzeugungskraft des Leitbildes Sustainability = Nachhaltigkeit ist offensichtlich groß. Mindestens ebenso groß scheint jedoch die Unverbindlichkeit dieses Leitbildes zu sein, da die verschiedenen gesellschaftlichen und politischen Gruppen jeweils „ihrer“ Säule (entweder der Wirtschaft, der Umwelt oder der Gesellschaft) eine besonders hohe Priorität zuerkennen. Zielkonflikte sind vorprogrammiert, politische und gesellschaftliche Auseinandersetzungen belegen dies. Als Fazit sei festgehalten: Das Leitbild Nachhaltigkeit ist allseits akzeptiert, aber diffus formuliert. Die fällige Umsetzung leidet sowohl an ständigen Zielkonflikten als auch an fehlender Operationalisierbarkeit.

Sowohl der Bericht der Brundtland-Kommission als auch die Dokumente der UNCED 1992 in Rio, die Agenda 21, haben das Leitbild Sustainable Development bewusst vage gehalten. Es hat den Charakter eines allgemeinen Grundsatzprogramms und hält Fragen nach der Operationalisierung und Instrumentalisierung weitgehend offen. Damit wurde ein hohes Maß an internationaler Konsensfähigkeit erreicht. Die unerlässliche Anschluss- und Resonanzfähigkeit des Leitbildes an bestehende und etablierte Konzepte und Paradigmen war damit gegeben.

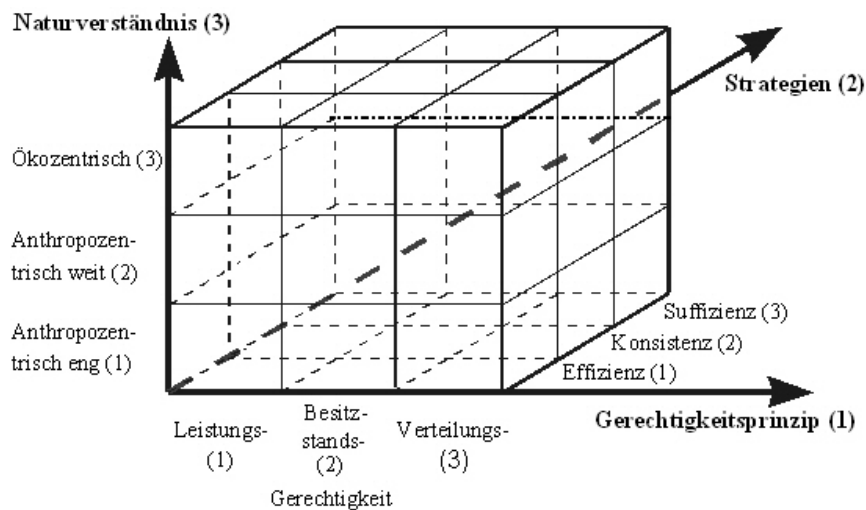
Der dafür gezahlte Preis war hoch. Das Leitbild lässt völlig offen, wie die konsensstiftende Aussage „die zukünftige Entwicklung muss so gestaltet werden, dass ökonomische, ökologische und gesellschaftliche Zielsetzungen gleichrangig angestrebt werden“ umgesetzt werden kann und soll. Das Vernebelungspotenzial des Leitbildes ist enorm und fordert zu Alibihandlungen geradezu auf.

Das Leitbild Nachhaltigkeit erlaubt unterschiedliche Interpretationen. Für Unternehmer und (die meisten) Ökonomen stellt Nachhaltigkeit primär ein Wirtschaftskonzept dar im Hinblick auf die Nutzung von Quellen (Ressourcen) und Senken (für Rest- und Schadstoffe), die Allokation von Mitteln und Erträgen. Umweltschützer und Ökologen werden das Leitbild Nachhaltigkeit eher als rein naturwissenschaftliches Konzept mit dem Ziel des Erhalts und der Bewahrung der natürlichen Umwelt verstehen. Das beinhaltet Fragestellungen nach der Persistenz, der Stabilität und der Elastizität von Ökosystemen. Häufig wird die Ansicht geäußert, das Leitbild Nachhaltigkeit habe keinerlei Neuigkeitswert. Denn nachhaltige Erträge durch vorausschauende Ressourcenbewirtschaftung und zielstrebige Ressourcenentwicklung seien von jeher das entscheidende Wirtschaftsziel gewesen.

