

1. Bedeutung und Geschichte der Technik

Was ist Technik? Wie beeinflusst sie unsere Kultur? Welchen Nutzen bringt die Technik?

Inhalt

Abstract	1
1.1 Was ist Technik? – Wesen der Technik und Technikbegriff	3
1.2 Meilensteine der Technikgeschichte.....	7
1.2.1 Zeit bis zur Antike	8
1.2.2 Die griechisch-römische Antike	12
1.2.3 Das Mittelalter	16
1.2.4 Die Renaissance	20

Abstract

Im Rahmen dieser Lerneinheit soll im ersten Abschnitt der Frage nachgegangen werden, was man generell unter Technik versteht. Ausgangspunkt ist die Feststellung, dass Technik unlösbar mit der Menschheitsgeschichte verbunden ist, bzw. diese überhaupt erst durch technische Errungenschaften und Artefakte nachgezeichnet werden kann. Weitere Aspekte zur Deutung der Technik gewinnt man durch philosophische Überlegungen, die nicht allein den materiellen oder Nützlichkeitsaspekt der Technik hervorheben, sondern Technik vor allem auch als schöpferischen Akt des denkenden Menschen an sich beschreiben. Den verschiedenen Facetten der Technik entspricht auch die Technikdefinition des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI), die als Grundlage für diesen Kurs dienen soll und die den ersten Abschnitt abschließt.

Nach der vom VDI in einer Richtlinie zur Technikbewertung verwendeten **Definition umfasst Technik:**

"die Menge der nutzorientierten, künstlichen Gebilde (Artefakte oder Sachsysteme);

die Menge menschlicher Handlungen und Einrichtungen, in denen Sachsysteme entstehen;

die Menge menschlicher Handlungen, in denen Sachsysteme verwendet werden."

Der dann folgende Blick in die Technikgeschichte soll an einzelnen Beispielen Aufschluss darüber geben, wie Technik die soziale und kulturelle Entwicklung im Verlauf der Geschichte beeinflusste und umgekehrt, wie die soziale und kulturelle Entwicklung erst Technik ermöglichte – generell, welchen Nutzen der Mensch von der Technik hatte.

Als eigentliche Triebfeder technischer Entwicklungen kann die **Befriedigung der Bedürfnisse** von Individuen oder Kollektiven identifiziert werden. Existenzsicherung, das Bedürfnis nach Entlastung bei der Arbeit, Machterhalt oder auch Komfort sind Ursachen für die gezielte Nutzung der Naturkräfte.

Freilich entwickeln sich Bedürfnisse immer auch vor dem Hintergrund der die jeweiligen **klimatischen, wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und kulturellen Bedingungen** widerspiegelnden Verhältnisse und Wertsysteme. Wenn sich durch diese Lebensumstände bedingt, für das Individuum keine Verbesserung abzeichnet, unterbleibt die Suche nach technischen Neuerungen: Wenn man nicht friert, braucht man keine Heizung. Wenn man genug Sklaven hat, braucht man keine technischen Hilfsmittel zur Arbeitserleichterung oder Maschinen als Ersatz für menschliche Arbeitskraft. Und warum sollte man es sich im Diesseits schöner machen, wenn der Blick doch eigentlich auf das Jenseits gerichtet ist.

So zeigt der Blick auf unterschiedliche Epochen durchaus widersprüchliche Aspekte: Während die Griechen beispielsweise viel zur Entwicklung mathematisch-naturwissenschaftlichen Wissens beigetragen haben, bleiben sie den Transfer des theoretischen Wissens in Praxis und Realtechnik weitgehend schuldig. Ein Grund dafür ist in den gesellschaftlichen Verhältnissen zu sehen. Handwerk und mühsame Arbeit zählen zumindest in der späten Phase der griechischen Antike nicht unbedingt zum Ideal des freien Bürgers. Sie werden, wie bei den Römern, eher den Unfreien überlassen.

Die Römer übernehmen das bereits vorhandene Wissen ohne es entscheidend weiter zu entwickeln. Sie beeindrucken vor allem in der Baukunst und Kriegstechnik

Der Blick in die Geschichte zeigt aber auch, dass Bedürfnisse zum Fortschritt technischer Entwicklungen beitragen, wenn sie ihre Kraftwirkung in verschiedenen gesellschaftlichen und kulturellen Teilbereichen entfalten können. Die erreichten technischen Lösungen konkurrieren dann miteinander und befördern ihrerseits den regionalen, gesellschaftlichen oder nationalen Wettbewerb.

So kommt es beispielsweise im Mittelalter durch die Ächtung der Sklaverei zu einem Arbeitskräftemangel, der seinerseits verschiedene Innovationen nach sich zieht. Allerdings sind auch in dieser Phase der Technischen Entwicklung geistesgeschichtlich und gesellschaftlich enge Grenzen gesetzt.

Schlüsselwörter	
Kulturgeschichte	Metallurgie
Technik als Kompensation unzulänglicher physischer Ausstattung	Bronzezeit
Technik als Teil der immateriellen Kultur	Eisenzeit
Nutzbarmachung der Natur	Antike
Technik als Folge von Bedürfnissen	Mathematisch-naturwissenschaftliche Erkenntnisse der Griechen
„Techne“	Römische Baukunst
Enges, weites Technikverständnis	opus caementitium
Technikdefinition des VDI	Mittelalter
Abhängigkeit technischer Entwicklung von natür-	Mangel an Arbeitskräften

lichen und gesellschaftlichen Bedingungen Mittlere Steinzeit Steinwerkzeug	Klöster, Städte, Handwerk Zunft <i>Verhältnis von Hand- und Kopfarbeit</i>
--	--

1.1 Was ist Technik? – Wesen der Technik und Technikbegriff

Technik – Teil der materiellen und ideellen Kultur

Technische Erfindungen markieren wichtige Meilensteine der **Kulturgeschichte** des Menschen: Die Herstellung von Klingen aus Feuerstein, die Bearbeitung von Böden mit Ackerbaugeräten oder die Nutzung von Rollen oder Rädern sind in diesem Zusammenhang zu nennen. Anthropologen wie Archäologen sehen in der Technik gar die Geburtsstunde des Menschseins. Während die Nutzung natürlicher Objekte als Hilfsmittel in der Tierwelt durchaus verbreitet ist und auch die Kombination von Objekten wie Steine, Äste oder Halme zu Werkzeugsystemen zumindest den Primaten zu eigen ist, entwickelte sich mit der Bearbeitung und Kombination unterschiedlicher Objekte zu einem funktionsgerechten neuen Artefakt ein dem Menschen nunmehr eigentümlicher Wesenszug. Auch die Nutzung des Feuers ist ein dem Menschen eigener Wesenszug. Verankert ist dieser bewusste Zugriff auf die energetischen Möglichkeiten der Natur in den Mythen aller Kulturen.

Die Werkzeuganpassung, etwa durch Formgebung, die Wartung eines Werkzeugs, wie das Schärfen einer Steinklinge sowie die innovative Verbindung verschiedener Objekte zu einem Neuen, zum Beispiel bei der Kombination von Ast, Stein und Pflanzenfasern zu einem Beil, setzen komplexe Denkak- te und ausdifferenzierte Fertigkeiten voraus. Diese Denkak- te weisen eine über die Befriedigung der augenblicklichen Bedürfnisse hinausreichende Fähigkeit zur Kombinatorik, zur schlussfolgernden Interpretation und zur kreativen Vorstellung auf. Was der Mensch nicht direkt mit seinen Organen bewerkstelligen kann, das kompensiert er über die Möglichkeiten eines anderen Organs, des Gehirns (vgl. Wessels 1969, S. 102). Die Fähigkeit zu Denken und zu Lernen ermöglicht es dem Menschen, seine Umwelt und Lebensbedingungen anzupassen. Der Mensch bedient sich der Technik als gestal- tende und verändernde Kraft (vgl. Tuchel 1970, S. 145).

Neben die Rolle des aktiven Gestalters, die der Mensch gegenüber der Technik zunächst einnimmt, tritt im Lauf der Geschichte zunehmend auch eine passive Rolle. Technik beeinflusst Lebens- und Arbeitsprozesse und damit Sprache und Denken. Technik bildet mehr und mehr den Hintergrund für Vorgänge, die von den Beteiligten nicht zwangsläufig mit Technik in Beziehung gesetzt werden (von Westphalen 1984, S. 14).

Heute organisiert die Technik sämtliche Lebens- und Arbeitsbereiche: Das Auto beispielsweise prägt die Wohn- und Infrastruktur des öffentlichen Raumes und somit auch die Art zu leben oder zu arbei- ten. Informationstechniken bestimmten Produktionsabläufe, Kommunikations- und Verhaltenswei- sen, die Funktion der Finanzmärkte und sogar die Form der Kriegsführung. Energieversorgungssys- teme schließlich sichern sämtliche sozioökonomischen Vorgänge.

Zweifelsohne ist die Technik in ihren verschiedenen Erscheinungsformen als die entscheidende Grundlage für die Entwicklung der Menschheit, für die Entwicklung ihrer Lebensbedingungen und immer mehr auch für die Entwicklung ihrer Lebensperspektiven zu sehen. Technik ist somit Bestandteil der materiellen und indirekt auch der ideellen Kultur (Rapp 1993, S. 45).

Autonomie der Technik?

Hält man sich die Entwicklung der Technik vor Augen, scheint es so, als löse sich diese immer mehr vom unmittelbaren Einfluss des Menschen ab. An drei Aspekten lässt sich dieser Gedanke festmachen: An der Erweiterung der Zwecke, des Einflusses und der Funktionsweise von Technik.

Erweiterung der Zwecke: Während Technik zunächst das Mittel war, um elementare Bedürfnisse unmittelbar zu befriedigen, trägt sie im Verlauf der Geschichte selbst immer stärker zur Weckung von Bedürfnissen bei und entfernt sich so von ihrem ursprünglichen Zweck, nämlich der Nutzbarmachung der Natur.

Erweiterung des Einflusses: Als weiteres Problem kommt heute hinzu, dass zur Beherrschung der Technik wiederum Technik notwendig ist. Je stärker aber die soziotechnische Integration einerseits ist, desto autonom begegnet uns andererseits die Technik. Eine Ablehnung oder gar Ignorierung wird so schwierig, wenn nicht unmöglich.

Erweiterung der Funktionsweise: Sie wird vor allem am Trend zur Verselbstständigung der Technik, zum Beispiel in der Arbeitswelt sichtbar: Während anfangs für die Erstellung von Artefakten noch menschlicher Krafteinsatz und formender Wille erforderlich waren, enthoben die Arbeits- und Kraftmaschinen den Menschen zu Beginn der industriellen Revolution bald von der reinen Kraftaufwendung. Weiterhin notwendig waren jedoch die Bedienung der Maschinen und die Führung der Werkstücke entlang der formgebenden Werkzeuge. Mit der Automatisierung wurde nun auch die unmittelbare Wirkung geistiger Arbeit entbehrlich. Der Mensch gliedert sich, wie Bodo Wessels (1969, S. 108) schreibt, selbst aus seinem Handlungskreis aus, der dann zum autonomen Regelkreis wird (s. Abb. 1).

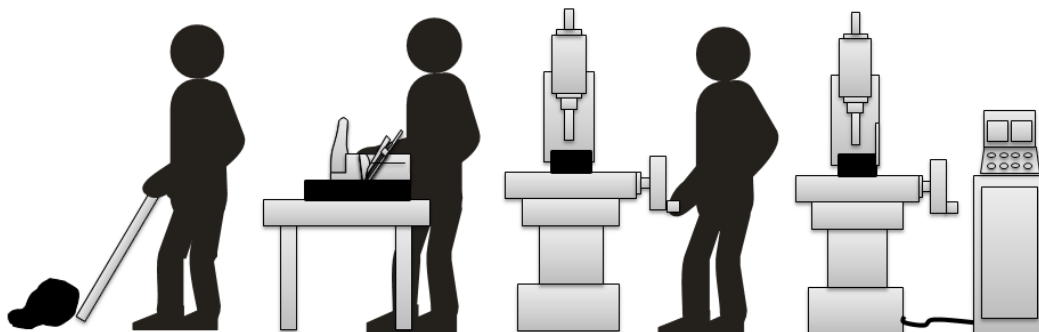


Abb.xx: Werkzeug – Maschine – Automat

Was aber genau ist eigentlich Technik?

Weil Technik heute jeden berührt, wird sie oft allein aus dem persönlichen Blickwinkel des Betroffenen oder Nutzers betrachtet und bewertet. Dadurch verengt sich der Blick jeweils auf bestimmte Faktoren einzelner Technikbereiche bzw. Technologien¹. Unreflektiert bleibt, was Technik eigentlich ausmacht.

Das Wesen der Technik

Um dem eigentlichen Wesen der Technik auf die Spur zu kommen, ist eine Annäherung hilfreich, die zunächst losgelöst von aktuellen gesellschaftlichen und technikbedingten Entwicklungen oder den augenscheinlichen Errungenschaften moderner Technik erfolgt und allein der Erkenntnis des Seienden, seinen Ursachen sowie den Zusammenhängen ihrer inneren Ordnung, ihrer Natur nachspürt. Eine solche Annäherung kann demnach nur philosophischer Natur sein.

Die Auseinandersetzung mit Technik wurde philosophisch jedoch über viele Jahrhunderte eher peripher gepflegt. Das bis in die Renaissance weitgehend von der Auffassung klassischer Denker bestimmte Technikverständnis reflektierte dabei nicht so sehr die weltgestaltende Bedeutung der Technik und erkannte auch nicht die Notwendigkeit einer theoretischen Auseinandersetzung mit ihr an, sondern betont eher die hilfreichen mechanischen und funktionellen Aspekte technischer Entwicklungen. Ein Indiz für diese funktionalistische Auffassung von Technik ist die Ableitung des Wortes aus dem griechischen "techne". Techne betont zunächst den Aspekt des Handelns, die Art und Weise, etwas durchzusetzen und zu erreichen. In einer in der Antike ebenfalls gebräuchlichen Bedeutung meint es jedoch auch List und Betrug. Eine pragmatische Deutung von Technik sieht daher die Überlistung der Natur als Wesensmerkmal der Technik.

Aristoteles: Technik – Ursache ist nicht die Natur, sondern der Mensch

Der Frage nach der Technik, nach dem Wesen der Technik, haben sich im Lauf der Zeit die unterschiedlichsten Philosophen gestellt. Eine erste Annäherung an das, was Technik ist oder ausmacht, kann mit Aristoteles erfolgen. Er unterteilt alles Seiende in zwei Klassen: in die Produkte der Natur und in die Produkte, deren grundlegendes Prinzip nicht in der **Veränderung in sich selbst**, sondern in der **Herstellung durch den Menschen** zu sehen ist.

Heidegger: Technik – Entbergen was sich nicht selbst hervorbringen kann

Heidegger (1962, S. 15) sieht das Eigentliche der Technik, nicht im „Machen und Hantieren, nicht im Verwenden von Mitteln“ sondern im „Entbergen“ begründet und meint damit die Möglichkeit, das hervorzubringen, was sich nicht selbst hervorbringen kann. Neben der Herstellung von Artefakten gehört zum „Entbergen“, zur Technik, auch das Ringen um Erkenntnis, das Aufstellen von Theorien, das Sammeln von neuen Einfällen und Ideen, usw.

¹ Unter Technologie wird hier ein abgrenzbarer Technikbereich verstanden, der auf der Ebene ingenieurmäßigen Handelns und damit auf der Ebene einer dem Handeln korrespondierenden technischen Wissenschaftsdisziplin verortet werden kann.

Mehrdimensionalität der Technik - Technikverständnis

Bei allen Annäherungen an das Wesen der Technik stößt man auf zwei grundsätzliche Aspekte, die – wie oben dargestellt – auch in den Überlegungen Heideggers sichtbar werden: Da ist zum einen der trotz zunehmender Informatisierung² weiterhin **dominante dingliche und materielle Aspekt**. Zum anderen ein **nichtmaterieller Prozessaspekt**, der sich in definierten Vorgehensweisen und Methoden äußert.

Das was zur Technik zählt, ist stets auch vom Standpunkt, bzw. vom Verständnis von Technik abhängig. Dabei kann grundsätzlich zwischen einem weiten und einem engen Technikverständnis unterschieden werden. Auf der Grundlage eines weiten Technikverständnisses, lässt sich neben den künstlichen Objekten, den Artefakten, auch jede menschliche Fertigkeit, die sich planmäßig und zweckorientiert vollzieht, der Technik zurechnen. In der Konsequenz ließen sich - wie bei Max Weber (1980, S. 32) - auch „Gebetstechnik“ oder „erotische Technik“ als Teil der Technik betrachten. Im Gegensatz dazu setzen die technischen Wissenschaften, die Ingenieurwissenschaften, eher auf ein enges Technikverständnis, das überwiegend der funktionalen Struktur von technischen Systemen verhaftet ist und in der menschliche Handlungen vorrangig während der Phasen der Produktentstehung Beachtung finden.

Die vom Verein Deutscher Ingenieure in einer Richtlinie zur Technikbewertung verwendete Definition von Technik weist durch ihren integrativen Charakter eher einen Mittelweg auf (VDI 1991, S. 2). Danach umfasst Technik:

- „die Menge der nutzorientierten, künstlichen Gebilde (Artefakte oder Sachsysteme);
- die Menge menschlicher Handlungen und Einrichtungen, in denen Sachsysteme entstehen;
- die Menge menschlicher Handlungen, in denen Sachsysteme verwendet werden.“



Abb. xx: Übersicht über Elemente der Technik: künstliche Gebilde, Handlungen der Herstellung und Verwendung

² s. hierzu den Aufsatz von Günter Ropohl (2002) „Wider die Entdinglichung im Technikverständnis“

1.2 Meilensteine der Technikgeschichte

Vorüberlegungen

Nicht selten verlangen historische Artefakte dem heutigen Betrachter Bewunderung ab, weil das zu ihrer Entstehung erforderliche Wissen und Können in dieser Zeit nicht vermutet wird. Die eigentliche Bedeutung technischer Entwicklungen wird jedoch nicht allein in der zeitlichen Einordnung, sondern in der Analyse des soziokulturellen Entstehungs-, Verwendungs- und Wirkungszusammenhanges deutlich.

Die relevanten Fragestellungen sind dann beispielsweise, was eigentlich die Ursache für eine technische Innovation war und was diese selbst an Entwicklungen losgetreten hat.

Die Rückführung eines technischen Artefaktes auf seinen Entstehungs- und Verwendungszusammenhang macht zudem deutlich, warum die Abfolge technischer Schöpfungen nicht durchweg linear verläuft, sondern von verschiedenen Faktoren abhängig ist und diese auch selbst wieder beeinflusst: Zu nennen sind die jeweiligen Naturgegebenheiten, die technischen Möglichkeiten, die gesellschaftlichen, politischen und sozialen Verhältnisse sowie auch – über lange Zeit – die vorherrschenden religiösen oder geistesgeschichtlichen Strömungen.

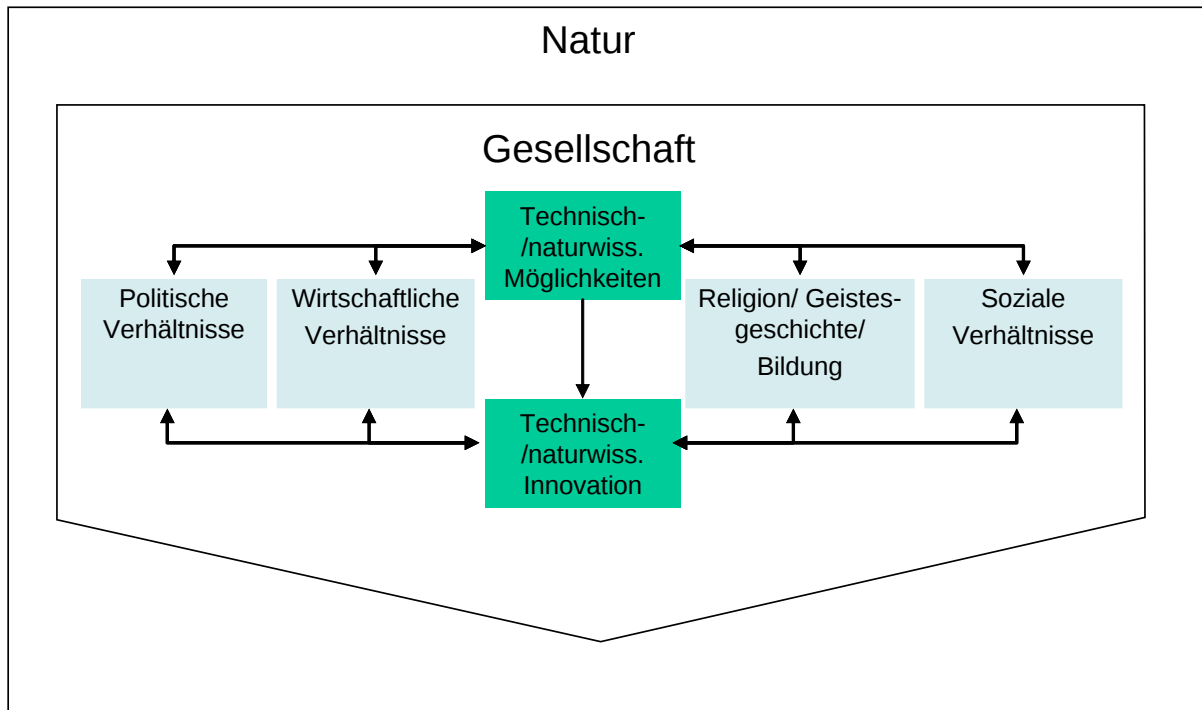


Abb. xx: Determinierende Faktoren technischer Entwicklung

Ein Beispiel dafür ist die Antike: Trotz kultureller und damit auch technischer Höchstleistungen in verschiedensten Bereichen, fehlten andererseits einfache technische Innovationen, etwa ein für den Körperbau von Lasttieren besser geeignetes Zuggeschirr. Warum eine sonst so hochentwickelte Kultur dazu außerstande war, wird allein durch den über den gesamten Zeitraum möglichen Zugriff auf Sklaven erklärbar. Welche Konsequenzen andererseits technische Innovationen auf gesellschaftliche oder politische Entwicklungen haben können, lässt sich exemplarisch an Johann Gutenbergs Metalllettern studieren.

Bei der Analyse technischer Entwicklungen gilt es demnach, sich mit den treibenden Kräften technischer Entwicklungen auseinanderzusetzen. Dabei geht es um Individual- und Kollektivbedürfnisse, mit denen es der Mensch vergangener Epochen letztlich genau so zu tun hatte, wie der heutige auch: Grundlegende existenzielle Bedürfnisse, Macht, soziale Anerkennung aber auch Freiheit, von Mühsal beispielsweise, spielen hierbei eine Rolle.

Im folgenden Überblick über einzelne Epochen werden nun verschiedene technische Entwicklungen vorgestellt.

1.2.1 Zeit bis zur Antike

Die ursprüngliche Bestimmung der Technik ist es, den elementaren Bedürfnissen, nach Nahrung, Kleidung, Unterschlupf und Sicherheit zu entsprechen. Bei der Befriedigung dieser Bedürfnisse unterscheidet sich der Mensch zunächst nicht allzu sehr von den Tieren. Verschiedene Arten verwenden ja

ebenfalls Naturstoffe, um sich beispielsweise vor Witterung zu schützen oder zu verteidigen. Manche präparieren diese Stoffe sogar vor ihrem eigentlichen Gebrauch. Neben der Sicherung der Grundbedürfnisse stellt die Anerkennung innerhalb eines Kollektivs oder gegenüber anderen Kollektiven eine weitere Ursache für die technische Entwicklung dar.

Die Technikgeschichte des Menschen beginnt wohl an dem Punkt, als der Mensch anfang, vorgefundene Objekte planmäßig immer weiter zu verändern und das Veränderte jeweils besser zu finden als das vorgefundene. Dies setzt neben den anatomischen Fähigkeiten der Veränderung von natürlichen Objekten auch ein Erinnerungsvermögen voraus, nämlich sich bei Bedarf derartiger Instrumente zu bedienen. Die Phase, in der Menschen Naturprodukte durch Bearbeitung für den Gebrauch anpassen, ist das Ergebnis eines langen Prozesses und begann vor ca. 2 Millionen Jahren (Brentjes 1987, S. 13).

Im Zuge der planmäßigen Veränderung von Materialien ist die **kontrollierte Nutzung des Feuers** als technische Großleistung anzusehen, da es den Menschen erlaubte, in der Natur vorhandene Materialien durch neue zu ergänzen oder schließlich sogar zu ersetzen (von Westphalen 1984, S. 18ff.). Seit wann der Mensch das Feuer nutzte ist nicht bekannt, sicher ist allerdings, dass er dies bereits vor einer halben Million Jahren machte (Brentjes 1987, S. 14).