Zusammenfassend möchte ich mit Abb. 1.7 verdeutlichen, wie sich jeder in einer „Nachhaltigkeitsmatrix“ mühelos positionieren kann. Auf der einen Achse seien drei unterschiedliche Gerechtigkeitsprinzipien dargestellt: 1. Leistungs-, 2. Besitzstands-, 3. Verteilungs- bzw. Bedürfnisgerechtigkeit. Dies sind im

politischen Raum die liberale (1), die konservative (2) und die sozialistische Position (3).

Auf der zweiten Achse seien drei denkbare Strategien dargestellt: Effizienz- (1), Konsistenz- (2) und Suffizienz-Strategie (3). Mit Konsistenz ist Vereinbarkeit bzw. Verträglichkeit von anthropogenen mit geogenen Stoffströmen gemeint. Es ist ein empirischer Befund, dass eine Verbesserung der Ressourceneffizienz in der Vergangenheit stets durch eine gleichzeitige Zunahme der Ansprüche und damit des Verbrauchs kompensiert, oft gar überkompensiert worden ist. Dies wird als Bumerang-Effekt bezeichnet. Somit kann eine Verbesserung der Ressourceneffizienz – auch um einen Faktor zehn – nicht die alleinige Antwort sein. Sie muss durch eine Suffizienzstrategie ergänzt werden. Hierfür gibt es zwei Ansatzpunkte. Zum einen eine fiskalische Verteuerung des Produktionsfaktors Ressourcen bei gleichzeitiger Entlastung des Produktionsfaktors Arbeit. Zum zweiten wird ein anderes Verständnis von Gemeinwohl und Eigennutz (EKD 1991) erforderlich sein.



**Abb. 1.7.** Nachhaltigkeitsmatrix (Jischa 1997 b, 1999)

Auf der dritten Achse seien schließlich drei unterschiedliche Auffassungen zum Naturverständnis aufgetragen. Ein enges anthropozentrisches Naturbild sieht die Natur nur als Quelle und Senke von Stoffen (1). Ein weiter gefasstes anthropozentrisches Naturbild sieht in der Natur auch ein Kulturgut und billigt ihr einen Erholungswert und ästhetische Kategorien zu (2). Ein ökozentrisches Naturbild (3) steht der Natur ein Eigenrecht zu, beispielhaft sei hier das Buch „Praktische Naturphilosophie“ (Meyer-Abich 1997) genannt.

Zur Verdeutlichung möchte ich zwei extreme Positionen charakterisieren: Ein „Unternehmer“ wird sich durch Leistungsgerechtigkeit (1), Effizienzstrategie (1) und ein enges anthropozentrisches Naturverständnis (1) zum Leitbild Nachhaltigkeit bekennen. An der gegenüberliegenden Ecke des Würfels wird der „Umwelt-

schützer“ sich durch Verteilungsgerechtigkeit (3), Suffizienzstrategie (3) und ein ökozentrisches Naturverständnis (3) zu seinem Leitbild Nachhaltigkeit bekennen. Weniger eindeutig lassen sich Vertreter z.B. einer „sozial-ökologischen Modernisierung“ zuordnen. Sie werden bezüglich der ersten Achse zu einer Mischung aus Leistungs- (1), Besitzstands- (2) und Verteilungsgerechtigkeit (3) neigen, bezüglich der zweiten Achse zwischen Effizienz- (1) und Konsistenz-Strategie (2) schwanken und sich möglicherweise nur auf der dritten Achse eindeutig zum weiten anthropozentrischen Naturverständnis (2) bekennen.

Nach diesen Bemerkungen zum Leitbild Nachhaltigkeit möchte ich zu den oben erwähnten drei Problemkreisen zurückkehren, die wir als „Herausforderung Zukunft“ bezeichnen können: der demographischen Falle, der Versorgungsfalle und der Entsorgungsfalle. Hierbei beginne ich mit dem Hinweis auf die Abb. 2.6, in der zur Schilderung von Wachstumsgesetzen in Abschnitt 2.1 Mathematik die Entwicklung der Weltbevölkerung und des Weltenergieverbrauchs dargestellt sind. Hierzu ein paar Zahlen: Um die Zeit Christi Geburt lebten etwa 1/4 Milliarde (Mrd.) Menschen auf unserem Planeten Erde. Erst um 1600 waren es 1/2 Mrd., 1 Mrd. waren es 1830, 2 Mrd. 1930 und heute sind es über 6 Mrd. Während die Weltbevölkerung von 1900 bis 2000 „nur“ um das etwa 3,5-fache (von 1,65 auf 6 Mrd.) gewachsen ist, ist der Primärenergieverbrauch in dem gleichen Zeitraum von 1 Mrd. t SKE (Milliarden Tonnen Steinkohleneinheiten, auf die alle Primärenergieträger zu Vergleichszwecken umgerechnet werden) auf 13 Mrd. t SKE, also um das 13-fache angestiegen. Alle Anzeichen deuten darauf hin, dass der Weltenergieverbrauch auch zukünftig deutlich stärker wachsen wird als die Weltbevölkerung. Zur Verdeutlichung der Versorgungsfalle verweise ich auf die Abb. 1.4, in der die Energiegeschichte der Menschheit skizziert wurde, und auf die dortigen Erläuterungen.

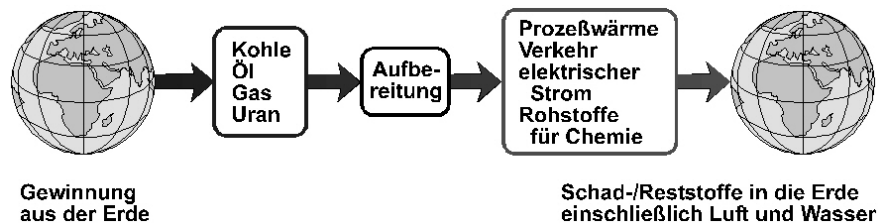


Abb. 1.8. Heutige Energieversorgung (Jischa 1997 a)

Abb. 1.8 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen der Versorgungs- und der Entsorgungsproblematik ebenfalls am Beispiel unserer heutigen Energieversorgung. Die Gewinnung der Energierohstoffe *aus* der Umwelt und die Überführung der Schad- und Reststoffe *in* die Umwelt stellen ein offenes System dar, das nicht zukunftsfähig ist. Diese Aussage gilt gleichermaßen für die Versorgungs- und die Entsorgungsseite. Die noch junge Erkenntnis der Entsorgungsfalle hat zahlreiche Aktivitäten hervorgerufen. Umweltschutztechnik wurde in Forschung und Lehre verstärkt. Beispielhaft seien die Gründung der Clausthaler Umwelttechnik-Institut GmbH (CUTEC-Institut) und die Einrichtung des Studienganges Umweltschutztechnik an der TU Clausthal genannt. Generell verschieben sich die



Aktivitäten vieler technischer Disziplinen von der Ver- auf die Entsorgungsseite nach dem Motto „vom Gewinnungs- zum Entsorgungsbergbau“.