Die vorherrschenden Werkstoffe für Geräte und Werkzeuge sind zunächst Holz, Horn, Stein und Knochen. In der älteren Steinzeit (bis ca. 80 000 v. Chr.) werden Faustkeile und Klingen aus Feuerstein zum Schneiden, Bohren oder Schaben benutzt.

Bedingt durch eine Verbesserung der klimatischen Bedingungen nehmen auch die Errungenschaften der Menschen in der mittleren Steinzeit (8. - 4. Jahrtausend v. Chr.) zu. Das Beil aus Geweihstange und Feuerstein, die Hacke, Gefäße aus Stein, Holz, Leder und Korbgeflecht, der Einbaum sowie Schlitten, Bogen und Angel sind Geräte jener Zeit.

Wirtschaftliche und technische Umwälzungen brachte die Jungsteinzeit, die im Orient ca. vor 7500 Jahren, im Bereich Europas ca. 1000 Jahre später einsetzte. Zum ersten Mal zeichnete sich ein sesshaftes, Ackerbau und Viehzucht treibendes Bauerntum ab. Im Mittelpunkt steht jetzt nicht mehr das Finden, sondern das Erzeugen von Nahrung. Für diese Aufgaben entwickelt der Mensch angepasstes Gerät: Geschliffene und polierte Steingeräte, Feuersteinsichel, Fiedelbohrer, Steinsäge, die Spindel und der einfache Webstuhl, Knochennadel, Reibemühle oder Pflug sind hier zu nennen.



Abb. xx: Geräte der frühen Ackerbauern: Sichelklingen mit anhaftendem Bitumen zur Befestigung im Schaft, Beile, Mörser, Reibmühlen, Feuersteinklingen, Abdrücke von Geflechten, Steingefäße, Statuetten u.a. (s. Brentjes/Richter/Sonnemann 1987, S. 28)

In der Mitte des 4. vorchristlichen Jahrtausends lässt sich an verschiedenen Orten die Nutzung des Rades für Beförderungsmöglichkeiten nachweisen. Das Prinzip der Rotation einer Scheibe um eine Achse wurde allerdings schon früher genutzt.

Die Fortschritte im Bereich der Metallurgie ermöglichten weitere kulturelle Leistungen. Langsam wich das Steinwerkzeug den durch Gießen geformten Kupferwerkzeugen und etwas später den Bronzewerkzeugen (Bronze ist eine Legierung aus Kupfer und Zinn).

Räumlich lassen sich die ersten Hochkulturen vor allem in Flusstälern verschiedener Regionen lokalisieren: Das Reich der Sumerer im Zweistromland zwischen Euphrat und Tigris in Mesopotamien (z.B. Räderfahrzeug 3000 v. Chr., schnell laufende Töpferscheibe 3250 v. Chr., Pflug und Ziegelherstellung 3000 v. Chr., Bogen im Bauwesen, Schöpfwerke) oder das Pharaonenreich in Ägypten entlang des Nils (z.B. Segelschiff 3000 v. Chr., Papyrus 4./3. Jahrtausend v. Chr., gleicharmige Waage 2600 v. Chr., Schalengebläse 1600 v. Chr.). Auch in Asien gedieh mit der chinesische Kultur besonders ab 1500 v. Chr. der technische Fortschritt (z.B. Seidenweberei, von Pferden gezogene Streitwagen).



Abb. xx: Frühe Töpfertechniken (s. Breitsameter u.a. 2005, S. 25)

Im Flussgebiet des Indus, im heutigen Indien und Pakistan, entstand zwischen 3000 und 2500 v. Chr. die Induskultur. Sie brachte Städte mit ausgeprägter Infrastruktur hervor, wie sie in Europa erst im Mittelalter entstanden.



Abb. xx: Pyramiden von Gizeh um 2620 bis 2500 v.Chr.

Eine Besonderheit stellen die mittelamerikanischen Hochkulturen dar, die ab 1200 v. Chr. ähnlich wie die Ägypter, Pyramiden errichteten und eigenständige Kulturleistungen erbrachten, oft ohne jedoch auf die technischen Möglichkeiten des Rades zurückgreifen zu können.

Im Nahen Osten seit etwa 1200 v. Chr., in Mitteleuropa ab ca. 750 v. Chr. begann das Eisen die Bronze langsam zu verdrängen. Dadurch, dass es viel häufiger vorkam als die Metalle der Bronze und auch eine höhere Festigkeit aufweist, verbreitete sich Eisen als Material für Waffen und Werkzeuge. Auch dem einfachen Bauer gelang es nun, in den Besitz solcher Gegenstände zu gelangen (Klemm 1989, S. 20).

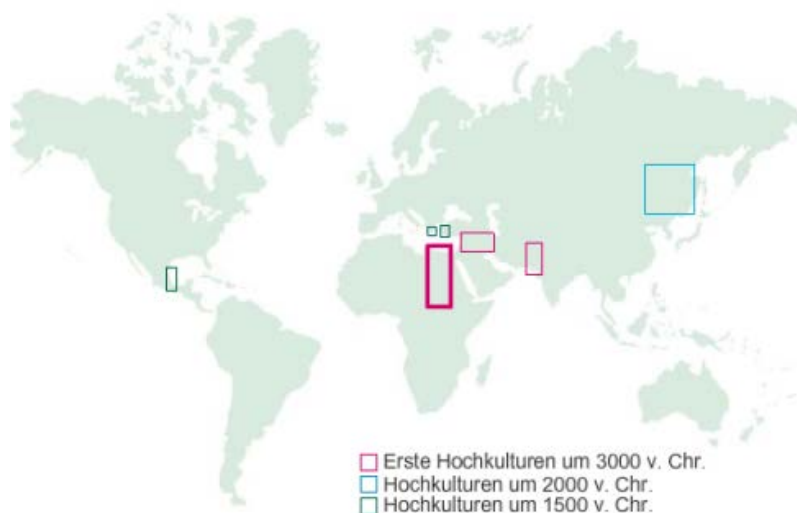


Abb. xx: Frühe Hochkulturen

1.2.2 Die griechisch-römische Antike

Neben der bloßen Befriedigung materieller Bedürfnisse hat der Menschen stets auch das Bedürfnis, **Antworten auf grundsätzliche Fragen** zu finden. Die Befriedigung dieser intellektuellen Bedürfnisse wird gerade in der Antike in der Auseinandersetzung mit religiösen oder naturwissenschaftlichen Fragestellungen gesucht.

So zeugt beispielsweise die Vielgestaltigkeit der griechischen Götterwelt mit ihren unterschiedlichsten Zuständigkeiten von dem Wunsch, Ordnung in die Dinge der Welt zu bringen. Die Griechen waren der Auffassung, dass man im Bauplan der Welt generell Muster und Grundformen entdecken könne, wenn man nur mit dem entsprechenden gedanklichen Rüstzeug - der Logik - an die Sache heranginge. Eine der großen Leistungen der griechischen Kultur liegt zweifelsohne in der Art und Weise, wie sie das Denken beeinflusst hat. Das blieb nicht ohne Folgen für die weitere naturwissenschaftlich-technische Entwicklung.

Mathematisch-naturwissenschaftliche Grundlagen der Technik – Beitrag der Griechen

Das Bestreben, in der Vielfalt der Einzelercheinungen der natürlichen Welt eine ordnende Struktur nachzuweisen, brachte erstaunliche Ergebnisse in der erkenntnismäßigen Durchdringung mathematischer, physikalischer oder chemischer Wirkzusammenhänge. Der Beitrag, den Griechen zu den mathematisch-naturwissenschaftlichen Grundlagen der Technik lieferten, darf als beeindruckend bezeichnet werden: Gelehrte wie Thales von Milet (624-546 v. Chr.), Euklid (365 -300 v. Chr.), Aristoteles (384-322 v. Chr.) und Archimedes (287-212 v. Chr.) schufen teilweise bis heute gültige theoretische Grundlagen, beispielsweise für die Zahlentheorie, die Geometrie sowie die Mechanik. Ein interessanter Aspekt ist, dass viele berühmte griechische Gelehrte in den griechischen Kolonisationen lebten. Neuere Forschungen sehen im geistigen Klima in diesen Kolonien auch die Ursache für die bahnbrechenden Erkenntnisse. Zum einen waren die religiösen Regeln dort weit weniger streng als in den griechischen Mutterlanden und außerdem kam man mit anderen Kulturen in Berührung

Trotz dieser Errungenschaften blieb die Antike oftmals den naheliegenden Schritt, nämlich vom gedanklichen Konstrukt, von der Theorie zur Praxis zu gelangen, schuldig. Die praktische Anwendung naturwissenschaftlich-technischer Erkenntnisse überließ der gebildete Grieche vielfach anderen, so dass man von einer Vernachlässigung der Entwicklung von Geräten oder Maschinen sprechen kann, die die Arbeit des Menschen entlastet hätten (von Westphalen 1984, S. 29). Die Auseinandersetzung mit der alltäglichen, profanen Welt erfolgte in vielfacher Weise durch die Unfreien und Sklaven. Dadurch blieb der Zwang, die einmal gewonnenen Erkenntnisse in nützliche technische Artefakte umzusetzen, gering.

Zumindest innerhalb der frühen Phase der griechischen Antike (Zeit des Homer) scheint die gesellschaftliche Spaltung in Männer des Geistes und Männer der Arbeit nicht so stark ausgeprägt gewesen zu sein. Belege dafür sind u.a. die Mitgliedslisten der Handwerker in den Volksversammlungen in Athen.

Insgesamt gesehen zeigt ein Vergleich der kulturellen Voraussetzungen mit den tatsächlichen Verwertungen der Technik jedoch ein sehr ambivalentes Bild.

Technische Errungenschaften

Eigentlich sollte man annehmen können, dass eine derart hoch stehende Kultur, die vorrangig von Ackerbau und Schifffahrt lebte, eben auf diesen Gebieten mit technischen Neuerungen aufwartet. Beim Ackerbau griff man allerdings einfach auf das bereits bewährte Wissen der Sumerer oder Ägypter zurück. Anders in der Schifffahrt. Hier vollzog sich eine Ausdifferenzierung der Schiffstypen in Handels- und Kriegsschiffe. Die Triere (lat. Trireme), von ca. 170 Ruderern auf drei Decks angetrieben, wurde das primäre Kriegsschiff im Mittelmeerraum. Andere Bereiche wie die Holz- oder Steinverarbeitung wiederum stagnierten, weil die Griechen wenig Eisenwerkzeuge verwendeten.

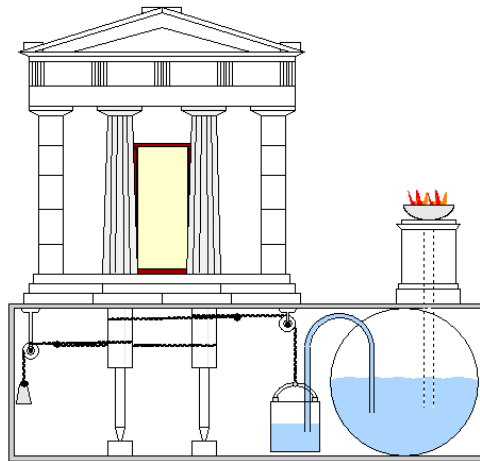


Abb. xx: „Automatischer“ Türöffner von Heron ³

In der späteren hellenistischen Zeit kam es zur vorläufigen Blüte im feinmechanischen Apparatebau. Persönlichkeiten wie Ktesibios (um 275 vor Chr.) schufen Apparate mit beeindruckender Mechanik wie die Wasserorgel oder die Kolbenpumpe. Ein bedeutender Mechaniker war auch Heron (ungefähr im ersten Jahrhundert n. Chr.). Er beschäftigte sich u.a. mit mathematischen, optischen und mechanischen Problemen. Heute sind vor allem seine Erfindungen für automatische, teilweise sogar schon programmierbare Apparate (Automaten) bekannt, deren Bewegungen energetisch durch die Ausnutzung von Gewichten, Wasser, Luft und Hitze herbeigeführt werden.

³ Entzündet man das Feuer im Opferstein, so erwärmt sich die Luft in dem Rohr, das unter dem Opferstein angebracht ist. Diese erwärmte Luft dehnt sich dabei aus und verdrängt das Wasser in dem kugelförmigen Behälter. Über ein U-Rohr gelangt Wasser in einen mit einer Kette aufgehängten Eimer, der durch ein Gegengewicht im Gleichgewicht gehalten wird. Der Eimer wird durch das größere Gewicht des zugeführten Wassers nach unten gezogen und bewegt über die Kette zwei Rollen, die durch eine Drehvorrichtung die Tempeltüren öffnen.

Erstaunlich, dass auch hier der Einsatz derartiger Entwicklungen vor allem auf das Theater und religiöse Lokalisationen beschränkt blieb. Ein weitergehender ökonomischer Nutzen der Gerätschaften wurde nicht gesehen.

Ein Bereich, in dem technische Innovationen tatsächlich auch genutzt wurden, war die Militärtechnik. Bei Kriegsmaschinen, beispielsweise den Torsionsgeschützen brachten es die Griechen besonders in der Zeit nach Alexander dem Großen zu beachtlichen Entwicklungen.



Abb. xx: Nachbildung eines römischen Torsionsgeschützes⁴

Römische Technik

Die Römer übernahmen die **Technik der Griechen**, und entwickelten sie vor allem in jenen Bereichen weiter, die der **Infrastruktur** und dem **Militär** dienten. Die Eroberung und mehr noch die Sicherung des riesigen Reiches machten beispielsweise eine schnelle Verlegung von Truppen notwendig. Der Wasser-, Wege-, Brücken- und Bergbau, generell die **Bautechnik** erlebte daher eine Blüte. Daneben ist die Stärke der Römer auch auf ihre technisch weit entwickelten Waffen zurückzuführen. Das römische Reich ist ein gutes Beispiel dafür, dass sich im Wettbewerb der Völker auch die effektivere (technische) Lösung durchsetzen kann.

Imponierende Zeugnisse römischer **Baukunst** sind etwa die Gefällewasserleitungen (Aquädukte), die Hallenkonstruktionen und Hafenbauten, das Kanalnetz sowie das zur Kaiserzeit wohl an die 300000 km umfassende Straßennetz.

⁴ Quelle: <http://www.vindeliker-kohorte.de/Veranstaltungen06/augustdorf/67.jpg> Stand 1.12.2006

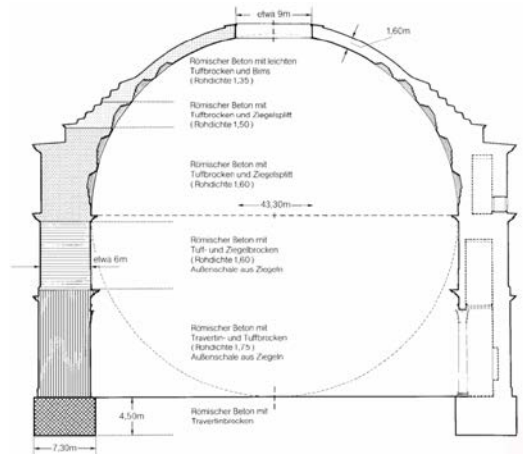


Abb. xx: Baukunst der Römer: Verwendung von Beton beim Pantheon in Rom (s. Lamprecht 1993, S. 208)

Die Römer verwendeten für viele Bauten Beton. Bestandteile dafür waren Sand, Kies, gebrannter Kalk, und – wenn möglich – Puzzolanerde. Ähnlich wie der heute mit Zement hergestellte Beton, besaß der römische opus caementitium hydraulische Eigenschaften, erhärtete also auch ohne Luftzutritt, beispielsweise unter Wasser. Auch im **Heizungsbau** schufen die Römer Standards, die erst viel später wieder erreicht wurden.

Ein ambivalentes Bild zeigt sich in der **Produktionstechnik**: Obwohl mit ausgeklügelter Technik zur Nutzung der Wasserkraft die Voraussetzungen für Manufakturbetriebe vorhanden waren, gab es nur vereinzelt Betriebe, in denen in größerem Umfang technische Systeme zur Produktion eingesetzt wurden.

Im Allgemeinen setzte man auf Handarbeit und einfache technische Mittel. Dadurch, dass auch während der römischen Antike in vielen Bereichen Sklaven oder Angehörige niedrigerer Stände die schwere Arbeit übernahmen, wurden zwar durchaus arbeitserleichternde, aber eben nur selten arbeit ersparende Geräte entwickelt.

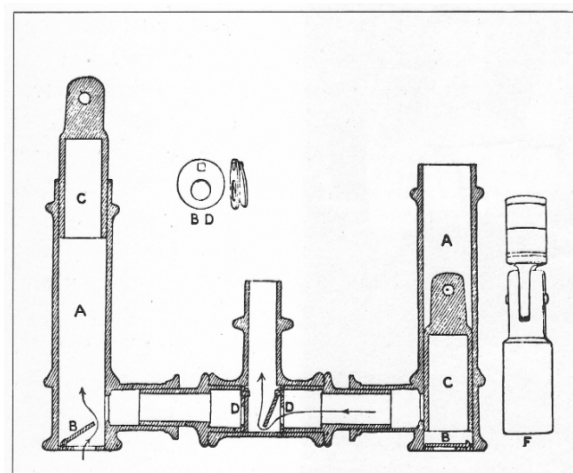
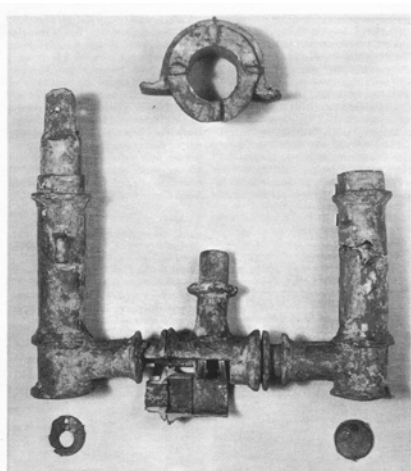


Abb. xx: Römische Kolbenpumpe (s. Deutsche Verlagsanstalt 1967, S. 410)

Weiterentwicklung der Technik?

Wenngleich wie Meißner (1999, S. 19) hinweist, kein zwingender Zusammenhang zwischen einem geringen Arbeitskräftepotenzial und technischen Innovationen besteht, so ist Technik doch möglicherweise dann entbehrlich, wenn ausreichend Sklaven oder Tiere für die Arbeit zur Verfügung stehen oder wenn man in einem klimatisch begünstigten Raum leben kann.

Trotz vielerlei praktischer Anwendungen und beeindruckender Kulturzeugnisse sahen die Römer ähnlich wie die Griechen kaum die Notwendigkeit einer systematischen Durchdringung der Technik, um damit konkrete technische Anwendungen zu verbessern. Damit kann ihr Beitrag zur Technik – mit einigen Ausnahmen – im Wesentlichen damit charakterisiert werden, dass sie zwar vorhandene Techniken eindrucksvoll anzuwenden wussten, aber kaum Erfolge bei der Weiterentwicklung der theoretischen Grundlagen erzielen konnten.

1.2.3 Das Mittelalter

Völkerwanderungszeit und frühes Mittelalter sind technisch gesehen einerseits durch das Erbe der Römer geprägt, andererseits kommt es zu eigenen Errungenschaften, die vorrangig handwerklicher Kunstfertigkeit geschuldet sind. Im weiteren Verlauf des Mittelalters steigern sich die technischen Fähigkeiten und der Umfang des technischen Wissens. Dies hat mehrere Ursachen.

Mangel an Arbeitskraft begünstigt technische Innovationen

Unter dem Einfluss der Kirche nahm in dieser Epoche die Bedeutung der Sklaverei ab. Sie geht über in die an Grund und Boden gebundene Leibeigenschaft. Der damit verbundene Mangel an menschlicher Arbeitskraft und daraus resultierend, der Wunsch nach Arbeitserleichterungen, sind Faktoren, die die Weiterentwicklung technischer Errungenschaften begünstigt haben. Gleichwohl existiert im Mittelalter keine durch Maschinenarbeit dominierte Massenproduktion im heutigen Sinne. Es dominierte vielmehr der kleine Gewerbebetrieb. Sowohl der abhängige Bauer als auch der Handwerker waren zudem eher als früher die Sklaven an einer Ausweitung der Produktion interessiert. Sie nahmen daher fremde Erfindungen auf und entwickelten neue, bessere Arbeitsmittel (Sonnemann 1987, S. 137).

Geistige Grundlagen und Grenzen für die naturwissenschaftlich-technische Entwicklung

Obwohl im allgemeinen Verständnis das Mittelalter aufgrund der religiösen und gesellschaftlichen Restriktionen oft als fortschrittsfeindlich betrachtet wird, liegen dort doch die philosophisch-religiösen Wurzeln begründet, die den Boden für neue Errungenschaften bereiteten.

Zu nennen ist hier beispielsweise die Rezeption des **aristotelischen Wissens** und dessen Integration in das christlich fundierte philosophische Denken im Rahmen der Scholastik. Die Voraussetzung für eine solche Integration bildete die Auffassung, dass Glauben und Wissen sich nicht ausschließen sollten.

Wichtige Impulse für die Entwicklung der abendländischen Technik wurden zudem durch die im Mittelalter bereits weit entwickelten **islamischen Wissenschaften** geliefert. In der Medizin, der Optik, der Astronomie aber auch beim Bau unterschiedlicher feinmechanischer Apparate sowie im Bereich der Zeitmessung hatten islamische Gelehrte einen hohen Stand erreicht. Die Ursachen dafür lagen zum einen in der Beschäftigung mit den **Erkenntnissen der Antike**, zum anderen in der **Weiterentwicklung dieses Erbes**. Etwa ab der Mitte des 9. Jahrhunderts lag das gesamte wissenschaftliche Schrifttum der Antike in arabischen Übersetzungen vor (Simony 1995, S. 138 ff.). Kriegerische Auseinandersetzungen ebenso wie die friedliche Koexistenz, wie sie z.B. durch den Stauferkaiser Friedrich den Zweiten praktiziert wurde, führten zu einem Transfer dieses Wissens in die abendländische Kultur.

Freilich darf dabei nicht übersehen werden, dass die Religion das technische Innovationsfeld auch deutlich einzuengen wusste: Da beispielsweise aus religiösen Gründen der menschliche Körper nicht geöffnet werden durfte, wurde auch keine Medizintechnik entwickelt.

Klöster, Städte, Handwerk

Bis zur **Entwicklung einer städtischen Handwerkskultur** ca. im 10. Jahrhundert waren es vor allem die Klöster, von denen Impulse für die Technik, vorrangig auch in Richtung ihrer handwerklichen Ausprägung, ausgingen. Im Umfeld der Kirche und zu Ehren der Religion wurden bedeutende Kunstwerke geschaffen.

Eine zentrale Bedeutung für die Technik hat in Europa durch die gesamte Epoche hindurch der Typus des städtischen Handwerkers. Er war vorwiegend in Berufsgruppen (**Gilden oder Zünften**) organisiert, arbeitete marktorientiert, war Eigentümer seiner Werkzeuge oder sonstiger Betriebsmittel und gab seine Fähigkeiten und Fertigkeiten im Rahmen einer Ausbildung an Lehrlinge und Gesellen weiter. Handwerk bedeutete eine bestimmte Art des Wirtschaftens bzw. der Produktion und eine eigene Art der Lebensführung.

Allerdings waren es auch die Zünfte, die ängstlich darauf bedacht waren, dass Bedeutung und soziale Anerkennung nicht geschmälert wurden. Diese Haltung führte nicht selten dazu, dass technische Entwicklungen, die die althergebrachte Produktionsweise zu revolutionieren drohten, auf ihr Betreiben hin geächtet oder gar zerstört wurden. Setzten sich dagegen neue Produktionsweisen innerhalb einer Zunft durch, so trachtete man danach, dies vor den Zünften anderer Städte möglichst geheim zu halten (Sonnemann 1987, S. 158).

Technische Errungenschaften des Mittelalters

Für das Verständnis mittelalterlicher Technik ist, wie in der Antike auch, eine **Analyse des Verhältnisses von Kopf und Handarbeit** sinnvoll.

Im Vergleich zur Antike kam es, ausgehend von den Klöstern, zu einer **zunehmenden Wertschätzung der Handarbeit**. Exemplarisch kann hier auf den Leiter einer Pariser Klosterschule verwiesen werden. Hugo von St. Viktor (1127) gesellte dem Bildungscanon der Septem Artes liberales die **Septem Artes**

mechanicae (Weberei, Schmiede- und Bautechnik, Schifffahrt, Ackerbau, Jagd, Heilkunde und Schauspielkunst) bei. Dieser veränderte Blick auf die handwerkliche Arbeit und seine Fähigkeiten bescherte der Epoche zahlreiche technische Errungenschaften. Exemplarisch genannt seien hier die Nutzung der Windkraft (ab dem 12. Jhr.), die Verbesserung des Geschirrs für Zugtiere, die Weiterentwicklung landwirtschaftlicher Geräte (z.B. Räderpflug) (s. Abb. 10) oder Innovationen in der Schifffahrt (ab dem 12. Jhr.) wie Steueranlagen oder Veränderungen in der Takelage, die einen Verzicht auf Ruderer möglich machten.



Abb. xx: Bauer beim Pflügen mit Räderpflug und Pferde mit Kummetgeschirr, das den Druck auf die Schultern des Tieres verlagert (Österreichische Nationalbibliothek Wien, Handschriftensammlung, E 1492-C))

Die Handarbeit des Menschen wurde ab dem 8. Jahrhundert in vielen Bereichen durch die **Nutzung der Wasserkraft** unterstützt. Beispiele sind Mahl-, Öl- oder Schleifmühlen, Hammerwerke, Walkereien oder Sägewerke. Im Bereich der Textilherstellung muss der mechanische Webstuhl (ab dem 13. Jhr.) genannt werden. Mit Gewichtsräderuhren ließ sich ab dem ausgehenden 13. Jahrhundert nun auch der Tag einteilen (s. Abb. 11). Die führte zu gleichmäßigeren Arbeitszeiten. Eine ebenso bedeutende Errungenschaft für den Einzelnen stellte die Brille dar. In ihrer ursprünglichen Form mit zwei Sammellinsen gestattete sie dem Menschen nun, sich bis ins hohe Alter Wissen anzueignen.

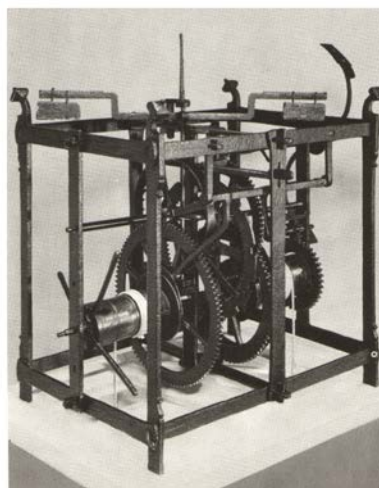


Abb. xx: Uhrmechanismus der Gewichtsräderuhr der Schlossuhr zu Dover 14. Jh. (s. Sonnemann 1987, S. 144)

Gutenbergs Buchdruck mit beweglichen Lettern zeugte bereits von einem Menschentyp, der über die zumeist engen Gilde- und Zunftgrenzen hinausdachte. Als Mann des Spätmittelalters konnte er auf die verschiedenen Errungenschaften des Mittelalters zurückgreifen, z.B. auf das Wissen im Bereich der Metallurgie (vgl. Klemm 1989, S. 48 ff.). Ein breites Feld für technikhistorische Betrachtungen bildet die Entwicklung der Kriegstechnik im Mittelalter. Eine nähere Beschäftigung mit ihr muss hier aber ausgespart werden (s. Abb. 12).

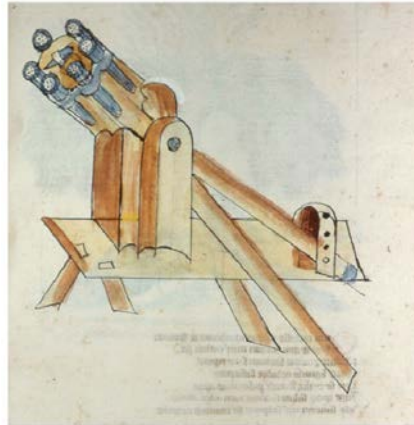


Abb. xx: Darstellung eines Geschützes aus 'Bellifortis' von Konrad Kyesers ca. um 1400

1.2.4. Die Renaissance (15. und 16. Jahrhundert)

Jede Einteilung in Epochen geht mit dem Problem einher, definitorisch **soziokulturelle Prozesse** auseinanderzuidividieren, die – folgt man ihnen allein – eigentlich als Einheit betrachtet werden sollten. Andererseits werden durch die vereinheitlichende Betrachtung **divergierende Erscheinungen begrifflich zusammengefasst**. Gleiches gilt natürlich auch und gerade für das „Zeitalter der Renaissance“.

Wie bei den anderen dargestellten Zeitabschnitten, muss auch hier auf eine eingehende Analyse der der Renaissance innewohnenden Triebkräfte aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet werden. Trotzdem soll darauf hingewiesen werden, dass die Schwäche des universalen Kaisertums, der damit einhergehende Aufbau der Nationalstaaten in Europa, das Aufstreben des Bürgertums, die Entdeckung des Individuums und anderes für den Betrachtungsgegenstand – die Technik – von großer Bedeutung waren. Die nachfolgende Darstellung bleibt auf die wichtigsten Aspekte beschränkt.

Das neue Bedürfnis nach Erkenntnis

Anders als bei der Darstellung der vorausgehenden Epochen soll hier der Blick nicht gleich auf technische Artefakte gelenkt werden, sondern zuerst auf die Menschen, die hinter ihnen stehen. Das ist deswegen sinnvoll, weil diese Epoche den Typus des Künstleringenieurs hervorbringt (Klemm 1989, S. 72). Männer wie Filippo Brunelleschi (1377-1446 n. Chr., u.a. Kuppel des Florentiner Doms), Leone Battista Alberti (1404-1472 n. Chr., Schriftsteller, Mathematiker, Kryptologe, Architekt und Architekturtheoretiker) und natürlich Leonardo da Vinci (1452 -1519 n. Chr.) ragen als vielseitig begabte, interessierte und schaffende Menschen hervor. Ihr intellektuelles Bedürfnis ist es, sich nicht mit dem zufrieden zu geben, was das Mittelalter hervorgebracht hat. Sie trachten vielmehr danach, das Bestehende in vielerlei Richtungen weiter zu entwickeln. Dabei beobachten, experimentieren oder rechnen sie. Das weist sie als „**Uomini universali**“, als wissenschaftlich orientierte Menschen aus.

Die bloße Betrachtung und religiös gefärbte Deutung naturwissenschaftlicher Phänomene wird durch das **Bedürfnis nach tiefer Erkenntnis** abgelöst, die nur dadurch gewonnen werden kann, dass die Natur selbst „bearbeitet“ wird. *„Der neuzeitliche Naturforscher schaut und betrachtet nicht mehr mit der Ausstattung, die er in seinem Leibe, an seinen Sinnesorganen hat, er erfindet Hilfsmittel, Werkzeuge der Beobachtung, baut Fernrohre und Mikroskope. [...] Wissenschaft ist eine Voraussetzung der Technik (sowohl der feineren Werkzeug- als erst recht der Maschinenteknik), aber die Technik ist andererseits auch eine Voraussetzung der Wissenschaft.“* (Fink 1965, S. 46) Sonnemann (1987, S. 175) sieht in der Renaissance erstmals den Beginn einer gegenseitigen Befruchtung von Wissenschaft und Technik, die bis dato ausblieb, weil *„die Technik bis dahin die Wissenschaft weder gefordert hatte, noch jene in der Lage war – von sporadischen Impulsen abgesehen – der Technik neue Aufgaben zu stellen.“*

Einer aus der Vielzahl der produktiven Menschen dieser Epoche verdient es, besonders hervorgehoben zu werden. Wenngleich zu seinen Lebzeiten wenig von dem umgesetzt wurde, was er erdacht, skizziert oder auch präzise zeichnerisch ausgearbeitet hat, darf **Leonardo da Vinci** nicht nur als herausragender Künstler sondern vor allem auch als genialer Konstrukteur von Bauwerken, Apparaten und Maschinen betrachtet werden. *„Er erkannte in der Maschine als wesentliche Teile die einzelnen Bewegungsmechanismen und ihre Elemente, die er losgelöst vom Maschinenganzen betrachtete.“*

(Klemm 1989, S. 76) In seinen Entwürfen nahm er bereits eine Vielzahl an Elementen vorweg, die im Rahmen der Maschinentechnik erst Jahrhunderte später realisiert wurden.

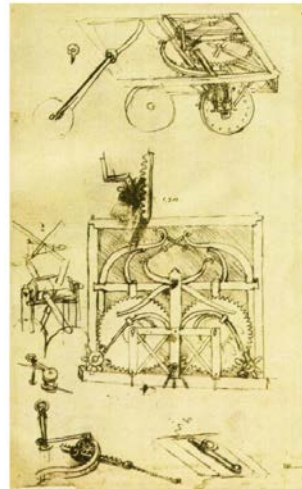


Abb. xx: Zeichnung des Armbrust-Feder-Antriebs für ein Straßenfahrzeug von Leonardo da Vinci

Entwicklung wissenschaftlichen Schrifttums

Im Bestreben vieler Menschen der Renaissance, sich Konstruktions- und Gestaltungsaufgaben von verschiedenen Seiten anzunähern, liegt eine der Ursachen für die **Verbreitung wissenschaftlicher Literatur**. Etwa ab dem 16. Jahrhundert gibt es Übersetzungen aller bis dahin bekannten naturwissenschaftlichen und technischen Schriften von Euklid, Archimedes, Vitruv oder Heron in die Volkssprachen. Abgefasst wird auch eine Vielzahl neuer wissenschaftlicher Schriften. Albrecht Dürers (1471-1528) Schrift über die Geometrie „Underweysung der Messung mit dem Zirckel und Richtscheyt“, Galileo Galileis (1564-1642) Werk „Le meccaniche“ oder Francis Bacons (1561-1626) „Novum Organum“ sind Beispiele dafür. Praktisch wie wissenschaftstheoretisch hatten diese Schriften einen großen Einfluss auf die weitere technische Entwicklung.

Fortschritt und Beharrungstendenzen

Unter dem schützenden Schirm aufstrebender Stadt- aber auch Nationalstaaten reift das Stadtbürgertum zu einer wirtschaftlichen Macht heran. Für die Bürger werden die Nutzung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse und ihre technische Umsetzung zur Quelle gesellschaftlicher Partizipation. Auch die Fürsten erkannten, dass das neue Wissen in den Dienst wirtschaftlichen und politischen Erfolgs gestellt werden konnte. Alles das führt zu Fortschritten in vielerlei Gebieten, vor allem auch im Militärwesen, im Bergbau oder in der Medizin.

Dem allgemeinen Streben nach Neuerungen standen jedoch, nicht nur in Deutschland, oft **strenge Zunftschranken** entgegen. Die Vorbehalte mancher Zunft führten sogar dazu, dass neu entwickelte Maschinen wieder zerstört wurden, um so etwa Preise zu sichern oder aber die Verbreitung der Apparaturen in andere Handwerksbereiche zu verhindern. Gleichwohl ist dem städtischen Handwerk

der Renaissancezeit aber eine Reihe von Einzelerfindungen zu verdanken. U.a. sind hier zu nennen: der Schraubstock (um 1500), die Taschenuhr (1510) oder das Münzwalzwerk (1550).

Insgesamt erschöpfte sich jedoch allmählich das produktive Kapital der althergebrachten Gilden und Zünfte. Die zunehmenden kaufmännischen Aktivitäten einerseits sowie die Anwendung diverser technischer Neuerungen andererseits führten auch jenseits dieser Vereinigungen zu einem Siegeszug privatwirtschaftlichen Unternehmensgeistes.



Abb. xx: Replikat einer Taschenuhr des Nürnberger Schlossers Peter Henlein, der ab 1510 dosenförmige Taschenuhren fertigte (us in Genf).

2. Geschichte der Technik II

Warum kommt es in der Neuzeit zu einer Beschleunigung technischer Entwicklungen? Was sind die Triebkräfte für technische Entwicklungen?

Inhalt

Abstract	23
2.2 Barock (ca. 1575 bis 1770)	27
2.3 Das Zeitalter der Aufklärung (17. und 18. Jahrhundert)	29
2.4 Die Zeit der Industrialisierung (ab 1750)	31
2.5 Globalisierung der Technik	34
2.6 Das 20. Jahrhundert - Dominanz der Technik	35
2.7 Das digitale Zeitalter	36

Abstract

Die zweite Lerneinheit beschäftigt sich noch einmal mit der Technikgeschichte. Erinnern wir uns: Technik ist die **Folge und die Ursache sozialer Prozesse** und der ihnen innewohnenden Triebkräfte **menschlicher Bedürfnisse**. Diese wiederum werden beeinflusst von den jeweiligen **Naturgegebenheiten**, den vorgefundenen oder neu entdeckten **technischen Möglichkeiten**, den **gesellschaftlichen, politischen und sozialen Verhältnissen** sowie von **religiösen oder geistesgeschichtlichen Entwicklungen**.

Die geographische und regionale Trennung und die dadurch mögliche spezifische Ausformung kultureller Wirkkräfte einerseits sowie die die Zeitläufte überformenden politischen Auseinandersetzungen mit ihrem zum Teil kriegerischen Zerstörungspotential andererseits begünstigten lange Zeitabschnitte, die aus unserer heutigen Perspektive wie technischer Stillstand anmuten. Bei näherer Betrachtung zeigt sich die Technikgeschichte daher keineswegs als durchweg linearer Prozess. Über Jahrhunderte ist die Geschichte vielmehr gekennzeichnet durch asynchrone Entwicklungen und eine Neuentdeckung bereits Gewesenes.

Auffällig ist allerdings die Dynamik des technischen Wandels ab der Renaissance und insbesondere in den letzten zweihundert Jahren. Wie es zu einer solchen Beschleunigung technischer Impulse kommen konnte, ist Thema dieser Lerneinheit. Wir werden sehen, dass dafür die Überlagerung verschiedener wirtschaftlicher und sozialer Gegebenheiten eine wichtige Rolle spielt. Diese Entwicklungen erlauben es dem Menschen, sein schöpferisches Potenzial zu entfalten. Von allzu starren religiösen und geistigen Fesseln losgelöst, bricht sich das Verlangen nach einer intellektuellen Durchdringung der Naturgesetze Bahn. Das dazu notwendige Wissen stammt nicht allein aus der Rezeption antiker Quellen, sondern wird erstmals über die systematische Anwendung erfahrungswissenschaftlicher Methoden gewonnen. Wissenschaft und Technik rücken nun eng zusammen: Einmal, weil technische Geräte für die wissenschaftliche Untersuchung konzipiert und gebaut werden, zum anderen, weil die funktionale Ausstattung technischer Geräte selbst nun auf den durch wissenschaftliche Erkenntnissen basierenden Naturgesetzen beruht.

Ob eine technische Innovation erfolgreich ist, hängt davon ab, welche Wirkung sie in einem bestimmten gesellschaftlichen Bereich erzielt, bzw. davon, ob mit der Innovation Bedürfnisse befriedigt werden und ob die Menschen überhaupt über die Freiheit verfügen, die Innovation anzunehmen. Sind Entwicklungen erst einmal angestoßen, werden sie häufig durch so genannte Komplementärbedürfnisse verstärkt. Dabei handelt es sich um solche Bedürfnisse, die allein dadurch entstehen, weil andere Bedürfnisse beispielsweise durch die Technik gedeckt werden. So geht das Verlangen, ein Auto zu besitzen einher mit dem Bedürfnis, es auch uneingeschränkt nutzen zu können. "Technische Neuerungen und wachsende Bedürfnisse schaukeln einander wechselseitig auf, wobei durch eine bestimmte Innovation neue Engpässe geschaffen werden, die dann in einem scheinbar unaufhaltsamen Prozess zu weiteren Innovationen führen." (Rapp 1993, S. 36)

2.2 Barock (ca. 1575 bis 1770)

Die Zeit des Barock kann bereits auf ein **Fundament** sowohl umfangreicher **naturwissenschaftlicher und technischer Erkenntnisse** als auch auf ein **erprobtes wissenschaftstheoretisches Instrumentarium** zum Aufbau neuen Wissens zurückgreifen. Begünstigt wird der Wissenszuwachs auch dadurch, dass sich die der Natur zugewandten Wissenschaften mehr und mehr von der Theologie abzulösen vermögen. Was wissenschaftlichen und technischen Fortschritt anbelangt, stechen besonders jene Gegenden mit reformierten Kirchen hervor (z.B. Calvinismus in Genf).

Gegenseitige Befruchtung von Naturwissenschaft, Technik und Wirtschaft

Mit den Leistungen von Descartes (1596-1650) oder Fermat (1607-1665) im Bereich der **analytischen Geometrie**, sowie mit dem **Infinitesimalkalkül** von Newton (1643-1727) und Leibnitz (1646-1716) erfolgen im Barock weitere wichtige Schritte auf dem Weg zur experimentellen und analytischen Durchdringung der Naturgesetze. Zugleich wird eine Reihe **wissenschaftlicher Instrumente** entwickelt: Mikroskop, Fernrohr, Barometer, Rechenmaschine, Luftpumpe, Pendeluhr oder Thermometer.

Akademiegründungen wie die Londoner Royal Society oder die Akademie der Wissenschaften, aber auch das Aufkommen von **wissenschaftlichen Zeitschriften** machen einerseits deutlich, welchen Stellenwert man der Wissenschaft nun einräumt, andererseits werden mit solchen Institutionen auch intellektuelle Kräfte gebündelt und verstärkt. Das sich in Europa entwickelnde **Patentwesen** schützte zudem mehr und mehr auch die Rechte des Erfinders.

Der Fortschritt wissenschaftlicher Erkenntnisse, wohl auch das im Gefolge des Merkantilismus entstandene Bedürfnis nach **kostengünstiger Produktion** führten ideell zu einer Mechanisierung des Weltbildes und in der praktischen Umsetzung zu einem verstärkten Aufkommen von staatlichen und privaten, **zunftfreien Manufakturen**. Nur diese Manufakturen konnten den staatlich verordneten Bedarf an Waffen, Kleidungen oder anderen Ausrüstungsgegenständen decken, die die europäischen Landesherren für ihren Drang nach Macht und Geltung benötigten.

War bisher das Bestreben, dem Menschen körperliche Arbeit abzunehmen oder ihn diesbezüglich wenigstens zu erleichtern ein Motor für die Entwicklung mechanischer Apparaturen, so wurden mit den **Rechenmaschinen** von Schickard (1623), Pascal (1645) oder Leibnitz (1694) erstmals auch **Hilfsmittel für die geistige Arbeit** vorgestellt.

Bei der Umsetzung der technischen Leistungen des Barocks, die uns heute augenscheinlich durch großartige Bauwerke ins Bewusstsein rücken, wird den Zeitgenossen aber auch die Begrenztheit der bis dahin vorherrschenden Kraftmaschinen vor Augen geführt. Namentlich die monströsen Hebewerke zur Beschickung der Wasserfontänen ebenso wie die unzureichenden Entwässerungsmöglichkeiten im Bergbau drängten zur Entwicklung effektiverer Maschinen.

Zumindest das beginnende 17. Jahrhundert war aber technisch noch geprägt von den bereits vorhandenen Anlagen zur Energiegewinnung und -nutzung wie Wasserrädern und Windmühlen (s. Abb. xx).

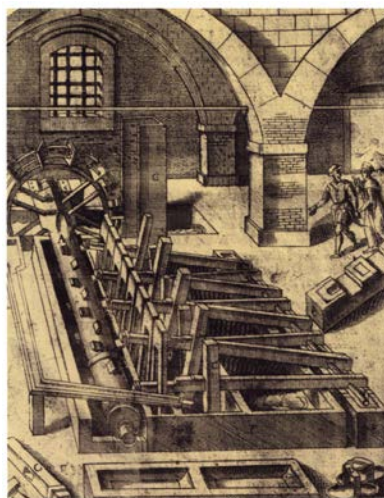


Abb. xx: Im Inneren einer italienischen Papiermühle auf einem Kupferstich von Zonca, 1607 (Quelle: Historia Photo Hamburg)

Die Entwicklung der Dampfmaschine

Für eine grundlegende Änderung im Bereich der Energienutzung mussten erst die Voraussetzungen geschaffen werden. Chr. Huygens (1629-1695) unterbreitete 1666 Vorschläge, wie Schießpulver oder Wasserdampf im Hinblick auf Kraftwirkungen zu untersuchen seien. Auch hatte er mittels einzelner Versuche den Nachweis erbracht, dass **Kraftmaschinen mit Schießpulver** Arbeit verrichten konnten. Jedoch erwies sich der Antrieb mit Schießpulver als zu gefährlich und auch als wenig handhabbar.

Bereits in Huygens Umfeld (Denis Papin, 1706) wurden jedoch Maschinen konstruiert, die auf der **Kraftwirkung des sich ausbreitenden Dampfes** basierten. Die Funktionsweise von Papins Maschine beruhte noch darauf, den Dampf vorrangig zur Luftverdrängung zu nutzen; die eigentliche Arbeit wurde durch den atmosphärischen Druck geleistet, der den Kolben nach Abkühlung des Zylinders durch Kühlwasser und der damit einhergehenden Volumenminderung des Dampfes nach unten drückte. Die weitere Entwicklung mit Dampf betriebener Maschinen wurde vor allem in England von Männern wie Thomas Savery 1698 und Thomas Newcomen 1711 vorangetrieben.

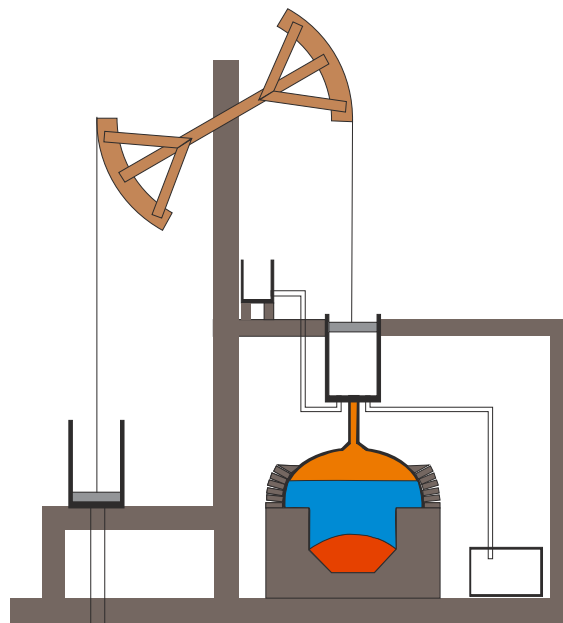


Abb. xx: Dampfmaschine von Thomas Newcomen (1663 - 1729): 1. Takt: heißer Dampf strömt vom Kessel in den Zylinder und hebt den Kolben an. 2. Takt: kaltes Wasser wird in den Zylinder gespritzt, der Wasserdampf kondensiert, es entsteht ein Teilvakuum im Zylinder. 3. Takt: (Arbeitstakt) der Kolben wird durch den äußeren Luftdruck nach unten bewegt, das Kühlwasser fließt aus dem Zylinder ab. Über den Balancier (großer Querbalken) wird auf der linken Seite eine Wasserpumpe betrieben. Außerdem werden durch ihn die Ventile gesteuert.

2.3 Das Zeitalter der Aufklärung (17. und 18. Jahrhundert)

Mehr als in den vorangegangenen Zeiten suchte man ab dem 18. Jahrhundert eine Durchdringung grundsätzlicher Fragen mit den **Mitteln des Verstandes**. Dies schloss religiöse Fragen ebenso ein wie technische Sachverhalte. Ein empiristischer Rationalismus war das vorherrschende Zeichen der Zeit, wenngleich die Ausprägung in den einzelnen europäischen Ländern doch recht unterschiedlich blieb. Die Auffassung, **Glück und Tugend** seien in gewisser Weise davon **abhängig**, wie sehr der Mensch mit dem in Berührung gelangt, was die **Wissenschaften** zutage förderten, führten auch zu einer Aufnahme der Naturwissenschaften und der Technik in die allgemeine Bildung.