Halten wir als Fazit fest: Die durch Technik geschaffenen Probleme, d.h. die nichtintendierten Folgen von technischen Entwicklungen, lassen sich nur mithilfe von Technik mildern, korrigieren oder gar beseitigen. Die zentrale Frage lautet jedoch: Welche Technologien sind in der Lage, die Zukunftsfähigkeit der Menschheit zu gewährleisten? Hierzu kann das Konzept Technikbewertung entscheidend beitragen. Darauf werde ich in Abschnitt 6.3 gesondert eingehen.

## 1.5 Bemerkungen und Literaturempfehlungen

Der Abschnitt 1.2 ist nahezu gleichlautend bereits an anderer Stelle erschienen (Jischa 2003). Er beruht auf einer Zusammenfassung meiner Vorlesung „Zivilisationsdynamik“ aus dem Wintersemester 2001/2002 an der TU Clausthal. Aus der dafür verwendeten Literatur nenne ich hier einige Bücher, die hinreichend große Bereiche des Abschnitts 1.2 abdecken:

- Crone P (1992) Die vorindustrielle Gesellschaft. dtv, München
- Diamond J (1998) Arm und Reich. Fischer, Frankfurt am Main
- Jischa MF (1993) Herausforderung Zukunft. Spektrum, Heidelberg
- Kennedy P (1989) Aufstieg und Fall der großen Mächte. Fischer, Frankfurt am Main
- Landes D (1998) Wohlstand und Armut der Nationen. Siedler, Berlin
- Rossi P (1997) Die Geburt der modernen Wissenschaft in Europa. Beck, München
- Thomas H (1987) Geschichte der Welt. dtv, München
- Toynbee A (1998) Menschheit und Mutter Erde. Ullstein, Berlin

Der Abschnitt 1.4 stellt eine Zusammenfassung eigener Artikel dar:

- Jischa MF (1997 a) Zukunftsfähiges Wirtschaften – ökologische, ökonomische und soziale Aspekte. Schweißen & Schneiden 49, Heft 3, S 136-147
- Jischa MF (1997 b) Das Leitbild Nachhaltigkeit und das Konzept Technikbewertung. Chemie Ingenieur Technik 69, 12, S 1695-1703
- Jischa MF (1999) Technikfolgenabschätzung in Lehre und Forschung. In: Petermann T, Coenen R (Hrsg) Technikfolgen – Abschätzung in Deutschland. Campus, Frankfurt am Main, S 165-195
- Jischa MF (2003) Technikgestaltung gestern und heute. In: Grunwald A (Hrsg) Technikgestaltung zwischen Wunsch und Wirklichkeit. Springer, Berlin, S 105-115

Die in Abschnitt 1.4 erwähnten Werke seien gleichfalls aufgeführt, da sie für die Nachhaltigkeitsdiskussion von Bedeutung sind:

- BMU (1992) Agenda 21, Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung 1992 in Rio de Janeiro. Bundesumweltministerium, Bonn
- BUND/MISEREOR (Hrsg) (1996) Zukunftsfähiges Deutschland. Birkhäuser, Basel
- Böhme G (1993) Am Ende des Baconschen Zeitalters. Suhrkamp, Frankfurt am Main
- Carson R (1963) Der stumme Frühling. Beck, München
- EKD (1991) Gemeinwohl und Eigennutz. Eine Denkschrift der Evangelischen Kirche in Deutschland. Mohn, Gütersloh

- Global 2000 (1980) Der Bericht an den Präsidenten. Zweitausendeins, Frankfurt am Main
- Hauff V (Hrsg) (1987) Unsere gemeinsame Zukunft. Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung. Eggenkamp, Greven
- Lersner H von (1992) Die ökologische Wende. CORSO bei Siedler, Berlin
- Meadows D , Meadows D (1973) Die Grenzen des Wachstums. Rowohlt, Reinbek
- Meyer-Abich K-M (1997) Praktische Naturphilosophie. Beck, München
- VCI (1994) Position der Chemischen Industrie. Verband der Chemischen Industrie e.V., Frankfurt am Main