Technik als Wissenschaft

Gespeist aus den Erkenntnissen von Mathematik, Mechanik, Wärmelehre und Chemie kam es nun zu einer auf systematischen wissenschaftlichen Erkenntnissen bauenden Technik (vgl. Klemm 1989, S. 122 f.). Mehr noch als in der Renaissance oder im Barock trug dies zu einer Dokumentation naturwissenschaftlicher oder handwerklich-technischer Sachverhalte in Buchform bei. Herausragendes Beispiel ist hier etwa das „**Theatrum machinarum**“ von Jakob Leupold (ab 1724), der in neun Bänden das Wissen über Apparatebau und Maschinentechnik zusammentrug. Vor allem aber die auf Initiative von D. Diderot und J. Le Rond d'Alemberts entstandenes eines der bedeutendsten Werke dieser Zeit, die **Enzyklopädie der Aufklärung**. Die Beschäftigung mit ökonomischen aber auch gewerblichen und technischen Aspekten wurde als Teil der Kameralwissenschaften in den Rang eines wissenschaftlichen Hochschulfaches erhoben. 1774/75 entstand in Paris die École Polytechnique, in Karlsruhe wurde 1825 die erste deutsche **polytechnische Schule** gegründet.

Während das wirtschaftliche Verhältnis der europäischen Staaten untereinander immer noch durch den Merkantilismus geprägt war, erhoben sich nun aus dem Kreis der französischen Enzyklopädisten genauso wie in England Stimmen, die einer durch Wettbewerb und freien Austausch der Güter gekennzeichneten Wirtschaft das Wort redeten. Ein eindrucksvolles Zeugnis dieser liberalistischen Grundeinstellung legte Adam Smith 1776 mit seinem Werk über den Reichtum der Nationen vor.

Angeführt wurde die allgemeine technische Entwicklung von England, das mit den Einnahmen aus den Kolonien, eigenen Bodenschätzen sowie einem puritanistisch geprägtem Unternehmertum einige vorteilhafte Ausgangspositionen aufzuweisen hatte.

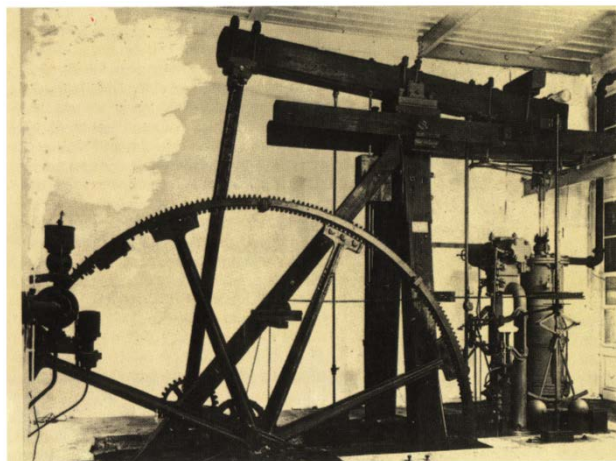


Abb. xx: Dampfmaschine von James Watt (Bildarchiv, preußischer Kulturbesitz, Berlin)

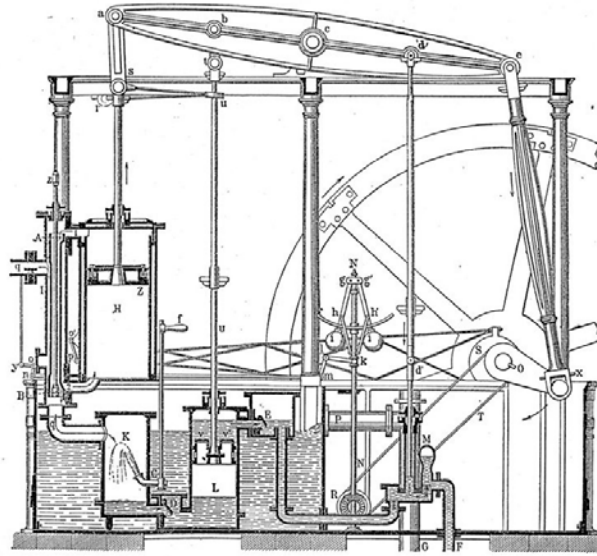


Abb. xx: Schnitt durch die Dampfmaschine von James Watt (Quelle: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/0/07/Dampfma_gr.jpg)

James Watt revolutionierte hier die Dampfmaschine, indem er die Kraftwirkung nicht mehr dem äußeren Luftdruck, sondern dem Dampf selbst überließ. Auch in anderen europäischen Ländern führten die vielfältigen Anwendungen der von James Watt verbesserten Dampfmaschine ab 1776 zu Veränderungen, etwa im Bergbau oder auch in der Textiltechnik. Durch bahnbrechende Neuerungen im Bereich der **Eisenverhüttung** und **Metallbearbeitung** kam es zudem zu einer Umgestaltung der Herstellungsprozesse in den Manufakturen, die man nun auch „Fabriquen“ nannte. Zeitgleich machte der Transport von Kohle, Stahl und anderer Erzeugnisse den **Ausbau von Verkehrswegen** und Beförderungsmitteln notwendig.

2.4 Die Zeit der Industrialisierung (ab 1750)

Die während der Zeit der Aufklärung angestoßenen produktiven schöpferischen Kräfte gewinnen ab dem Beginn des 19. Jahrhunderts eine rasante Eigendynamik. Die damit verbundenen tief greifenden Veränderungen führen zu einem gewaltigen Fortschritt in Wissenschaft und Industrie, bringen aber auch **soziale Probleme** mit sich. Besonders das **Bürgertum** als Träger neuer Produktionsweisen kann seine in Folge der französischen Revolution schon einmal zu Geltung gebrachten Rechte konstituo-

nell absichern. Erleichtert wird dies u.a. durch die Intention vieler Staaten, private wirtschaftliche Aktivitäten zu fördern.

Politische und gesellschaftliche Veränderungen

Mit der sogenannten **Bauernbefreiung** und der Aufhebung des **Zunftzwanges** kommt es zu tief greifenden wirtschaftlichen und sozialen Umwälzungen. Nicht alle sind jedoch ausreichend auf die gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Veränderungen vorbereitet. Für viele der ehemaligen Knechte, Mägde oder Handwerksgesellen wird die Beseitigung ständisch bedingter (Zunft)schranken nicht zur erhofften Initialzündung für ein autonomes Leben in Wohlstand, sondern führt zur Verelendung. Es setzt eine Wanderungsbewegung in die neu entstehenden industriellen Zentren ein, wo sich viele ehemalige Bauern als **Lohnarbeiter** verdingen und in prekären Verhältnissen leben.

Andererseits war man sich bewusst, dass die Durchsetzung neuerer Produktionsweisen letztlich nur dann gelingen kann, wenn die dafür erforderlichen ökonomischen und technischen Grundlagen einer breiteren Bevölkerungsschicht zugänglich gemacht werden. So kam es zu Veränderungen im Bildungssystem. Diese führten in Preußen 1917 zur Gründung **gewerblicher Schulen** sowie 1825 in Karlsruhe und 1827 in München zu **polytechnischen Schulen**.

Technische Neuerungen

Buchstäblicher Motor der technischen Entwicklung war natürlich die **Dampfmaschine**, die Zug um Zug die Kraftwirkung von Mensch, Wasser oder auch Wind ersetzte und damit **Mechanisierung der Produktion und Industrialisierung** überhaupt erst möglich machte. 1824 lieferte Sadi Carnot mit seinen Überlegungen eines Kreisprozesses die physikalischen Grundlagen für die Optimierung von Wärmekraftmaschinen, in denen Wärmeenergie in kinetische Energie umgewandelt wird.

Ohne bahnbrechende Neuerungen bei den **Werkzeugmaschinen** wäre der Fortschritt in der Technik jedoch nicht möglich gewesen. Stellvertretend sei hier deshalb auf die erste ganz aus Eisen bestehende Drehmaschine verwiesen, die 1800 von Henry Maudslay geschaffen wurde. Die mit der industriellen Produktionsweise verbundenen logistischen Erfordernisse von Beschaffung und Absatz, beispielsweise in der Textiltechnik, führten zu einem **Aufschwung in der Verkehrstechnik**, vorrangig bei der Dampfschiffahrt und der Dampfeisenbahn.

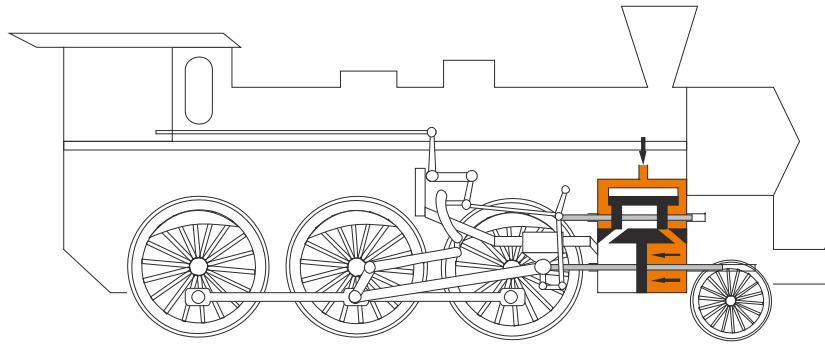


Abb.xx: Funktionsweise einer Dampflokomotive

Das Aufkommen der Eisenbahn – nach verschiedenen, vorher betriebenen Entwicklungen fuhr 1825 die von Stephenson gebaute Lokomotive "Nr. 1" – belebte zudem die Weiterentwicklung der Straßenfahrzeuge.

Der „Betriebsstoff“ der Industrialisierung war die **Kohle**, die nach und nach neben der Erzeugung von Dampf über die Vergasung auch zur Wärmeerzeugung und zur Beleuchtung eingesetzt wurde.

War die Dampfmaschine aufgrund ihrer Größe und der Kosten dem industriellen Sektor vorbehalten, so konnte der von Otto 1876 vorgestellte und in der Folge von Daimler und Maybach weiterentwickelte leichte und schnelllaufende **Vier-Takt-Motor** (1883) auch die Mechanisierung der kleineren Handwerksbetriebe befördern.

Der rasante Ausbau der Maschinentechnik und des Feingerätebaus, besonders ab der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, belebte die naturwissenschaftliche Forschung, die jetzt auf eine Vielzahl von Apparaturen und Messinstrumente zurückgreifen konnte. Rasanten Aufschwung nahm im 19. Jahrhundert zudem die Entwicklung **elektrotechnischer Geräte und Anlagen**. Nach verschiedenen Vorarbeiten stellte F.B. Morse 1843 einen brauchbaren Schreibtelegraphen vor. Etwa zur selben Zeit begannen erste Versuche der Sprachübertragung über die Umwandlung von akustischen Signalen in elektrische und zurück.

M.H. von Jakobi konstruierte 1834 einen Elektromotor, Werner von Siemens setzte 1879 die erste elektrische Lokomotive in Betrieb und Th. A. Edison errichtete 1882 in New York das erste elektrische Kraftwerk der Welt (Klemm 1989, S. 173 ff.).

Der zunehmende Hunger nach elektrischer Energie beeinflusste die Entwicklung der **Wasserturbinen** und von dort ausgehend die Entwicklung von Dampfturbinen. Setzte man bei den Dampfmaschinen mit ihren sich auf- und abwärts bewegendenden Kolben noch direkt auf den Dampfdruck, so wird bei den Dampfturbinen die potentielle Energie des Druckes in kinetische Energie des strömenden Wasserdampfes und in die Drehbewegung der Turbinenräder umgewandelt. Dies führt zu Rotationsbewegungen mit hohen Drehzahlen, ideal also für die Koppelung mit einem Generator. Zahlreiche Ingenieure waren in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts an der Entwicklung der Dampfturbine beteiligt. Zu erwähnen sind vor allem der Engländer Charles Parsons, der Schwede Carl Gustav Laval und der Amerikaner Charles Curtis.

Ebenfalls ab der zweiten Hälfte des Jahrhunderts artikulieren sich aber auch mehr und mehr Stimmen, die ihr Unbehagen über einen allzu ungestümen Fortschrittsglaubens und die Folgen eines

praktisch umgesetzten Liberalismus mit seinen sozialen Auswirkungen zum Ausdruck bringen. Unerträgliche Arbeits- und Wohnverhältnisse, Kinderarbeit, schlechte Löhne und unzureichende Absicherung im Krankheitsfall waren die Kehrseite des rasanten Aufschwungs. Sie wurden – begleitet von sozialen Konflikten – nur zögernd korrigiert.

2.5 Globalisierung der Technik

Das was gemeinhin als "Industrielle Revolution" bezeichnet wird, muss in den einzelnen europäischen Ländern eher als ein über lange Jahre sich hinziehender Prozess, denn als jähes Ereignis betrachtet werden. Wählt man den von Walt Whitman Rostow (1960) als Indikator für wirtschaftliche Entwicklung gewählten Anstieg der Investitionsrate als Anhaltspunkt, zeigt sich, dass die Industrialisierung in England bereits ab 1750, in den USA etwa ab 1835, in Deutschland etwa erst ab 1840, in Japan ab 1878 und in Russland erst ab 1890 bemerkbar einsetzt.

Während sich besonders ab der Renaissance die technische Geschichte als rein europäische Angelegenheit ausnimmt, führen weltpolitische und ökonomische Faktoren dazu, dass die Technik mehr und mehr auch in anderen Ländern als Motor gesellschaftlicher und machtpolitischer Entwicklungen gesehen und dementsprechend gefördert wird.

Ab der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts betreten die Vereinigten Staaten von Amerika die ökonomische Weltbühne. Der wirtschaftliche Aufschwung der USA geht einher mit beeindruckendem technischen Erfindergeist und arbeitsorganisatorischen Neuerungen. Zu nennen sind hier etwa die **Massenfabrikation** auf der Grundlage eines von Eli Whitney seit 1801 für die Produktion von Waffen entwickelten Austauschbaus¹, die **Fließbandfertigung** oder die **Durchorganisation der Arbeitsprozesse** durch Zeit und Bewegungsstudien nach Frederick Winslow Taylor (1856–1915).

¹ Austauschbau ist das Prinzip, bei der Fertigung verschiedener Güter auf standardisierte Teile zurückzugreifen. Dies setzt ein System allgemein anerkannter Toleranzen und Passungen sowie Normteile voraus. Der Austauschbau ist die Grundlage für Arbeitsteilung und Spezialisierung und damit für eine effiziente Produktion größerer Stückzahlen von komplexen Maschinen, Geräten oder Fahrzeugen.

2.6 Das 20. Jahrhundert - Dominanz der Technik

Nie zuvor in der Geschichte der Menschheit hat es ein Jahrhundert gegeben, in dem der wissenschaftlich-technische Aufschwung mit solcher Dynamik erfolgte. Es entsteht Technik, die unser Leben bis heute prägt.

Verkehrs- und Luftfahrttechnik

Die von Gottlieb Daimler/Wilhelm Maybach und Carl Benz unabhängig voneinander 1885 präsentierten **Motorfahrzeuge** sowie der von R. Diesel vorgestellte **Selbstzündermotor** (1893/97) revolutionierten die Möglichkeiten der Fortbewegung über ihren breiten Einsatz in Straßen- und Luftfahrzeugen.



Abb. xx: Motorkutsche von Daimler



Abb. xx: Motorwagen von Benz

Als weitere Kraftmaschinen wurde die dem Kolbenbetrieb überlegenere **Dampfturbine** sowie – allerdings erst im 20. Jahrhundert – die **Gasturbine** vorgestellt. Auch die Luftfahrt nimmt Anfang des 20. Jahrhunderts ausgehend von den Flügen der Gebrüder Wright (1903) eine rasante Entwicklung. Befördert durch technische Innovationen, die vor allem während der zwei Weltkriege mit dem Ziel erfolgten, Waffen mit hoher Vernichtungswirkung herzustellen, führt die Luftfahrt den Menschen 1939 mit dem ersten **Düsenflugzeug** nahe an die Schallgrenze. Mit Erweiterung der Luft- zur Raumfahrt eröffnet sich dem Menschen eine neue Wirkosphäre: Am 12. April 1961 umkreist Juri Gagarin mit einer Raumkapsel als erster Mensch die Erde. Schon ab 1957 war es möglich, **Satelliten** mit Raketen in Umlaufbahnen um die Erde zu bringen. Am 20. Juli 1969 gelang die erste **Mondlandung** im Rahmen des amerikanischen Apollo-Programms.

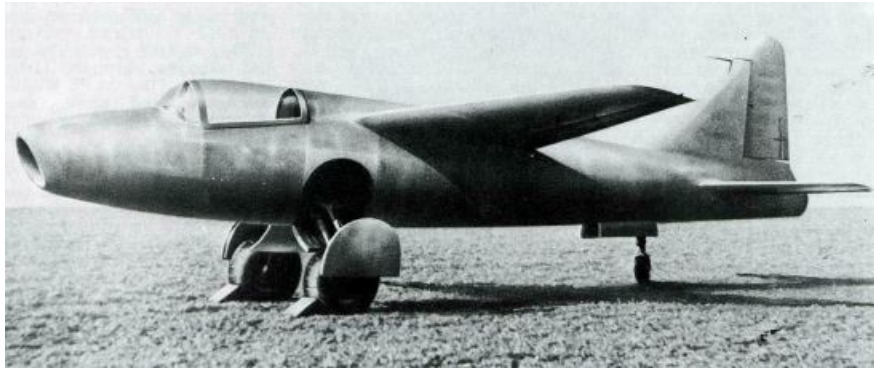


Abb. xx: Heinkel He 178, erstes durch einen Turbinenluftstrahl angetriebenes Flugzeug 1939

Nachrichten- und Kommunikationstechnik

Das 20. Jahrhundert ist auch das Jahrhundert der Nachrichten- und Kommunikationstechnik. Nach der **Entdeckung elektromagnetischer Wellen** durch H. Hertz 1888 reiht sich Entwicklung an Entwicklung: Marconi gelingt es 1897 erstmalig, Zeichen über eine längere Strecke funktelegrafisch zu übermitteln. Mit der Erfindung der **Verstärkerröhre** 1906 verbreitete sich die Funktechnik rasch. In den zwanziger Jahren wurde bereits der **Rundfunk** eingeführt. *„Die hochentwickelten Geräte des Rundfunks, des Fernsehens und der Flugfunk- und Fernlenktechnik zeigen uns eine neue Sphäre der modernen technischen Welt, eine apparative elektro-dynamische Technik. Hier geht es nicht um greifbare Bewegungsmechanismen, wie in der Maschinenteknik, nicht um statische Konstruktionen, wie in der Bautechnik, nicht um den Aufbau von Stoffen, wie in der chemischen Technik. Hier sind vielmehr Felder, elektromagnetische Wellen, Schwingungskreise, Elektronenströme und Strahlen, sowie Halbleiter und hochevakuierte Räume das Wesentliche.“* (Klemm 1989, S. 181)

Die Maschinen- oder Produktionstechnik macht technische Veränderungen in vielen anderen Bereichen möglich: In der Fotografie, der Drucktechnik, der Chemie- und der Energietechnik. Letztere weckt durch die Atomspaltung erstmals in der Geschichte der Menschheit Hoffnungen auf leicht verfügbare und billige Energie. Das erste Kernenergie-Kraftwerk wurde 1956 in England in Betrieb genommen.

2.7 Das digitale Zeitalter

Der Wunsch, zeitraubende Berechnungen zu automatisieren, bestand wohl schon seitdem Menschen ihre Handlungen und ihre Umwelt über Einheiten und Verrechnungsgrößen erfassten. Apparate wie die Rechenmaschine von Wilhelm Schickard aus dem Jahr 1623 oder die von Leibnitz ab 1670 sind rein mechanischer Natur und konnten für die Addition oder Multiplikation verwendet werden. Im 20. Jahrhundert kommt es zu einem rasanten Fortschritt bei den Rechenmaschinen.

Entwicklung der Computertechnik

In der Mitte des 20. Jahrhunderts standen mit der von Konrad Zuse entwickelten Z1 und Z2 ebenfalls **mechanische**, mit der Z3 dann auch eine **programmgesteuerte Rechenmaschine** bereit. Die Programme wurden auf **Lochkarten** gespeichert. Zur gleichen Zeit wurden auch in den USA Rechenmaschinen entwickelt, die bereits elektronische Bauteile (Relais) für die Rechenoperationen einsetzten. Die Einführung **elektronischer Rechenmaschinen**² mit Röhren, die die Relais ersetzten, führten zu einer erhöhten Rechengeschwindigkeit.

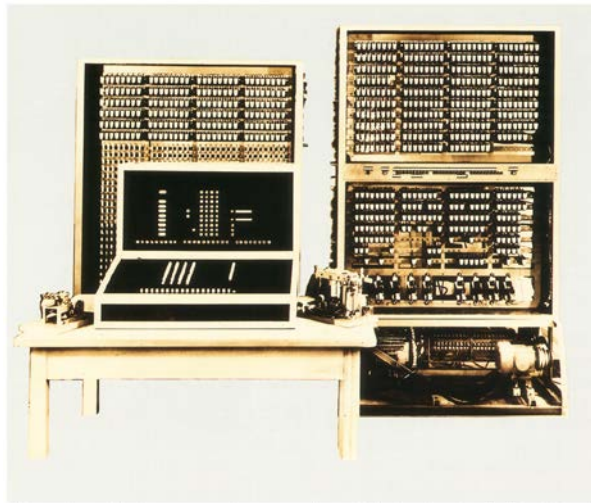


Abb. xx: Rekonstruktion der Z3 von Konrad Zuse. Vorne die Konsole, daneben der Lochstreifenfühler, dahinter der Relaispeicher und das Rechenwerk (Quelle IBM Deutschland, Computertechnologie Textbuch)

Waren mit den ersten auf Elektronenröhren basierenden Rechnern (ab 1946) bereits umfangreiche Berechnungen in hoher Geschwindigkeit möglich, stellten der **Austausch der Röhren durch Transistoren** seit 1959, sowie die Integration von Widerständen, Kondensatoren und Dioden zu Schaltkreisen und die Verwendung von **Mikroprozessoren** und **Speicherchips** (seit 1968/71) eine Revolution in der Technik dar. Schrittweise finden jetzt **programmgesteuerte Recheneinheiten** Eingang in die verschiedensten Technikanwendungen und nehmen dem Menschen **Steuerungs- und Überwachungsaufgaben** ab. Dies macht in den Fabriken eine zunehmende **Automatisierung** möglich, führt aber auch im Privatbereich zu einer Fülle von Anwendungen.

Neben der Automatisierung gewinnt die Informations- und Kommunikationstechnik nicht nur in der Welt der Arbeit eine beherrschende Stellung. Die Entwicklung wird durch erste handliche **Personal Computer** wie den Altair (1975), einen Computerbausatz oder den Apple 1 (1976) eingeleitet.

² Es wird hier ganz bewusst der Begriff Rechner verwendet. Als Computer bezeichnete man in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts im englischen Sprachraum Menschen, die mit einem Rechenhilfsmittel, etwa einer Rechenmaschine, Rechen- oder Logarithmentafeln, Papier und Bleistift, für andere oder sich selbst Berechnungen ausführten.



Abb. xx: Der Apple I, von Steve Wozniak 1976 ursprünglich nur für den Privatgebrauch gebaut worden (Quelle BR alpha: <http://www.br-online.de/wissen-bildung/thema/geschichte-computer/teil6.xml>)

Nach der Präsentation des von Steve Jobs und Steve Wozniak 1977 entwickelten Apple II und anderer Kleincomputer, kommt 1981 der erste **Personal Computer (PC)** von IBM auf den Markt. Der Siegeszug der PCs auch für den privaten Gebrauch beginnt mit Betriebssystemen, die wie das 1985 erscheinende Betriebssystem Windows, die Handhabung des Rechners vereinfachen und es jedem ermöglichen, digitale Inhalte zu erstellen. Die Betonung liegt – darauf weist Thomas L. Friedmann (2005, S. 55) hin – auf digital: *„To be sure, men and women have long been authoring their own content, beginning with drawings on cave walls up through Gutenberg and the typewriter. But the Windows-enabled PCs and Apples made it possible for individuals to author their own content right from the desktops in digital form. And those last three words are critical. Because once people could author their own content right from their desktops in digital form – in the form of computer bits and bytes – they could manipulate it on computer screens I ways that made individuals so much more productive. And with the steady advances in telecommunications, they would soon be able to disseminate their own digital content in so many new ways to so many more people.”*

Internet

Bereits 1982 geht das weltweite Internet in Betrieb, es löst das frühere Arpa-Net ab und arbeitet mit einem einheitlichen Übertragungsprotokoll (TCP/IP-Protokoll). Gleichzeitig werden verbesserte Modems für den Datenaustausch zwischen verschiedenen Rechnern entwickelt. 1992 erstellen Mitarbeiter des europäischen Kernforschungszentrums CERN auf Basis des Internet das heutige World Wide Web (WWW) mit HTTP-Servern und grafisch gestalteten HTML-Seiten. Für den Austausch digitaler Inhalte kommen weitere entscheidende Impulse aus der Netz- und Übertragungstechnik. Ebenfalls 1992 nehmen in Deutschland die ersten Mobilfunknetze den Betrieb auf.

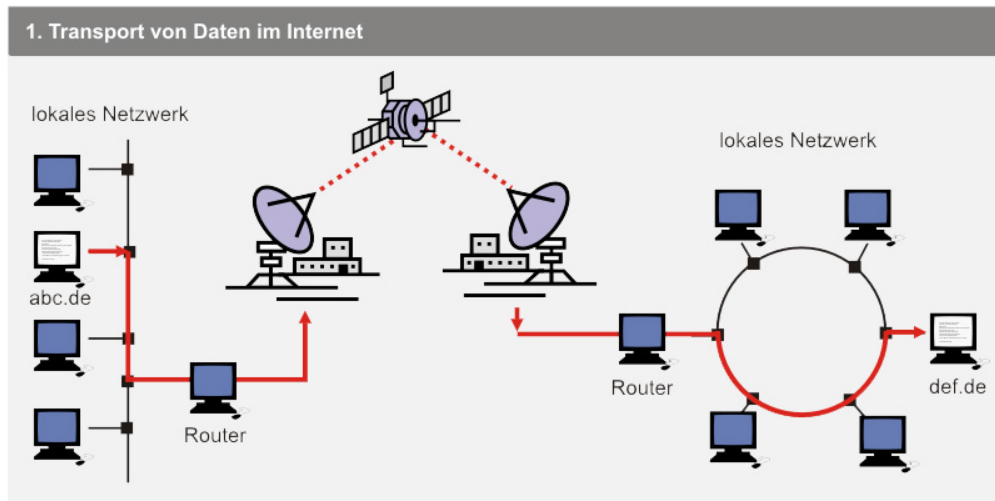


Abb. xx: Funktionsweise des Internets

Wohin treibt die technische Entwicklung?

Das Internet stellt eine technische Revolution dar, deren immense Auswirkungen sich vor 30 Jahren noch keiner ausmalen konnte. Am Anfang stand das bloße Bedürfnis, knappe Rechnerkapazitäten zu nutzen. Die Folgen dieser Revolution sind vielfältig und vor allem weltumspannend. Zukunftsforscher sprechen, wenn sie von nicht vorhersehbaren oder planbaren Ereignissen sprechen, die die Entwicklung meist in eine neue Richtung führen, von so genannten „**Wild Cards**“.

Inwieweit man beim Internet oder bei der Technik generell von solchen nicht vorhersehbaren oder planbaren Ereignissen ausgehen muss, ist umstritten. Es stellt sich die Frage, wie es grundsätzlich zur technischen Entwicklungen kommt. Man unterscheidet hier zwei Positionen: Fasst man Technik eher als autonomes, außergesellschaftliches Phänomen auf, dessen Entwicklung einer wenig vorhersehbaren Eigendynamik folgt, spricht man eher von einer **technikgetriebenen Entwicklung** oder von **Technikdeterminismus**. Rückt man die soziale Genese der Technik in den Vordergrund, begründet man die Entwicklung als Folge der Einwirkung bestimmter sozialer Akteure (**Sozialdeterminismus**). So oder so – es bleibt spannend, wie die Technik sich und uns weiterentwickelt.

3. Systematik der Technik

Wie kann man Technik systematisch erfassen? Wie kann ich mir systematisch einen Überblick über Technik verschaffen?

Inhalt

Abstract	43
3.1 Sachtechnik	46
3.1.1 Grundsätzliche Analyse technischer Systeme über den Energie-, Informations- und Stoffumsatz	47
3.1.2 Systematisierung technischer Sachsysteme entlang der Funktion und des Outputs	49
3.1.3 Analyse technischer Sachsysteme – von den Funktionen zum Bauzusammenhang	51
3.2 Technische Handlungen	57
3.2.1 Die technische Handlung – Wesen und Klassifizierung	57
3.2.3 Methodische Vorgehensweisen – die dispositiven und kreativen Aspekte technischer Handlungen	61
3.2.3 Handlungsausführung - die „äußere Seite“ technischer Handlungen	64
3.3 Übersicht – Klassifikationssystem der Technik	67

Abstract

Es gilt weiterhin und in Anbetracht des technischen Fortschritts heute noch mehr als 1979, als Günter Ropohl seine Habilitationsschrift veröffentlichte, die Feststellung, dass „der Mensch vor der Technik steht, wie der Verirrte, der vor lauter Bäumen den Wald nicht sieht“. Die „unbewältigte Technik“, für Ropohl (1979, S. 16) ist sie Ausgangspunkt für deren eigene Unvollkommenheit sowie für ressentimentgeladene oder hilflose Reaktionen gegenüber ihren Erscheinungen, Bedingungen und Folgen. Angesichts dieser Feststellung möchte man dem Lodovico Settembrini aus Thomas Manns Zauberberg zustimmen, wenn er – freilich in anderem Kontext – sagt, dass Ordnung der erste Schritt zur Beherrschung sei. Eine Ordnung in die Technik bringen, das ist die Aufgabe dieser Lerneinheit und sie bringt es mit sich, dass der Gegenstand der Betrachtung zu diesem Zweck zunächst „zerlegt“ wird und die daraus gewonnenen Elemente in eine Systematik eingeordnet werden.

Eine Systematik (auch Klassifikation) entsteht durch die Definition von Klassen (auch Konzepten oder Kategorien), denen jeweils Elemente zugeordnet werden, die vergleichbare Merkmale aufweisen. Die Klassen selbst können dabei in einem mehr oder weniger hierarchischen Verhältnis zueinander stehen. Anzumerken bleibt, dass die hier bemühten **Klassifizierungen** nicht im Dienst einer grundsätzlichen Ontologie stehen und damit den Anspruch erheben, Technik in jeder Hinsicht allgemeingültig zu erfassen. Ein solches Unterfangen bliebe angesichts des Variationsreichtums technischer Hervorbringungen problematisch.

Auf der Suche nach Ordnung und Systematik in der Technik wenden wir uns zunächst der **Sachtechnik** zu und anschließend den technischen Handlungen.

Als Grundlage zur Betrachtung der „materiellen“ Technik führen wir den Begriff des **Systems** ein. Er erlaubt eine Unterscheidung technischer Systeme nach ihrer vorherrschenden Funktion (**Energie-, Stoff- oder Informationsumsatz**). Mit Hilfe der Systembetrachtung lassen sich zudem die stofflichen, energetischen oder informationellen Bezüge technischer Systeme untereinander analysieren. Indem man die in ein System eingeleiteten **Inputs** und die daraus resultierenden **Outputs** näher spezifiziert, kann das gesamte System charakterisiert werden. Wenngleich die für die Beschreibung der In- und Outputs bemühten Kategorien Energie, Stoff und Information physikalisch nicht unbedingt zu trennen sind, so erlaubt die getrennte Betrachtung doch Aussagen darüber, zu welcher Kategorie sich das jeweilige Gebilde hinwendet. Je nach dem kann ein solches System dann eher dem Energie-, Stoff- oder Informationsumsatz zugerechnet werden.

Geräte, Maschinen oder andere technische Gebilde bleiben jedoch selten auf eine Funktion beschränkt, vielmehr setzen sie sich aus einer **Vielzahl von Teilsystemen** mit jeweils verschiedenen **Funktionen** zusammen. Die funktionellen Beziehungen zwischen den Teilsystemen sind nicht durchweg sequentiell, sondern folgen auch hierarchischen Abhängigkeiten.

Dass für die Umsetzung der Funktionen **Naturgesetze** zum Tragen kommen, versteht sich von selbst und macht es eigentlich auch notwendig, Technik daraufhin zu systematisieren. Da den naturwissenschaftlichen Grundlagen der Technik aber in den folgenden Kapiteln ausreichend Raum eingeräumt wird, sollen sie hier nicht näher behandelt werden. Festzuhalten bleibt, dass die Anwendung **naturwissenschaftlicher Prinzipien** und Gesetze dadurch, dass sie einen bestimmten **Wirkort** und eine bestimmte **Wirkrichtung** einfordern, letztlich die materielle und morphologische Gestaltung des technischen Systems bestimmen. Die **Funktionsstruktur** definiert damit auch den **Bauzusammenhang** bzw. die **Baustruktur** technischer Systeme. Da in der Technik immer wieder gleichartige Anforderungen und Funktionen zu erfüllen sind, existiert eine Vielzahl von Teilen, die sich ausgehend von einzelnen **Elementen** zu **Baugruppen** und wiederum ganzen **Systemen** kombinieren lassen.

Bereits die Systematisierung der dinglichen Seite der Technik im Hinblick auf Funktion und Struktur identifiziert Technik als stoffgewordene Realisierung menschlicher Erkenntnisse durch spezifische Handlungen. Daher wollen wir uns nach der Betrachtung des technischen Systems den technischen Handlungen widmen. Einschränkend sei angemerkt, dass in unseren Ausführungen nur individuelle Handlungen Beachtung finden werden, wohl wissend, dass gesellschaftliche Handlungszusammenhänge – man kann hier auch von übergeordneten Handlungssystemen sprechen – einen starken Einfluss auf die Technik besitzen.

Technisches Handeln ist stets produktorientiert. Der **Produktlebenszyklus** mit seinen Phasen bietet daher eine erste Systematisierung technischer Handlungen. Eine weitere Analyse erlaubt die **Handlungsregulationstheorie**: Sie beschreibt Handlungen als **Abfolge hierarchisch miteinander in Beziehung stehender Ziele**, die der eigentlichen Tätigkeit teilweise zumindest gedanklich vorausgehen und für deren Umsetzung unterschiedliche **psychoregulative Vorgänge** notwendig sind. Diese psychoregulativen Prozesse spannen ein Feld zur Einordnung und Bewertung von Handlungen auf, dass von reinen Denkakten bis hin zur konkreten Tätigkeitsausführung reicht.

Man kann **Handlungen** demnach rein analytisch eine eher **innere** und eine eher **äußere Seite** zuschreiben. Wenngleich beide Seiten nur analytisch voneinander zu trennen sind, sollen sozusagen auf der „inneren Seite“ Denkvorgänge, die den kreativen und dispositiven, prozeduralen Aspekt der Handlung berühren (wir nennen sie hier **methodische Vorgehensweisen** in der Technik) näher betrachtet werden. Dann erst soll ein Blick auf die „äußere Seite“ der **Handlungsausführung** geworfen werden; auf jene Seite, die augenscheinlich Technik verwendet oder herstellt.

Als innere Seite technischer Handlungen können **antizipierende, realisierende, vereinfachende/ systematisierende und analysierende Methoden** definiert werden, die etwa bei der Konstruktion, aber auch bei der Fertigung oder Instandhaltung technischer Systeme zum Einsatz kommen.

Das um den Faktor Mensch ergänzte Sachsystem (soziotechnisches System) ist Ausgangspunkt für die Analyse der äußeren Seite technischer Handlungen. Ausgehend von bestimmten **Arbeitsaufgaben** agieren Menschen mit spezifischen **Arbeitsmitteln** und **Arbeitsgegenständen**. Welche Aufgaben dabei zu erledigen sind, ist wiederum vom jeweiligen technischen System abhängig. Handelt es sich um Aufgaben innerhalb der **Verfahrenstechnik**, sind die technischen Handlungen an den **Stoffwandlungsverfahren** orientiert, berühren die Aufgaben dagegen die **Fertigungstechnik**, lassen sie sich entlang der **Gestaltungsverfahren** charakterisieren.

Schlüsselwörter	
Sachsysteme	Technische Problemtypen: Entscheidungen, Störungsbeseitigung, Techniknutzung, Technikbewertung, Konstruktion
Technische Gebilde, Artefakt, technisches System	Handlungsregulationstheorie: Psychische Regulationen steuern äußere Tätigkeitsabläufe
Systemhierarchie	Handeln als hierarchisch-sequentielle Abfolge von Zielen und Teilzielen
Teil- bzw. Subsysteme	„Innere Seite“ von Handlungen
Funktionen: Energie-, Informations- und Stoffumsatz	Methodische Vorgehensweisen: Algorithmisch oder heuristisch
Ein- und Ausgangsgrößen	Antizipierende, realisierende, vereinfachende/ systematisierende und analysierende Methoden
Wandlung, den Transport und die Speicherung von Information, Stoff oder Energie	„Äußere Seite“ von Handlungen
Haupt- und Teilfunktionen	Soziotechnisches System
Elementare Funktionen	Arbeitssystem: Arbeitsaufgabe, Mensch, Arbeitsmittel und Arbeitsgegenstand, Umgebungseinflüsse
Wirkprinzip, Wirkort, Wirkrichtung, Wirkstruktur	
Baustruktur: Form, Größe, Art, Anordnung der Materialien	
Baueinheiten: Element, Gruppe, Einrichtung, System	

Technische Handlungen Handlung: Einheit von Wahrnehmung, Denken und zielgerichtetem Tun Produktlebenszyklus als Möglichkeit der Systematisierung technischer Handlungen Technische Methoden als spezielle Ablauf- und Organisationsschemata Grundsätzliche Richtungen technischer Handlungen: instrumentell-motorisch oder dispositiv-kreativ	Technische Handlungen im Bereich der Verfahrenstechnik, orientiert an den Stoffwandlungsverfahren Technische Handlungen im Bereich der Fertigungstechnik, orientiert an den Gestaltgebungsverfahren
--	---

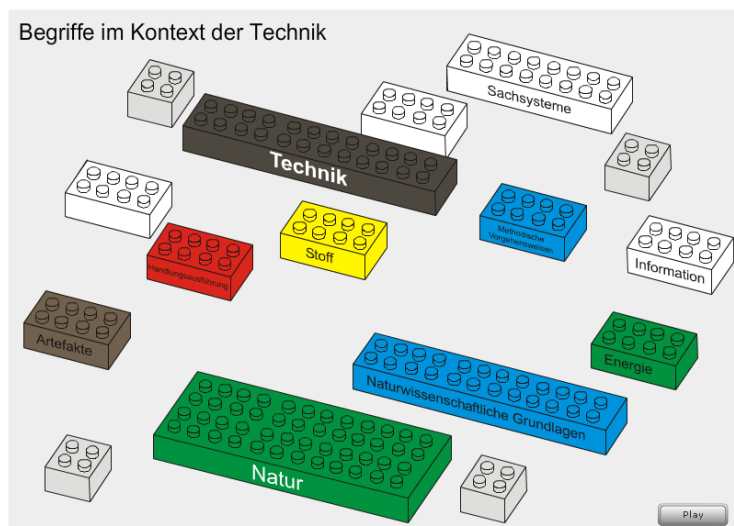


Abb. xx: Begriffe im Kontext der Technik

3.1 Sachtechnik

Nachfolgend sollen die Grundlagen für eine eingehendere Analyse der Technik gelegt werden. Der Blick richtet sich zunächst auf die Sachtechnik und beginnt mit der Bezeichnung des Betrachtungsgegenstandes.

Gebilde – Artefakt – System

In den meisten Fällen stehen bei Betrachtungen über Technik Werkzeuge, Geräte, Maschinen oder Automaten im Mittelpunkt. Die Rede ist auch von technischen Anlagen, Apparaten, Baugruppen, Maschinenelementen oder speziellen Einzelteilen. Die unterschiedliche Benennung der **technischen Gebilde** resultiert aus ihrer geschichtlichen Entwicklung und dem jeweiligen Verwendungsbereich

und macht deutlich, dass es offensichtlich an einem Begriff mangelt, dem alle technischen Gebilde gleichermaßen zugerechnet werden können. Wie Ropohl (1994 S. 12 ff.) am Beispiel „Maschine“ aufzeigt, sind die einzelnen Begriffe jeweils nur für bestimmte Klassen technischer Gebilde anwendbar. Einen Ausweg bietet in diesem Zusammenhang das Wort **Artefakt**, das ja ein durch menschliche oder technische Einwirkung entstandenes Produkt bezeichnet und damit diese von den natürlichen Dingen abgrenzt. Allerdings ist auch hier das Adjektiv technisch davor zu setzen, da Artefakte natürlich auch alle Arten von Kunstwerken einschließen.

Als integrierender Begriff von größerer Reichweite als der des Artefakts erweist sich der in verschiedenen Bereichen sowie in den Technikwissenschaften gebräuchliche Systembegriff (Ropohl 1979, Hupka 1984, Pahl & Beitz 2003). Günter Ropohl (1979) fügt dem Systembegriff noch das Wort Sache an, um zu verdeutlichen, dass es sich hier um von Menschen gemachte Systeme handelt. Die Betrachtung technischer Gebilde als System erleichtert ihre Analyse.

Die dem Systembegriff zugrunde liegende Systemtheorie geht davon aus, dass jedes System eine **Umgebung** besitzt und sich in eine **Systemhierarchie** einordnen lässt. Ein komplexes technisches System (auch Supersystem) besteht demnach aus einer Vielzahl von **Teilsystemen**, die sich ggf. wiederum in **Subsysteme** unterteilen lassen. Die Teil- oder Subsysteme lassen sich durch Systemgrenzen voneinander abgrenzen. **Ein-** und **Ausgangsgrößen** überschreiten diese Systemgrenzen. Jedes System besitzt eine bestimmte Funktion und auch eine bestimmte Struktur. Betrachten wir zunächst, wie sich die Funktion eines technischen Systems grundsätzlich eingrenzen lässt.

3.1.1 Grundsätzliche Analyse technischer Systeme über den Energie-, Informations- und Stoffumsatz

Eine Analyse technischer Systeme wie Anlagen, Apparate, Maschinen, Geräte, Baugruppen oder Einzelteile zeigt, dass sie immer einem **technischen Prozess** dienen, bei dem **Energiearten, Stoffe** oder **Informationen** geleitet, gespeichert und/oder verändert werden. Abstrahierend kann ein technisches System daher zunächst als **Black-Box** dargestellt werden, der Energie, Stoff und Information zugeführt werden müssen (**Input**), die andererseits aber auch wieder Energie, Stoff oder Information entlässt (**Output**). Innerhalb der Systemgrenzen findet die Verarbeitung der Eingangsgrößen Stoff, Energie und Informationen statt. Bei Veränderungen dieser Größen im Inneren des Systems spricht man dann von **Energie-, Stoff- oder Informationsumsatz**. (s. Abb. xx).

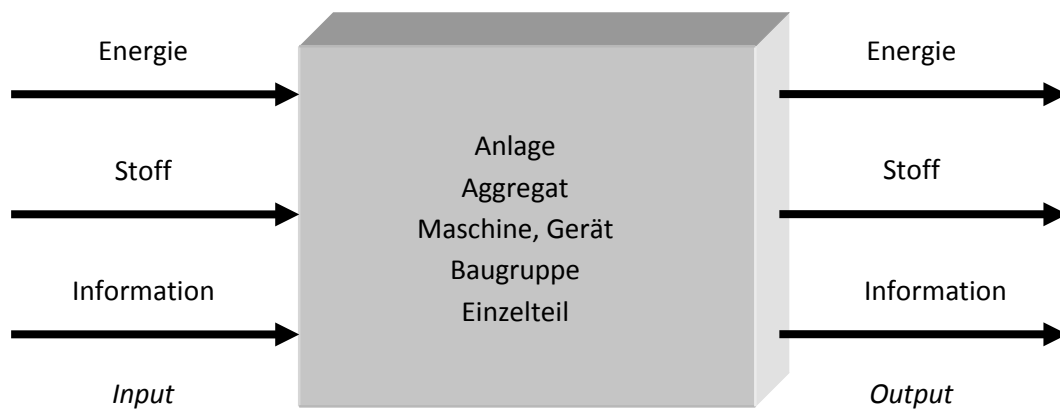


Abbildung xx: Allgemeine Black-Box-Darstellung technischer Systeme

Der „Umsatz“ der drei Faktoren soll an verschiedenen Beispielen verdeutlicht werden. Zunächst der **Energieumsatz**: In vielen technischen Systemen werden Energieformen (elektrische E., Wärmeenergie, chemische Energie) umgewandelt. Als Beispiel können der **Glühdraht in einem Fön** oder Toaster angeführt werden. Hier wird elektrische Energie in Strahlungs- und Wärmeenergie umgewandelt.

Oft findet in technischen Sachsystemen zudem ein **Umsatz von Stoffen** statt, indem sie beispielsweise gemischt, getrennt, gefärbt, beschichtet, verpackt oder transportiert werden. Bei den Stoffen kann es sich um Flüssigkeiten, Gase, Werkstoffe, feste Körper, Rohmaterial, Rohstoffe, Prüfgegenstände, Waren, Naturprodukte, oder Gegenstände aller Art handeln. Beispielsweise werden in einem **Gartenhäcksler** organische Stoffe umgeformt, nämlich zerkleinert.

Des Weiteren spielt heute der **Informationsumsatz** in technischen Sachsystemen eine große Rolle. Informationen in bearbeiteter und evtl. codierter Form bezeichnet man als Daten und weitergeleitete Daten heißen Nachrichten. Informationsumsatz umfasst demnach den Daten- oder Nachrichtenumsatz. Informationen können als stoffliches oder energetisches Ereignis auftreten. Als energetische Ereignisse mit messbaren physikalischen Größen, spricht man von Signalen. Der Informationsumsatz erfolgt dann über Eingabe, Sammlung, Aufbereitung, Weiterleitung, Vergleich, Verknüpfung, Ausgabe oder Anzeige von Signalen. Informationen lassen sich auch stofflich, beispielsweise durch die **Stellung eines Schalthebels** weitergeben oder speichern.

Technische Systeme lassen sich folglich hinsichtlich der drei grundsätzlichen Funktionen **Stoff-, Energie- oder Informationsumsatz** unterscheiden, denen allgemein Vorgänge wie die Gewinnung, Verarbeitung, Transport, Nutzung sowie die Speicherung zugerechnet werden können (s. Abb. 2). Günter Ropohl reduziert die grundsätzlichen Funktionen begrifflich auf die Wandlung, den Transport und die Speicherung von Information, Stoff oder Energie.

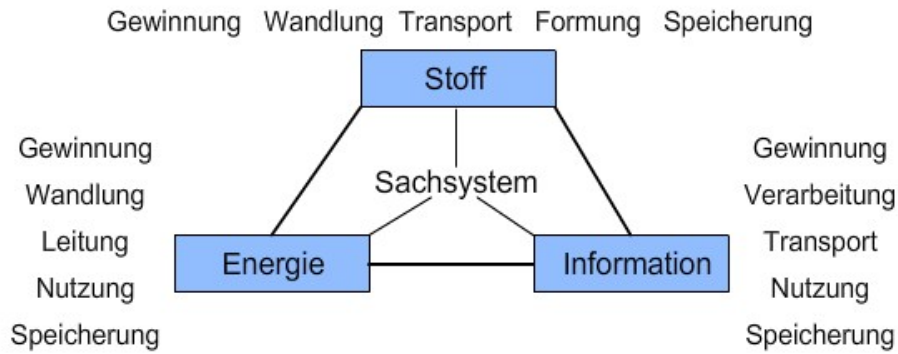


Abbildung xx: Grundsätzliche Vorgänge des Stoff-, Energie- und Informationsumsatzes technischer Systeme

Die folgende Tabelle zeigt Beispiele für Veränderungen der Größen Stoff-, Energie und Information.

Tabelle xx: Analyse technischer Systeme nach Veränderungen von Energie, Stoff, Information (vgl. Pahl & Beitz 2003, S. 40)

Umsatz von Energie	Umsatz von Stoff	Umsatz von Information
Beispiele: <i>Werkzeugmaschine:</i> Wandlung von elektrischer in mechanische und thermische Energie <i>Verbrennungsmotor:</i> Wandlung von chemischer in mechanische und thermische Energie <i>Kernkraftwerk:</i> Wandlung von Kernenergie in Thermische Energie	Beispiele: <i>Veränderungen:</i> Mischen, Trennen, Färben, Beschichten, Verpacken, Transportieren, Weiterbearbeiten von Halbzeugen zu Fertigprodukten, Veredeln	Beispiele: Informationseingabe, Informationssammlung, Informationsvergleich, Informationsaufbereitung, Informationsverknüpfung, Informationsweiterleitung, Informationsausgabe, Informationsanzeige, Informationsregistrierung

3.1.2 Systematisierung technischer Sachsysteme entlang der Funktion und des Outputs

Die Betrachtung technischer Systeme in Bezug auf den Energie-, Stoff- oder Informationsumsatz ist auch Ausgangspunkt für eine generelle Einteilung der Sachtechnik. Eine von Günter Ropohl stammende Klassifikation gliedert die Sachtechnik entlang grundsätzlicher Funktionen im Bereich des Stoff-, Energie- oder Informationsumsatzes (Wandlung, Transport, Speicherung) sowie entlang des jeweiligen Outputs dieser Sachsysteme. Dadurch ergibt sich eine Matrix, die im Anschluss dargestellt wird (s. Tabelle xx).

Tabelle xx: Klassifikation technischer Sachsysteme nach Funktion und Output (s. Ropohl, 1997, S. 255)

Funktion Output	Wandlung	Transport	Speicherung
	(Wandlungstechnik)	(Transporttechnik)	(Speicherungstechnik)
Masse (Materialtechnik)	Verfahrenstechnik Fertigungstechnik	Fördertechnik Verkehrstechnik Tiefbautechnik	Behältertechnik Lagertechnik Hochbautechnik
Energie (Energietechnik)	Energie- wandlungstechnik	Energie- übertragungstechnik	Energie- speicherungstechnik
Information (Informationstechnik)	Informations- verarbeitungstechnik Meß-, Steuer- und Regeltechnik	Informations- übertragungstechnik	Informations- speicherungstechnik

Hierarchisierung technischer Sachsysteme

Geräte, Maschinen oder andere technische Gebilde in den verschiedenen Technikbereichen setzen sich zumeist aus einer Vielzahl von Teilsystemen mit jeweils verschiedenen Funktionen zusammen. Die funktionalen Beziehungen zwischen den Teilsystemen folgen damit auch hierarchischen Abhängigkeiten. So fügen sich Subsysteme insgesamt zu größeren Systemverbünden. Die nachfolgende Abbildung zeigt eine achtstufige **Sachsystem-Hierarchie**.

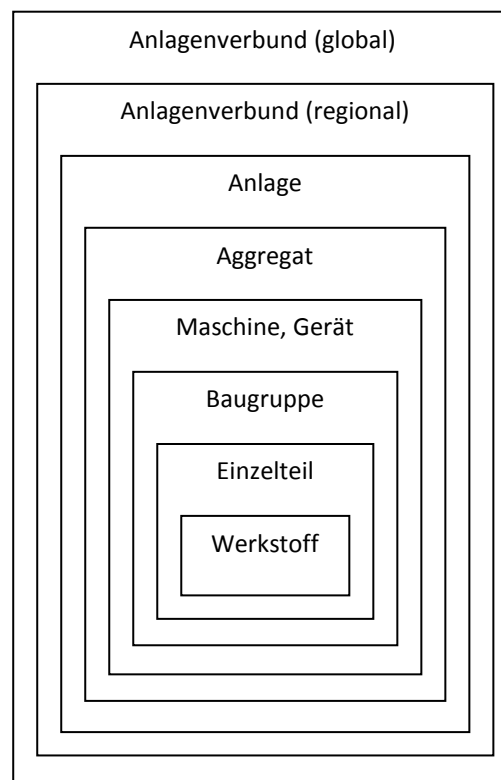


Abbildung: Achtstufige Sachsystem-Hierarchie (s. Rohpohl 1994, S. 15)

Aus Abbildung xx geht hervor, dass höherrangige Sachsysteme dadurch entstehen, dass Sachsysteme niedrigeren Ranges miteinander verknüpft werden. So stellt beispielsweise eine Kupplung eine Baugruppe als Teil einer Maschine oder eines Geräts dar und kann selbst wiederum in bestimmte Baugruppen oder Einzelteile unterteilt werden. Wie Rohpohl anmerkt, ist es wohl eine Tendenz der Technik, dass sich die Sachsystem-Hierarchie um höhere Rangstufen erweitert, wie dies etwa bei weltumspannenden Informationssystemen festzustellen ist. Will man die Hierarchien näher analysieren, muss man die funktionalen Abhängigkeiten untersuchen.

3.1.3 Analyse technischer Sachsysteme – von den Funktionen zum Bauzusammenhang

Technische Systeme erfüllen immer einen bestimmten Zweck und dienen damit einer spezifischen **(Haupt-)Funktion**. Diese Hauptfunktion setzt allerdings in den meisten Fällen ein Zusammenwirken verschiedener **Teilfunktionen** voraus. Ein Gesamtsystem kann demnach in verschiedene Teilsysteme aufgeteilt werden. Jedes Systemelement des Gesamtsystems übernimmt eine bestimmte Teilfunktion. Am Beispiel des Gesamtsystems Waschmaschine soll dies verdeutlicht werden (s. Abb. xx).

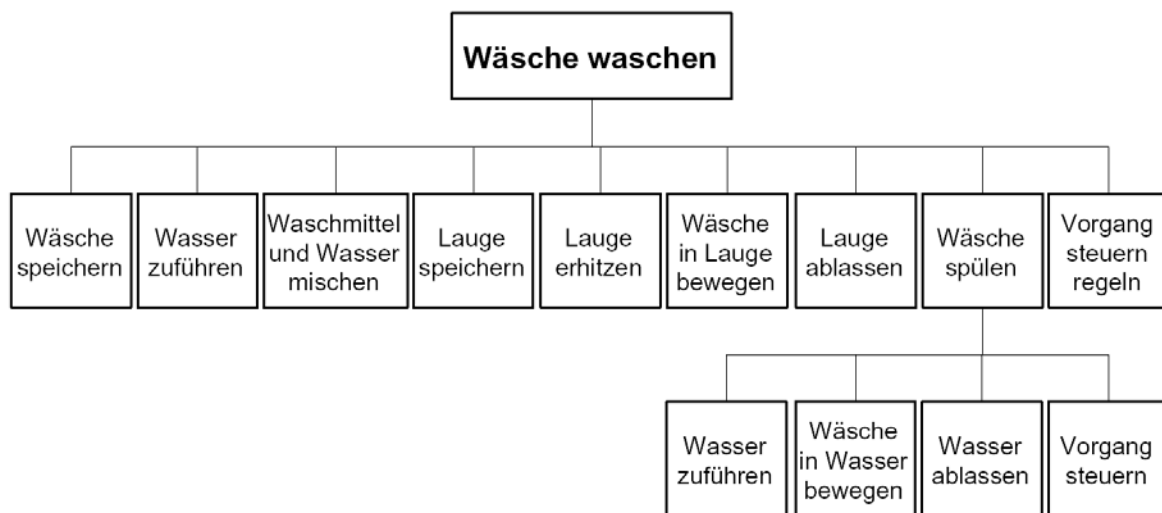


Abbildung xx: Funktionsaufgliederung für die Gesamtfunktion Wäsche waschen nach VDI 2222

Die Gesamtfunktion („Wäsche waschen“) lässt sich dabei soweit in Teilfunktionen zerlegen, bis die elementaren Hauptfunktionen eines technischen Teilsystems erreicht sind: Energie-, Stoff- und Informationsumsatz. Aus der Systemumgebung oder einem anderen Teilsystem werden dem entsprechenden, für die Funktion vorgesehenen Teilsystem dazu Inputs in Form von Energie, Stoff oder Information zugeführt, die dann evtl. in gewandelter Form, als Output dieses System wieder verlassen.

Theoretisch lassen sich die Funktionen technischer Systeme also stets so feingranular aufgliedern, bis nicht mehr aufteilbare **elementare Grundfunktionen** hinsichtlich des Stoff-, Energie- oder Informationsumsatzes erreicht sind. Solche „allgemein anwendbaren Funktionen“ können wiederum in die bereits bekannten Aspekte unterteilt werden: Wandeln, Ändern, Verknüpfen, Leiten, Speichern.

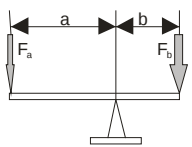
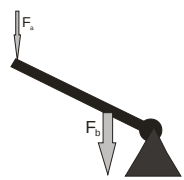
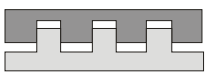
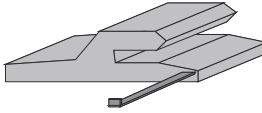
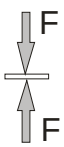
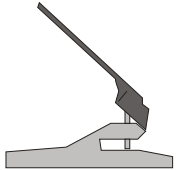
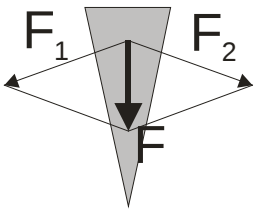
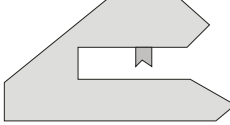
Von der Funktion zum Bauzusammenhang

Sind die Funktionen eines technischen Systems bestimmt, kann man daraus auch auf seine Baustruktur, also auf die Größe, die Form, Art und Anordnung der Materialien schließen. Das hat mit den Naturgesetzen, bzw. **Wirkprinzipien** zu tun, die für die Umsetzung einer Funktion in Betracht kommen.

Die technische Realisierung der elementaren Teilfunktionen eines technischen Systems wird stets durch physikalische, chemische oder biologische Vorgänge sichergestellt. In vielen Bereichen der Technik dominiert jedoch das physikalische Geschehen. Das Wirkprinzip einer Funktionseinheit basiert dann auf dem jeweiligen physikalischen Effekt oder Gesetz (zum Beispiel dem Reibungsgesetz). Physikalische Wirkprinzipien beanspruchen jeweils einen bestimmten Wirkort beziehungsweise eine Wirkrichtung. Die Kombination mehrerer Wirkprinzipien führt zur Wirkstruktur einer technischen Lösung. Einfacher ausgedrückt bedeutet dies, dass die für die Funktionserfüllung in Frage kommenden naturwissenschaftlichen Gesetze eine bestimmte Auswahl und Anordnung von Werkstoffen erfordern und somit die Baustruktur des (Teil-)Systems bestimmen.

Tabelle xx zeigt am Beispiel eines Handlochers den Zusammenhang zwischen Teilfunktionen, den ihnen zugrunde liegenden physikalischen Effekten sowie den sich aus den geometrischen und stofflichen Gegebenheiten abhängigen Wirkprinzipien.

Tabelle xx: Umsetzung von Teilfunktionen durch Wirkprinzipien – Beispiel Locher

Teilfunktionen	Physikalischer Effekt (lösungsneutral)	Wirkprinzip (Festlegung geometrischer und stofflicher Merkmale)
Handkraft vergrößern	Hebel 	
Lochabstand festlegen	Kohäsion (Formschluss) 	
Blatt fixieren	Coloumbsche Reibung (Kraftschluss) 	
Loch stanzen	Kraftzerlegung- (Keilwirkung) 	

Baustruktur und Design technischer Systeme werden freilich nicht ausschließlich nur durch die Erfüllung der konkreten technischen Funktion, sondern auch durch Notwendigkeiten der Fertigung, der Montage oder des Transports beeinflusst. Ferner spielen ergonomische Anforderungen und bei Konsumartikeln auch Ästhetik, Mode oder Zeitgeist eine wichtige Rolle.

Zusammenfassung: Teilsystem – Funktionseinheit – Baueinheit

Als vorläufiges Fazit lässt sich festhalten, dass sich die Baustruktur technischer Systeme aus der Funktionsanalyse, der Zuordnung physikalischer Wirkprinzipien zu elementaren Teilfunktionen und der anschließenden Auswahl stofflicher Entsprechungen ergibt. Teilsysteme können daher stets als in **Baueinheiten** realisierte Funktionseinheiten betrachtet werden. Zusammen garantieren die Baueinheiten die Gesamtfunktion eines technischen Systems. Tabelle xx verdeutlicht am Beispiel von Maschinen den Zusammenhang zwischen Funktionseinheiten und dazu gehörigen Baueinheiten.

Tabelle xx: Gliederung von Maschinen in Funktions- und Baueinheiten

Funktionseinheiten	Entsprechende Baueinheiten (Beispiele)
Antriebseinheiten	Elektromotor, Hydraulikaggregat, Pneumatikzylinder, Kurbel
Spanneinheiten	Hydraulische Spanneinrichtung, Schraubstock
Arbeitseinheiten	Arbeitsspindel mit Spannvorrichtung, Revolver mit Werkzeugen
Bedien- und Steuerungseinheiten	Schalter, Bedienpult, Anzeigen
Kontroll- und Messeinheiten	Vorschubmessung bei CNC-Maschine
Stütz- und Trageeinheiten	Gestell, Gleitschlitten
Verbindungselemente	Schrauben, Muttern, Welle-Nabe-Verbindungen
Energieübertragungseinheiten	Riemen, Wellen, Spindeln, Kupplungen, Kabel, Seile

Einteilung von Baueinheiten in Elemente und Gruppen

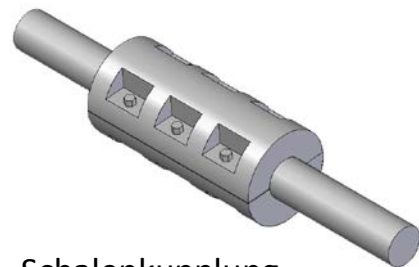
Für eine abstrakte oder strukturelle Analyse technischer Gebilde stellt der Systembegriff ein hinreichend aussagekräftiges Konstrukt dar, da hier Funktion und Struktur noch losgelöst von der konkreten technischen Realisierung definiert werden können. Soll ein technisches System aber dann tatsächlich konstruiert und auch gebaut werden, sind konkrete Entscheidungen hinsichtlich der Übertragung der Funktionen auf spezielle Baueinheiten zu treffen. Freilich muss nicht jedes Teil immer neu konstruiert werden: Planung und Gestaltung von Technik erfolgen - soweit möglich - immer in Abhängigkeit bereits vorhandener Bauelemente. Eine Analyse technischer Systeme kann demnach ihren Anfang auch von einer Bestandsaufnahme der Elemente oder Elementverknüpfungen eines technischen Systems nehmen.

Die kleinste Einheit einer **Baueinheit** stellt das Element dar. Es kann nicht mehr in andere Elemente zerlegt werden. Ob für Bau-, Elektrotechnik oder Maschinenbau, es gibt eine Vielzahl an Elementen, die nicht immer wieder neu erdacht werden müssen, sondern bereits gebrauchstauglich eingebaut werden können. Für den Maschinenbau sind das die **Maschinenelemente**. Da bei der Konstruktion technischer Systeme immer wieder gleichartige Anforderungen an Bauteile auftreten, sind viele dieser Elemente standardisiert. Zu den Maschinenelementen zählen beispielsweise Schraubenverbin-

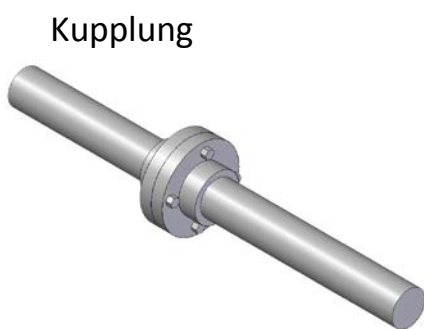
dungen, Welle-Nabe-Verbindungen, Stiftverbindungen, Federn, Wellen, Achsen, Zapfen, Gleitlager, Wälzlager, Dichtungen oder Kupplungen.



Zahnrad



Schalenkupplung



Kupplung

Kugellager



Abbildung xx: Auswahl an Maschinenelementen

Diese Einzelemente lassen sich zu **Baugruppen** kombinieren, die bestimmte Funktionen übernehmen (s. Abb. Xx).

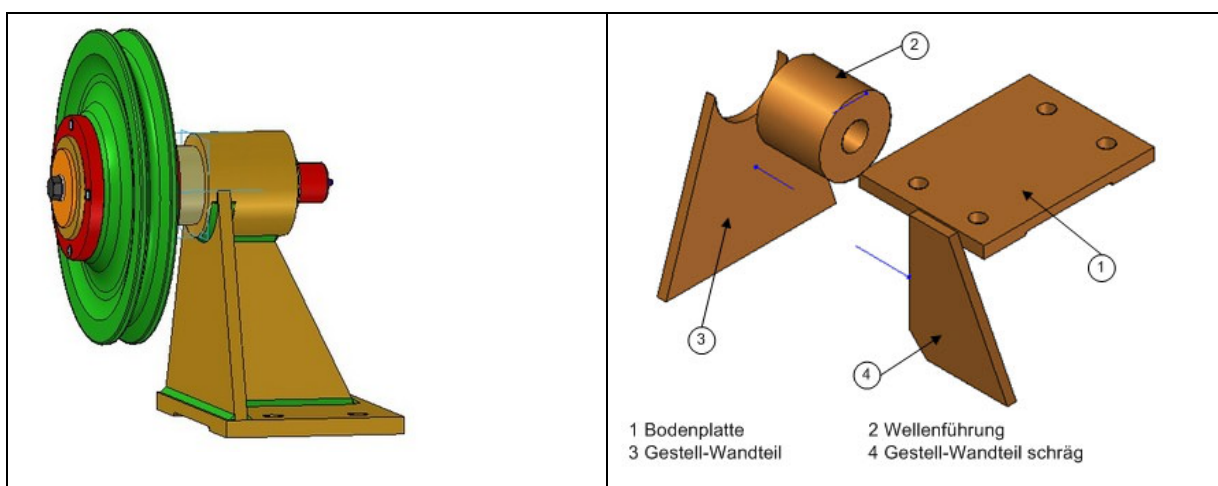


Abbildung xx: Seilbocklagerung mit Seilrolle – rechts Baugruppe Gestell

Die gesamte Baustruktur eines technischen Sachsystems setzt sich also aus Baueinheiten zusammen, die sich nach Art und Umfang konstruktiver Verknüpfung mit anderen Baueinheiten verschiedenen Ebenen zuordnen lassen (s. Tabelle xx).

Tabelle xx: Gliederung von Baueinheiten nach DIN 40150 (Braun et al. 1991, S. 173)

Betrachtungsebene	Baueinheit (Beispiele)
System	Arbeitsmaschinen, Kraftmaschinen, Informationssystem, Heizsystem, Drehmaschine, Heizlüfter, Computer...
Einrichtung	Motor, Schweißumformer, Temperaturregelung...
Gruppe	Getriebe, Pumpe, Spannzange, Ventile, Kolbentrieb...
Element	Hebel, Welle, Zahnrad, Keilriemen...

3.2 Technische Handlungen

Diskussionen über Technik bleiben nicht selten bei der Betrachtung oder Bewertung des konkreten technischen Sachsystems stehen. In der Wahrnehmung des Verbrauchers rücken die Tätigkeiten im Umgang mit technischen Sachsystemen allenfalls dann ins Bewusstsein, wenn die eigenen Kenntnisse und Fertigkeiten den erforderlichen Handlungskompetenzen bei der Bedienung, Wartung oder Reparatur technischer Geräte nicht genügen. Die Erkenntnis, dass die komplexen menschlichen Handlungen, die der Herstellung und Verwendung technischer Sachsysteme dienen, ebenfalls zum Bereich der Technik zu zählen sind, gewinnt für viele erst in der Sphäre der Berufs- und Arbeitswelt an Bedeutung. Da alles technische aber eben aus der menschlichen Handlung geboren wird, ist der Blick auf sie für unser Vorhaben, einen systematischen Blick auf die Technik zu werfen, mehr als zweckdienlich, er ist notwendig. Wie aber lassen sich technische Handlungen klassifizieren und analytisch untersuchen? Das soll nachfolgend aufgezeigt werden.

3.2.1 Die technische Handlung – Wesen und Klassifizierung

Menschliches Handeln kann grundsätzlich unterschieden werden in Sprachhandeln, Bewegungshandeln und in das produktbeabsichtigende **poietische Handeln** (Janich 2006, S. 34ff.). Nicht jedes auf Produkte, Zwecke oder Mittel abhebende oder auch als instrumentell bezeichnete Handeln ist jedoch zwangsläufig auch technisch. Wie Peter Fischer (2004, S. 60) bemerkt, ist der Begriff des Instrumentellen weiter als der des Technischen. Um von technischen Handlungen zu sprechen, müssen seiner Meinung nach sowohl Mittel, Operationen als auch beabsichtigte **Zwecke** eindeutig **technisch** sein, und zwar der **Lösung technischer Sachprobleme** dienen. Damit scheidet Fischer beispielsweise die künstlerische Handlung von der technischen, weil dort zwar durchaus technische Mittel zum Einsatz kommen können, aber sie eben nicht technischen Zwecken dient.

Eigentümlich für technische Handlungen ist zudem, dass sie nicht immer wissenschaftlich begründet werden können, sondern vom **Effizienzkalkül** und der **Erfahrung** abhängig sind, welche Lösung sich am besten bewährt hat (vgl. Kornwachs 2012, S. 54).

Produktlebenszyklus als zielgerichtete Abfolge technischer Handlungen

Wenn technisches Handeln als produktbeabsichtigend charakterisiert werden kann, dann bietet sich der Blick auf den sogenannten **Produktlebenszyklus** als erste Möglichkeit der Systematisierung an. Von der Entstehung bis zur Beseitigung technischer Produkte erweist sich der **Produktlebenszyklus** als zielgerichtete Abfolge technischer Handlungen (Henseler/ Höpken 1996, S. 34). In den einzelnen Phasen bestehen spezielle **Ablauf- und Organisationsschemata**, die sich bereits bewährt haben. Die einzelnen Produktlebensphasen bezeichnen Klassen von Handlungen oder auch **Methoden**, deren gemeinsames Merkmal in ihrem Beitrag zur Realisierung der jeweiligen Phase liegt (s. Tabelle xx).

Tabelle: Technische Handlungen (Henseler/ Höpken 1996, S. 34)

Entstehung von Bedürfnissen		z.B. Wecken, Lenken, Manipulieren, Bewerten von Bedürfnissen
	Konstruieren	z.B. Planen, Analysieren, Suchen und Bewerten von Lösungen, Auswählen, Entwerfen, Ausarbeiten
	Produzieren	z.B. Beschaffen, Organisieren, Herstellen, Zurückgreifen auf genormte Teile, Zusammenbauen, Kontrollieren
	Verteilen	z.B. Organisieren, Verpacken, Lagern, Transportieren, Verkaufen
	Verwenden	z.B. Montieren, Bedienen, Überprüfen der Funktion, Prüfen der Sicherheit, Warten, Reinigen, Reparieren
	Außerbetriebnehmen	z.B. Demontieren, Verschrotten, Lagern, Rückführen in den Produktionsprozess

Technische Handlungen sind Aktionen an, mit und für die Technik. Ganz grundsätzlich lassen sich sie in zwei Richtungen scheiden. In eine, bei der der **instrumentell-motorische Charakter** offensichtlich ist, weil es zu einem Zusammenspiel menschlicher Organe mit Werkzeugen, Gegenständen oder umfangreichen Sachsystemen kommt und eine, bei der der **dispositiv-kreative Charakter überwiegt**. Beispiele dafür sind der technische Entwurf, das strategische Vorgehen oder technische Problemlösen. Die meisten technischen Handlungen formieren sich zwischen diesen Polen, besitzen also sowohl einen motorischen als auch einen dispositiven Charakter.

Innerhalb der Arbeitswissenschaft, die sich mit der systematischen Analyse, Ordnung und Gestaltung von Arbeitsprozessen beschäftigt, wird in vorwiegend mechanische, motorische, reaktive, kombinatorische oder kreative Arbeitsformen unterschieden (Rohmert 1983, S. 25).

Modell für die Analyse technischer Handlungen – die Handlungsregulationstheorie

Genauso, wie es unterschiedliche Arten von Handlungen gibt, genau so unterschiedlich sind die psychischen Vorgänge, die die Handlungen steuern. Diesen Vorgängen geht die sogenannte Handlungsregulationstheorie nach.

Die Prozesse innerhalb des handelnden Subjekts, die der Formung und Steuerung von Handlungen dienen, werden als psychische Regulationen bezeichnet (vgl. Volpert 1997, S. 453). Der Grundgedanke der Theorie ist, dass das **Wesentliche** einer äußeren, sichtbaren Handlung, in den ihr jeweils zugrunde liegenden **psychischen Regulationen** (inneres Handeln) zu sehen ist. Die Theorie geht weiter davon aus, dass einzelne Handlungen stets im **Zusammenhang größerer Handlungsstränge** stattfinden und sich in Ziele und Teilziele untergliedern lassen, die gedanklich vorweggenommen werden und als „innere Abbilder“ vorliegen müssen. Diese psychischen Regulationsstrukturen steuern und

regeln damit die „äußeren Tätigkeitsabläufe“. Die Ziele menschlichen Handelns stehen in einem hierarchischen Verhältnis. Die aus der **Hierarchie der Ziele** abgeleiteten Handlungen werden **sequentiell abgearbeitet**. Handlungen sind damit hierarchisch-sequentiell organisiert. Beschreibt man die Qualität der Handlungsregulationen, lassen sich Ebenen menschlichen Handelns definieren, wobei die unterste Ebene den motorischen Programmen zur Ausführung von Tätigkeiten vorbehalten bleibt, die intellektuellen Handlungsregulationen eher den Ebenen darüber zugeordnet werden können.

Abbildung 1 zeigt einen Ausschnitt aus einer Handlungsregulation für eine Arbeitsaufgabe aus dem Bereich Feinblechbautechnik. Das Fertigungsziel besteht aus einer Blechwanne. Das Ziel wird in verschiedene sinnvolle Teilziele zerlegt. Die Rechtecke beschreiben jeweils die Planungs- oder Handlungseinheiten, die das Ergebnis von in Pfeilen dargestellten Transformationen sind. Für die Ausführung der Teiltätigkeiten müssen einzelne Bewegungsprogramme geistig erprobt und anschließend ausgewählt werden. Auf der untersten Ebene findet eine Abfolge von Bewegungsprogrammen statt, die zumindest von einer geübten Person nicht unbedingt mehr geistig durchgespielt werden müssen.

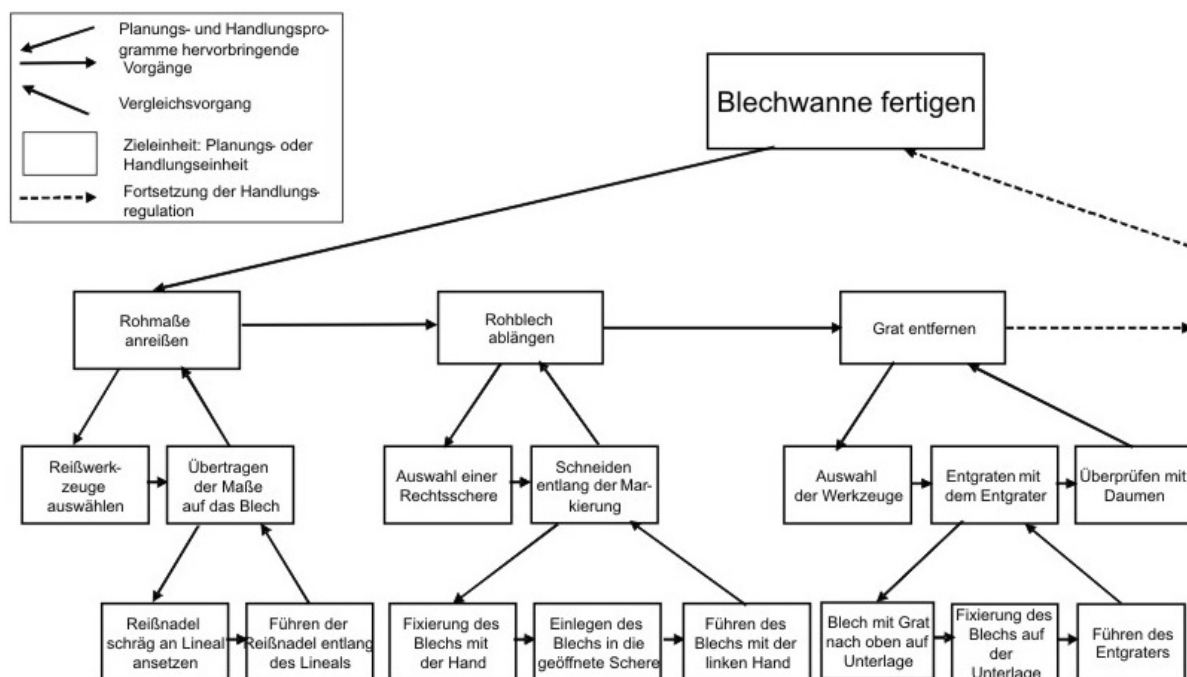


Abb. xx: Hierarchisch-sequentielle Organisation einer Ausbildungsaufgabe (nach Schelten 2002)

Problemlösung als typische Eigenschaft technischen Handelns

Die jeweils gebotene Handlungsstruktur erweist sich gerade im Bereich der Technik nicht immer als einfach zu durchlaufende Handlungskette. Oft sind Ziele nicht direkt zu realisieren sondern müssen als Probleme behandelt und iterativ gelöst werden. Eine derartige Problemlösekompetenz ist sowohl im Beruf als auch im privaten Bereich erforderlich. Stemmann und Lang (2014, S. 87f.) unterscheiden auf der Grundlage einer von Jonassen (2000) entwickelten, nicht technikspezifischen Kategorisierung technische **Problemtypen** nach folgenden Bereichen: Entscheidungen treffen, Störungsbeseitigung, Technik nutzen, Technik bewerten, Technik konstruieren (vgl. Tabelle xx).

Tab. Xx: Problemtypen zur Dimensionierung allgemeiner technischer Problemlösekompetenz (Stemmann/ Lang 2014, S. 88)

Originalbezeichnung (bei Jonassen 2000)	Bezeichnung im Konstrukt allgemeiner technischer Problemlösekompetenz	Exemplarisches Beispiel
Decision Making (Entscheidungen treffen)	Entscheidungen treffen	Wahl beim Kauf eines Monitors
Trouble-Shooting (Störungsbeseitigung)	Störungsbeseitigung	Warum druckt der Drucker nicht?
Diagnosis Solution (Diagnose/Systemanalyse)	Technik nutzen	Wie kann die Sommerzeit in einer Heizungssteuerung eingestellt werden?
Case-Analysis (Fallanalyse)	Technik bewerten	Wahl einer Energieform für ein Einfamilienhaus, die sowohl ökonomische als auch ökologische Aspekte berücksichtigt.
Design (Gestaltung/Konstruktion)	Technik konstruieren	Konstruktion einer (Gestaltung/Konstruktion) Wandhalterung für Fahrräder

Offensichtliche Ablauf- und Organisationsschemata bei technischen Aufgaben und Handlungen wie der Konstruktion, Produktion, Verwendung oder Instandhaltung technischer Produkte zeigen, dass es bestimmte **Vorgehensweisen** im Bereich der Technik gibt, die es dem dort Handelnden ermöglichen, effektiv zum Ziel zu kommen. In Anlehnung an die Handlungsregulationstheorie können wir auch von typischen Regulationen sprechen, die entweder direkt handlungsausführend wirken oder eher antizipierend-strategischen Charakter besitzen.

3.2.3 Methodische Vorgehensweisen – die dispositiven und kreativen Aspekte technischer Handlungen

Grundlagen technischen Handelns - Algorithmen oder Heurismen

Beschäftigen wir uns zunächst etwas näher mit den eher intellektuellen Handlungen, also den kognitiven Vorgängen, die zum strategischen Vorgehen, reflektierten Entwurf oder zum Problemlösen befähigen.

Bezogen auf die oben beschriebene Handlungsregulationstheorie geht es also um die Regulationen mit dispositivem oder auch kreativem Charakter. Solche Handlungsregulationen bilden die Grundlage für Ingenieur- und Entwicklungstätigkeiten, aber auch für planerische Tätigkeiten des Facharbeiters. Sie besitzen entweder einen algorithmischen oder einen heuristischen Charakter. Wenn die Schritte zur Lösung bereits bekannt sind, spricht man von Algorithmen, von Heuristik, wenn Methoden der Problemlösung angewendet werden müssen.

In vielen Fällen technischen Handelns kommt es wohl zu einer Kombination entsprechender Handlungsregulationen. Henseler & Höpken (1996, S. 41) unterscheiden solche technischen Methoden nach ihrer Zielrichtung in Methoden der Einordnung und Bewertung, in antizipierende, realisierende, vereinfachende/ systematisierende und analysierende Methoden. Ihre Verfügbarkeit bestimmt unmittelbar Fortgang und Ergebnis technischer Aufgaben. Am Beispiel der für die Technik typischen Konstruktions- und Herstellungsaufgabe, soll der Einsatz der Methoden nun aufgezeigt werden.

Methodische Vorgehensweisen bei einer Erfindungs-, bzw. Konstruktionsaufgabe

Vielfach wird das Erfinden oder technische Konstruieren noch mit einer Art Kunst gleichgesetzt, die man als Begabung mitbringen muss. Trotz des kreativen Potentials, das im **Konstruktionsprozess** zweifelsohne für schöpferische Lösungen benötigt wird, greift der Konstrukteur doch in den meisten Fällen bereits auf Bekanntes zurück. Während in kleineren Handwerksbetrieben die Konstruktionsarbeit oft noch gänzlich vom Handwerksmeister vollzogen wird, bringt es die Komplexität vieler Produkte im industriellen Bereich mit sich, dass Konstruktionsaufgaben dort auf verschiedene Personen verteilt werden müssen. Der Bedarf an „Konstrukteuren“ hat zur Entwicklung einer Konstruktionslehre geführt, die unabhängig von kreativen Begabungen zu einer systematischen Vorgehensweise beim Konstruieren anleiten und so zu möglichst optimalen Konstruktionslösungen führen soll.

In den VDI-Richtlinien 2221/1993 und 2222/1997 sind entsprechende methodische Vorgehensweisen beschrieben. Tabelle xx zeigt eine Zuordnung einzelner Methoden zu Phasen des technischen Konstruktions- bzw. Erfindungsprozesses.

Tabelle 26: Methoden und Vorgehensweisen im technischen Erfindungsprozess (vgl. Pahl & Beitz 2003; Henseler & Höpken 1996)

Konstruktionsaufgabe	
Phase	Methoden der Einordnung und Bewertung, antizipierende, realisierende, vereinfachende/systematisierende und analysierende Methoden
Klärung der Aufgabenstellung	▪ Zuordnung relevanter Anforderungen oder Hauptmerkmale zu einem geplanten technischen Produkt bzw. Prozess.
Konzeptfindung	▪ Aufteilung des Gesamtsystems in Teilsysteme durch systematische Abstraktion. ▪ Zerlegung eines Gesamtsystems in Teilsysteme, die dem Transport von Stoff, Energie oder Information dienen. ▪ Darlegung der Wirkungen der einzelnen Systeme zur Erfüllung ihrer Aufgaben (Funktionsanalyse). ▪ Zerlegung der Gesamtfunktion in Teilfunktionen mit elementaren Funktionen und Nebenfunktionen. ▪ Zuordnung relevanter Größen zu den einzelnen Subsystemen. ▪ Abstrahierende oder symbolhafte Darstellung der Systeme, Subsysteme, der Verbindungen und prozessualen Bezüge.
Lösungsfindung	▪ Analyse der der jeweiligen Teilfunktion zugrunde liegenden Lösungsprinzipien durch Experimente, Literaturrecherche, Patentrecherche, Brainstorming, Delphi-Methode, Syntetik, Nutzung von Lösungskatalogen. ▪ Untersuchung der Lösungsprinzipien durch ordnende Gesichtspunkte wie Energiearten, Erscheinungsformen, Stoffeigenschaften, Wirkgeometrie, Wirkbewegung oder Wirkprinzipien. ▪ Kombination der gefundenen Lösungsprinzipien für die Teilfunktionen und Bewertung der Kombinationen (zum Beispiel durch morphologischen Kasten). ▪ Bewertung verschiedener Lösungen aufgrund relevanter Kriterien.
Entwurf	▪ Zeichnerische Darstellung einer gefundenen Lösung. ▪ Einschätzung der Funktionsfähigkeit einer gefundenen Lösung und deren Schwachstellen durch maßstäbliche Entwürfe, Modelle, Simulationen oder Berechnungen mit anschließender Überarbeitung der Entwürfe.
Ausarbeitung	▪ Verbindliche Festlegung aller Bestandteile, aus denen das technische System bestehen soll nach Anordnung, Gestalt, Werkstoff, Oberfläche, Toleranzen, Passungen und Dokumentation der Festlegungen in Fertigungszeichnungen, Stücklisten, Montage-, Transport-, Aufstell- oder Betriebsvorschriften. ▪ Entwicklung eines Prototyps.

Methodische Vorgehensweisen bei einer Herstellungsaufgabe

Die Herstellung bzw. **Fertigung von Produkten** stellt einen zentralen Bereich der Technik dar. Ropohl (1997, S. 255) definiert den gesamten Bereich der Fertigung gar als Mutter der Technik. Für die zahlreichen Herstellungsaufgaben in der Technik, deren Ausführung im Wesentlichen zum Tätigkeitsre-

pertoire von Facharbeitern zählt und deren äußere Struktur durch die in der DIN 8580/2003 festgelegten **Fertigungsverfahren** bestimmt werden, sind verschiedene Methoden erforderlich.

In Tabelle xx ist eine Auswahl an methodischen Vorgehensweisen dargestellt, die der Facharbeiter im gewerblich-technischen Bereich zur Lösung einer Fertigungsaufgabe einsetzen muss.

Tabelle 27: Methodische Vorgehensweisen bei der Fertigungsaufgabe auf Facharbeiterebene (Köck 2005, S. 151)

Fertigungsaufgabe	
Phase	Methoden der Einordnung und Bewertung, antizipierende, realisierende, vereinfachende/systematisierende und analysierende Methoden
Arbeitsplanung	▪ Antizipation und Organisation des Ablaufs einer Fertigungsaufgabe. ▪ Analyse der Merkmale und Eigenschaften von Arbeitsgegenständen, Werkzeugen und technischen Verfahren und ihre Überprüfung und Eignung für eine technische Lösung. ▪ Lesen und Analysieren von technischen Zeichnungen. ▪ Anfertigen von Stücklisten. ▪ Systematisierung der Arbeitsschritte durch die Festlegung der chronologischen Abfolge der Arbeitsvorgänge und Fertigungsverfahren und der dazu benötigten Werkzeuge in einem Arbeitsplan. ▪ Analyse der Anforderungen an ein Werkstück und anschließender Werkstoffauswahl. ▪ Auswahl und Festlegung der Werkzeuge und Werkzeugmaschinen.
Durchführung der einzelnen Teilaufgaben	▪ Auswahl und fachgerechter Einsatz geeigneter Arbeitsmittel, Hilfsmittel und technischer Verfahren. ▪ Auswahl und Festlegung der Spannmittel und Hilfsvorrichtungen. ▪ Einschätzen der Folgen und Gefahren durch die Anwendung eines technischen Systems oder Arbeitsmittels für die Bauteilsicherheit, Funktionszuverlässigkeit, Betriebssicherheit, Arbeitssicherheit und den Umweltschutz. ▪ Ermittlung von Fertigungsdaten (Beispiele: Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeiten).
Kontrolle und Bewertung des Arbeitsergebnisses	▪ Entwicklung alternativer Lösungen aufgrund der Arbeitsergebnisse. ▪ Systematische Inbetriebnahme eines technischen Systems.

Methodische Vorgehensweisen bei einer Instandhaltungsaufgabe

Die **Instandhaltung** von Geräten, Anlagen, Maschinen, Aggregaten oder Netzen zählt heute in vielen technischen Berufen zu den wichtigsten Tätigkeitsbereichen, in manchen Berufen auch zum ausschließlichen Tätigkeitsbereich. Der Bereich Instandhaltung lässt sich in die vier Tätigkeitsfelder Wartung, Inspektion, Instandsetzung und Verbesserung untergliedern (DIN 31051: 2003 und DIN EN 13306:2001-09) und kann daher auch in Wartungs-, Inspektions-, Instandsetzungs- und Verbesserungsaufgaben unterteilt werden. Die nachfolgende Tabelle zeigt wieder einzelne Methoden, die in den einzelnen Phasen dieser technischen Aufgaben zum Einsatz kommen können.

Tabelle 27: Methodische Vorgehensweisen bei der Instandhaltungsaufgabe auf Facharbeiterebene (Köck 2005, S. 151)

Instandhaltungsaufgabe	
Phase	Methoden der Einordnung und Bewertung, antizipierende, realisierende, vereinfachende/systematisierende und analysierende Methoden
Arbeitsplanung	▪ Antizipation und Organisation des Ablaufs einer Instandhaltungsaufgabe. ▪ Analyse der Merkmale und Eigenschaften von Arbeitsgegenständen, Werkzeugen und technischen Verfahren und ihre Überprüfung und Eignung für eine technische Lösung. ▪ Lesen und Analysieren von technischen Zeichnungen und Unterlagen.
Durchführung der einzelnen Teilaufgaben	▪ Einschätzen der Folgen und Gefahren durch die Anwendung eines technischen Systems oder Arbeitsmittels für die Bauteilsicherheit, Funktionszuverlässigkeit, Betriebssicherheit, Arbeitssicherheit und den Umweltschutz. ▪ Systematische Fehlersuche durch Eingrenzung von Fehlerursachen und Ermittlung der relevanten Größen an den Schnittstellen der Systeme und Subsysteme. ▪ Fachgerechter Einsatz von Messgeräten und Prüfverfahren. ▪ Zuordnung relevanter Größen zu Systemen und Subsystemen. ▪ Auswahl und Einsatz der geeigneten Gegenstände, Hilfsmittel und Verfahren zur Reinigung, Schmierung, Nachstellung von technischen Systemen nach Instandhaltungsunterlagen. ▪ Systematische Überprüfung von Funktions- oder Baueinheiten auf Funktionsfähigkeit, Abnutzung oder Verschmutzung.
Kontrolle und Bewertung des Arbeitsergebnisses	▪ Entwicklung alternativer Lösungen aufgrund der Arbeitsergebnisse. ▪ Systematische Inbetriebnahme eines technischen Systems.

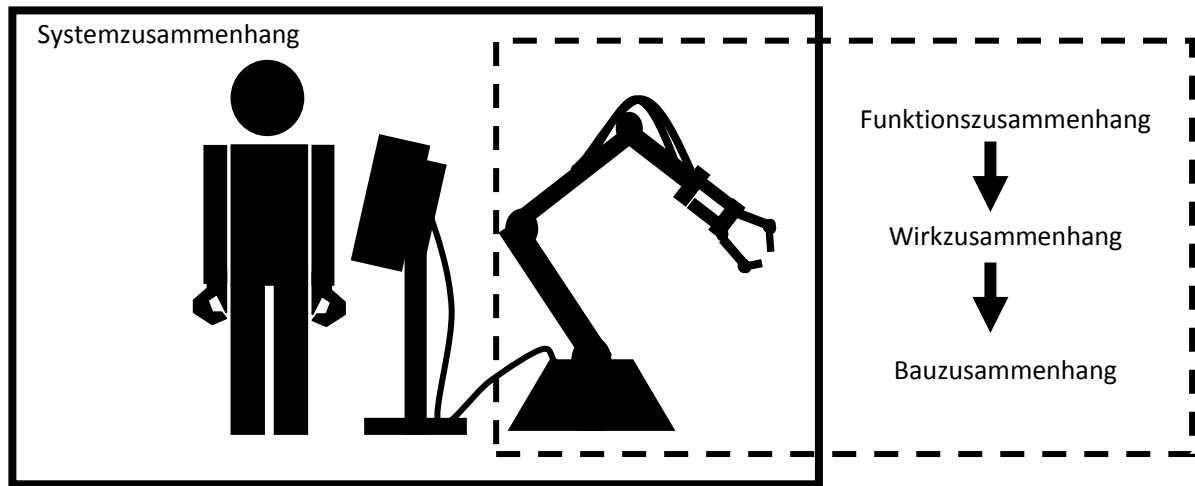


Abbildung xx: Zusammenhänge bei technischen Systemen

Handlungen an und mit Sachsystemen – Soziotechnisches System

Das um den Faktor Mensch erweiterte Sachsystem, also das **soziotechnische System**, dient besonders innerhalb der Arbeitswissenschaft als Ausgangspunkt für Forschungs-, Entwicklungs- und Gestaltungsvorhaben. Ein solches Arbeitssystem lässt sich durch Eingangs- und Ausgangsgrößen sowie durch das Zusammenspiel von **Mensch**, **Arbeitsmittel** und **Arbeitsgegenstand** unter Einwirkung von **Umgebungseinflüssen** und **Arbeitsorganisation** beschreiben (s. Abb. Xx). Ziel und Zweck des Arbeitssystems ist die Erfüllung einer **Arbeitsaufgabe** (vgl. Luczak 1998, S. 27).

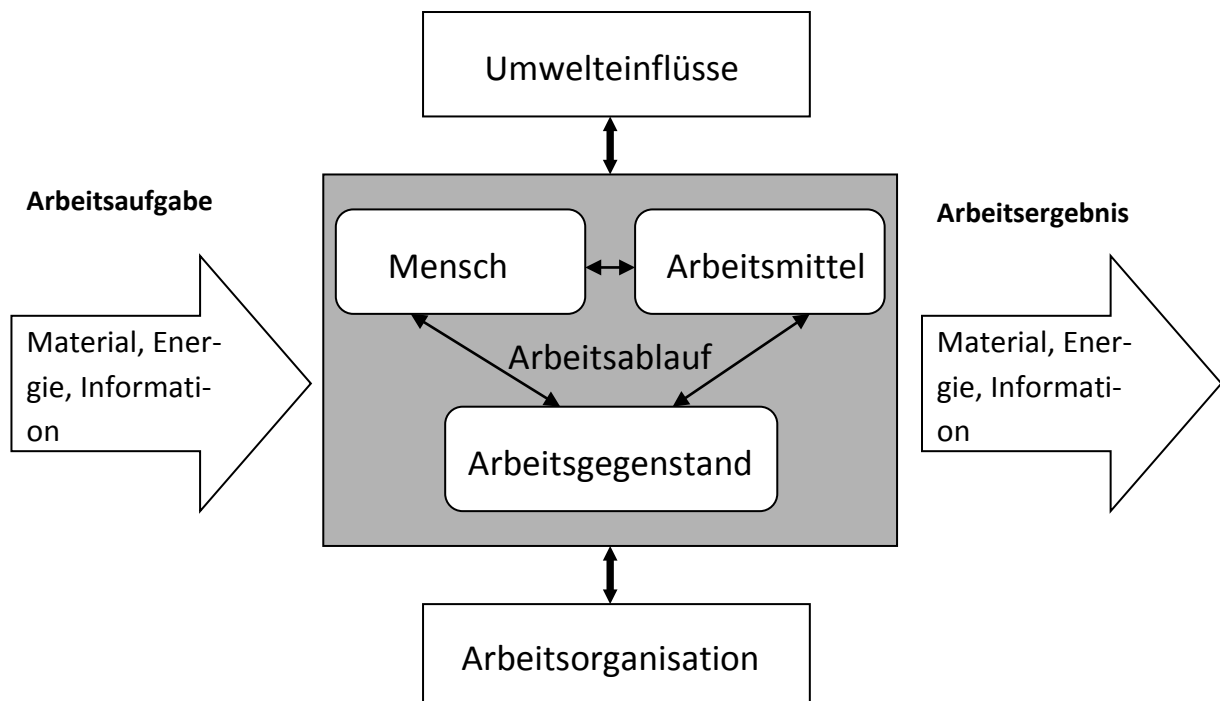


Abbildung xx: Soziotechnisches (Arbeits-)System

Die Arbeitsaufgabe bildet damit den Ausgangspunkt für die Handlungsausführung. Für die Lösung der Aufgaben existieren spezifische Arbeitsmittel und Arbeitsgegenstände. In einigen Bereichen wie der **Verfahrenstechnik** und vor allem der **Fertigungstechnik** lassen sich Arbeitsaufgaben und Handlungen direkt aus den dort gebräuchlichen und zum Teil **standardisierten technischen Verfahren** ableiten. Da eine nähere Betrachtung dieser Verfahren in Kapitel 4 (Stoff) bzw. Kapitel 7 (Produktionstechnik) erfolgt, wird das Thema hier nur gestreift.

Technische Handlungen im Bereich der Verfahrenstechnik

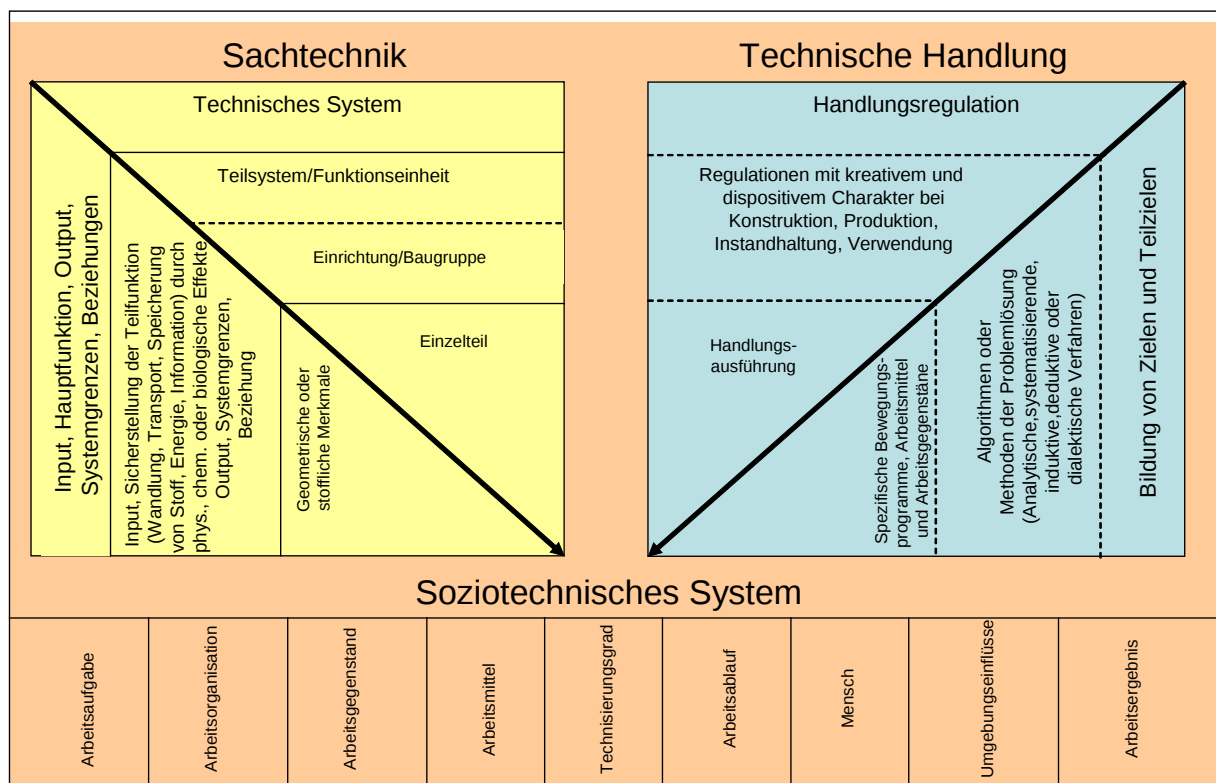
Jedes Artefakt kann seine Funktion nur dann erfüllen, wenn der Stoff, aus dem es besteht, bestimmte Anforderungen erfüllt. Damit die in der Natur vorkommenden Stoffe die entsprechenden Eigenschaften aufweisen, müssen sie zumeist „gewandelt“ werden. Die Gesamtheit der Stoffwandlungsverfahren, einschließlich der dazu notwendigen Maschinen und Anlagen, wird zumeist als Verfahrenstechnik bezeichnet (Ropohl 1997, S. 256). Die Stoffwandlungsverfahren können im Wesentlichen unterteilt werden in die Bereiche **Stoffverteilung ändern** (z.B. Mischen oder Mahlen) und **Stoffzustand ändern** (z.B. **Schmelzen, Härten, Polymerisieren**). Ausführlicher wird auf die Grundoperationen in der Verfahrenstechnik in Kapitel 4 eingegangen.

Technische Handlungen im Bereich der Fertigungstechnik

Der Bereich der Produktionstechnik, der sich vorwiegend mit **Gestaltgebungsverfahren** beschäftigt, wird als Fertigungstechnik bezeichnet. In Fertigungsbetrieben werden Werkstoffe, die ihrerseits mit verfahrenstechnischen Produktionssystemen hergestellt wurden, in einfache oder komplexe Produkte überführt. Am Anfang des Fertigungsprozesses steht die **Teilfertigung**, also die Gestaltung der einzelnen Bauteile. Im Anschluss daran erfolgt die **Montage**, bei der die Einzelteile zum eigentlichen Endprodukt zusammengesetzt werden. Eine Übersicht über Fertigungsverfahren erlaubt das Normblatt DIN 8580. Das wesentliche Einteilungskriterium der verschiedenen Verfahren ist die Art und Weise, wie der **Stoffzusammenhalt** bei der Gestaltung behandelt wird. Nach diesem Kriterium können dann sechs Grundformen von Fertigungsverfahren unterschieden werden: Das **Urformen** (z.B. Gießen), das **Umformen** (z.B. Biegen), das **Trennen** (z.B. Sägen), das **Fügen** (z.B. Schweißen), das **Beschichten** (z.B. Lackieren) und das Verfahren der **Stoffeigenschaft ändern**. Näheres dazu finden Sie in Kapitel 7.

3.3 Übersicht – Klassifikationssystem der Technik

Die nachfolgende Abbildung versucht noch einmal die verschiedenen, in diesem Kapitel behandelten Klassifikationen für die Sachtechnik und die menschlichen Handlungen in der Technik abzubilden. In waagrechter Richtung werden die Klassen bzw. Kategorien, in senkrechter Richtung die zur Einordnung festgelegten Merkmale aufgeführt. Die unterbrochenen Linien sollen andeuten, dass hier eine genaue Abgrenzung von Kategorien und Merkmalen nicht immer möglich ist.



Herstellungs- und Verwendungszusammenhang: Produktlebenszyklus

Abbildung xx: Klassifikationssystem der Technik

4. Grundkategorie Stoff

Welche Bedeutung spielen Stoffe in der Technik? Wie lassen sie sich einteilen und welche Eigenschaften haben sie?

Abstract	2
4 Grundkategorie Stoff.....	4
4.1. Unterscheidung der Stoffe	5
4.1.1 Nach der Reinheit.....	5
4.1.2 Nach Verarbeitung und Anwendung.....	10
4.1.3 Nach Art der chemischen Verbindung	14
4.2. Ausgewählte Stoffeigenschaften.....	19
4.2.1 Masse, Dichte und Porösität	19
4.2.2 Festigkeit	20
4.2.3 Wärmeleitfähigkeit	23
4.2.4 Elektrische Leitfähigkeit	24
4.2.5 Die Aggregatzustände	25
4.2.6 Weitere Stoffeigenschaften	27
4.3 Neue Materialien.....	27
4.3.1 Nano - Das Material der Zukunft	27
4.3.2 Intelligente Werkstoffe	29
4.3.3 Leichte und Verbundwerkstoffe	30

Abstract

Um das stoffliche „Geschehen“ technischer Prozesse bzw. Systeme zu erfassen, helfen chemisch-physikalische Erkenntnisse. Die Chemie dient der Klärung des Aufbaus, der Eigenschaften und der möglichen Umwandlungen von Stoffen. Die Physik rückt dann in den Mittelpunkt, wenn es um Vorgänge geht, in denen sich Zustand, Form oder Lage der Stoffe durch Kraft- oder Energieeinwirkungen ändern.

Ausgangspunkt für die Analyse stofflicher Vorgänge ist jeweils der **atomare**, bzw. **molekulare Aufbau der Elemente**, also der Stoffe, die nicht mehr in andere Stoffe zerlegt werden können. Die Atome eines Elementes sind in so genannte Elementarteilchen aufgebaut. Wichtige Elementarteilchen sind die **Protonen, Neutronen und Elektronen**. Es existieren unterschiedliche Modellvorstellungen zum Aufbau der kleinsten Teilchen. Gemäß der Modellvorstellung von Niels Bohr sind Protonen und Neutronen im Kern und Elektronen auf bis zu 7 Schalen um den Kern angeordnet. Stimmen die Anzahl der Protonen im Kern und Elektronen in der Hülle nicht überein, wird aus dem elektrisch neutralen Atom ein **Ion**.

In der Vielfalt der uns bekannten Stoffe sind allerdings diejenigen, die in elementarer Form, also als Grundstoff vorkommen, eher die Minderheit. Viel öfter anzutreffen sind Kombinationen von Stoffen, die sich nach der Art ihres Aufbaus und ihrer Reinheit in **Reinstoffe** oder **Gemenge** unterscheiden lassen. Reinstoffe können aus **Elementen** oder **Verbindungen aus Elementen** bestehen. Gemenge wiederum werden unterteilt in feste Gemenge (z.B. **Legierungen**), in **Lösungen** und in so genannte **Dispersionen**.

Um die für technische Aufgaben erforderlichen technischen Stoffe zu bekommen, ist in der Regel eine Stoffwandlung von **Rohstoffen** in **technische Stoffe** mit genau vorbestimmten Eigenschaften erforderlich. Die Gesamtheit der Stoffwandlungsverfahren, in denen aus einem Rohmaterial ein Produkt geschaffen wird, einschließlich der dazu notwendigen Maschinen und Anlagen, wird als **Verfahrenstechnik** bezeichnet. Die Verfahrenstechnik baut auf **Umwandlungsprozessen**, bei denen eine Änderung der Eigenschaften, der Zusammensetzung oder auch der Stoffart erfolgt. Die Umwandlungsprozesse können physikalischer, chemischer oder auch biologischer Natur sein, und lassen sich in Verfahrensschritte und **Grundoperationen** untergliedern. Klassen von verfahrenstechnischen Grundoperationen sind zum Beispiel für die Änderung der Stoffeigenschaften das Zerkleinern, Kühlen oder Verdampfen, für die Änderung der Stoffzusammensetzung die Filtration, Destillation oder Elektrolyse und für die Änderung der Stoffart die Oxidation, Hydrierung, Polymerisation oder Gärung. Auch bei der Umwelttechnik spielt die Verfahrenstechnik eine Rolle, wenn es um die Trennung von Abfallstoffen oder das Recycling von Wertstoffen geht.

Um die Bauteile technischer Artefakte bzw. Sachsysteme herstellen zu können, ist die Verwendung von **Werkstoffen** notwendig. In der Bautechnik wird eher von Baustoffen gesprochen.

Werkstoffe lassen sich nach ihrer **Verarbeitung** (z.B. Gusslegierungen, Sinterwerkstoffe), ihrer **Anwendung** (z.B. Federstähle, Kolbenlegierungen), den **Eigenschaften** (z.B. Korrosionsbeständigkeit, unmagnetisch), der **Zusammensetzung** (z.B. legiert/unlegiert) oder ihrer **inneren Struktur** einteilen.

Eine genauere Kenntnis über die innere Struktur eines Stoffes, bzw. über die Art, wie Atome oder Moleküle gebunden sind, ist sowohl für das Verständnis verfahrenstechnischer Prozesse bei der Herstellung verschiedener Werk- und Baustoffe als auch für das Verständnis ihrer Eigenschaften zweckmäßig.

Chemische Verbindungen von Elementen sind deswegen möglich, weil viele Atome dazu neigen, die Zahl der Elektronen auf der Außenschale (**Valenzelektronen**) zu erhöhen und auf acht zu bringen (**Oktettregel**). Dieser Zustand wird in Entsprechung zu den 8 Elektronen der äußersten Hülle der Edelgase als **Edelgaskonfiguration** bezeichnet.

Je nach Stellung der Elemente im Periodensystem erreichen die Elemente das von ihnen bei Verbindungen angestrebte Oktett auf verschiedene Weise: Entweder durch **elektrostatische Wechselwirkungen** oder **Wechselwirkungen der Elektronen** zweier oder mehrerer Atome. Man unterscheidet in diesem Zusammenhang drei Arten von Verbindungen: die **Metallbindung**, die **Atombindung** oder Elektronenpaarbindung zwischen Nichtmetallelementen und die **Ionenbindung**.

Bei der Atombindung erfolgt der Aufbau von vollbesetzten Edelgasschalen über die Nutzung gemeinsamer **Elektronenpaare**. Beteiligt sind vorrangig Atome von Nichtmetallen. Zwischen Nichtmetallen und Metallen wirken hingegen ionische Bindungen, deren Gefüge durch **elektrische Anziehungskräfte** verursacht wird. Bei Metallen kommt es aufgrund der Abgabe der Außenelektronen zu einer Art **Elektronengas**, das die positiven **Atomrümpfe** in Form einer Kristallstruktur zusammenhält. Neben der guten Leitfähigkeit der Metalle, die auf die Beweglichkeit der Elektronen im Metallgitter (Elektronengas) zurückgeführt werden kann, beruhen auch ihre mechanischen Fähigkeiten auf dem Verhalten von Atomrümpfen und Elektronengas.

Keine direkte Bindungsart liegt bei den **van-der-Waal-Kräften** vor. Hier führen Ladungsasymmetrien der Atome kurzzeitig zu Anziehungskräften. Diese Art der Bindung findet sich besonders bei Kohlen-Wasserstoffverbindungen, also sogenannten **organischen Stoffen**.

Die aus ihrer inneren Struktur resultierenden spezifischen **Eigenschaften** der Werk- bzw. Baustoffe bedingen letztlich die Verwendung in technischen Systemen oder Bauwerken. Während der **Festigkeit** der Materialien beispielsweise eine gewisse Schlüsselrolle bei Anwendungen im Bauwesen und Maschinenbau zukommt, spielt die **elektrische Leitfähigkeit** naturgemäß eine dominierende Rolle bei allen elektronischen Systemen. Die **Wärmeleitfähigkeit** der Stoffe wiederum ist heute bei fast allen technischen Anwendungen mit zu berücksichtigen und ohne die Fähigkeit der Materialien, unter Wärme- und Druckeinwirkung von einem **Aggregatzustand** in einen anderen zu wechseln, gäbe es wohl nicht nur in der Verfahrens-, und Fertigungstechnik sehr eingeschränkte Möglichkeiten.

Dominierte lange Zeit die makroskopische Perspektive auf die Werk-, Bau- und Betriebsstoffe, die eine Verwendung der Materialien auf der Basis getesteter oder augenscheinlicher Eigenschaften nach sich zog, so ist es heute möglich, bis in die atomaren Strukturen vorzudringen und so quasi Werkstoffe auf dem Reißbrett zu erzeugen.

Die **Nanotechnologie** widmet sich der Erforschung und Produktion von Stoffstrukturen, Bauteilen oder Systemen im **Nanometerbereich**. Ein Nanometer ist ein Milliardstel Meter (10^{-9} m). Viele **Nanomaterialien** zeigen allein aufgrund der geringen Größenordnung andere Eigenschaften als ihre chemisch identischen, aber in größeren Stoffstrukturen vorkommenden Verwandten. Solche Eigenschaften sind zum Beispiel eine verbesserte Leitfähigkeit, extreme Härte oder unerwartete chemische Reaktivität. Andererseits können die kleinen Teilchen, die etwa in Sonnenschutzcremes oder Zahnpasta enthalten sind, über die Haut oder über die Atemluft in das Innere des Körpers

eindringen und dort zu Reaktionen und Veränderungen und in der Folge zu Krebs oder Abwehrreaktionen des Körpers führen.

Eine weitere Innovation sind die so genannten „**intelligenten Werkstoffe**“. Sie sind in der Lage, selbstständig auf äußere Einflüsse wie Temperaturänderung oder Lichtwechsel zu reagieren, um damit ohne weitere Ansteuerung eine Aktion auszulösen. Dazu werden entweder Sensoren und Aktoren direkt in den Werkstoff integriert oder aber, der Werkstoff reagiert selbstständig etwa aufgrund von Wärme oder Licht.

Schlüsselwörter	
Naturstoffe	Atombindung, Metallbindung, Ionenbindung,
Werk-, Bau- oder Betriebsstoffe	Van-der-Waal-Bindung
Bohrsches Atommodell	Organische und anorganische Stoffe
Periodensystem	Stoffeigenschaften
Atom, Molekül	Masse, Dichte, Porosität
Grundstoff bzw. Element, Reinstoff und	Festigkeit
Gemenge	Wärmeleitfähigkeit
Homogene und heterogene Gemenge	Elektrische Leitfähigkeit
Roh-, Werk-, Bau- oder Betriebsstoffe	Aggregatzustände
Grundoperationen der Verfahrenstechnik	Nanomaterialien, Intelligente Werkstoffe,
Chemische Verbindungsarten	Verbundwerkstoffe
Valenzelektronen, Edelgaskonfiguration	

4 Grundkategorie Stoff

Wie in Lerneinheit 3 aufgezeigt wurde, erfordern letztlich alle technischen Systeme, Prozesse und Operationen ein Zusammenspiel aus Energie, Information und Stoff. Alles Technische besitzt demnach eine materielle Basis: Teilweise ist der Stoffumsatz sogar der eigentliche Zweck vorhandener Technik. In jedem Fall bedarf es aber bestimmter Materialien, um Stoff, Energie- und Informationsumsatz überhaupt zu realisieren. Die Bedeutung einzelner Materialien für die Technik und damit für die Menschheitsgeschichte lässt sich auch daran ermessen, dass ganze kulturgeschichtliche Phasen nach ihnen benannt wurden, wie bei der Bronze- oder Eisenzeit.

Alle Materialien in und aus der Natur bezeichnet man als Stoffe bzw. **Naturstoffe**. Ein gewisser Teil dieser Stoffe kann direkt so verwendet werden, wie sie in der Natur vorkommen. Der weitaus größere Teil jedoch wird weiterverarbeitet zu **Werk-, Bau- oder Betriebsstoffen**. Obwohl wir ständig von einer Vielzahl von Stoffen umgeben sind, wissen wir teilweise nur wenig über ihren Aufbau.

Innerhalb der technischen **Wissenschaften** sind vor allem die **Verfahrenstechnik** und die Materialwissenschaften mit Stoffen befasst. Die Grundlagen zum Verständnis der Stoffe liefern jedoch die Chemie und die Physik. Die **Chemie** dient der Klärung des Aufbaus, der Eigenschaften und der möglichen Umwandlungen von Stoffen. Die **Physik** rückt bei den Vorgängen in den Mittelpunkt,

bei denen sich Zustand, Form oder Lage der Stoffe durch Kraft- oder Energieeinwirkungen ändern, der Stoff jedoch derselbe bleibt.

Mit dem Ziel einer **systematischen Einführung in die Betrachtung der Grundkategorie Stoff**, sollen zunächst Möglichkeiten der Einteilung aufgezeigt werden. Sie orientieren sich einerseits am atomaren Aufbau der den Stoffen innewohnenden Elemente sowie ihren Zusammensetzungen, andererseits an der Verarbeitung und Verwendung der Stoffe. Anschließend wird ein Blick auf die innere Struktur der Werkstoffe geworfen, weil davon viele Eigenschaften abhängen. Einige der Eigenschaften werden etwas ausführlicher behandelt. Den Abschluss des Kapitels bilden aktuelle Aspekte der Materialtechnik.

4.1. Unterscheidung der Stoffe

4.1.1 Nach der Reinheit

Die uns als Natur-, Roh- oder Werkstoffe bekannten Materialien besitzen die unterschiedlichsten physikalisch-chemischen Eigenschaften. Diese werden durch ihren Aufbau und ihre Zusammensetzung bestimmt und bedingen ihre weitere Verwendung, etwa bei Umwandlungsprozessen innerhalb der Verfahrenstechnik oder Herstellungsprozessen innerhalb der Produktionstechnik.

Der atomare Aufbau der Elemente

Alle Stoffe lassen sich wie in einem Stammbaum bezüglich ihres Aufbaus zurückverfolgen. Das kleinste Element dieses „Stammbaums“ ist das **Atom** eines **Grundstoffs** bzw. **Elements**. Grundstoffe oder Elemente sind Stoffe, die nicht mehr in andere Stoffe zerlegt werden können. Derzeit gibt es um die hundert bekannte Elemente. Mit Ausnahme der Edelgase und einigen Edelmetallen kommen die meisten Stoffe jedoch nicht in atomarer Form, sondern als **Verbindung einzelner Atome** zu **Molekülen** vor. Elemente werden meist mit lateinischen oder griechischen Namen bezeichnet. Daraus leiten sich auch ihre Kurzbezeichnungen ab, z.B. Ag (für argentum = lat. Silber).

Über den Aufbau eines Atoms existieren verschiedene **Modellvorstellungen**, die aus der Auswertung von Experimenten und Beobachtungen über die Eigenschaften von Stoffen resultieren. Die gängigste Vorstellung vom Aufbau der Atome stammt von Niels Bohr (1885-1962). Sein Schalenmodell ist für viele technische Überlegungen bis heute ausreichend (s. Abb. Xx).

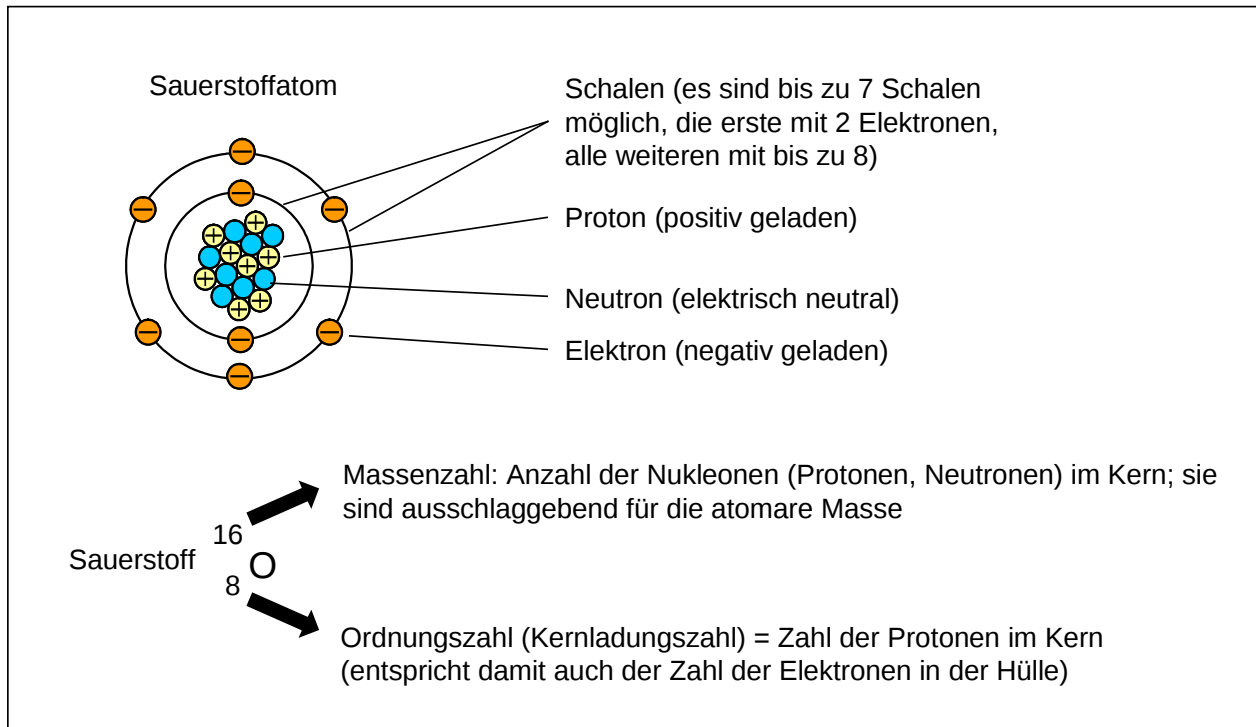


Abb. xx: Modellvorstellung vom Aufbau eines Atoms nach Niels Bohr– am Beispiel des Sauerstoffs

Nach dieser Modellvorstellung sind Atome in so genannte Elementarteilchen aufgebaut. Wichtige Elementarteilchen sind die **Protonen**, **Neutronen** und **Elektronen**. Jedes Atom besteht aus einem Kern, der sich – je nach Element – aus einer bestimmten Anzahl an Protonen und Neutronen, zusammensetzt. Umgeben ist der Kern von einer Hülle, in der die Elektronen auf **Schalen** angeordnet sind. Um den Kern können bis zu sieben Schalen angeordnet sein, wobei die erste Schale maximal 2 Elektronen und alle nächsthöheren bis zu 8 Elektronen aufnehmen können. Der gesamte Durchmesser eines Atoms ist mit 10^{-10}m bereits unvorstellbar klein. Allerdings ist der Atomkern mit 10^{-14}m noch wesentlich kleiner als der Durchmesser.

Die **Protonen** sind die Träger der positiven Elementarladung. Die Anzahl der Protonen bestimmt die Art des Atoms. Die **Elektronen** tragen die den Protonen entsprechende negative Elementarladung. Sie sind fast masselos und leicht beweglich. Neutronen besitzen die gleiche Masse wie Protonen, sind jedoch elektrisch neutral. Atome des gleichen Elements, die sich in ihrer Neutronenzahl und damit in ihrer Atommasse unterscheiden, werden **Isotope** genannt.

Atome sind dann elektrisch neutral, wenn die Anzahl der Protonen im Kern mit der Anzahl der Elektronen in der Hülle übereinstimmt. Ist dies nicht der Fall, spricht man von einem **Ion**. Es gibt positive Ionen (gekennzeichnet mit einem + Zeichen) und negative Ionen (gekennzeichnet mit einem - Zeichen).

Das Periodensystem

Eine systematische Übersicht über die vielen Elemente erlaubt das so genannte **Periodensystem**. Die Elemente sind dort nach ihrer **Kernladungszahl** (auch Ordnungszahl), nach der **Anzahl der Schalen** sowie der **Anzahl der Außenelektronen** auf der äußersten Schale geordnet.

Das erste Element im Periodensystem ist Wasserstoff. Es besitzt die Kernladungs-, bzw. Ordnungszahl 1. Das Wasserstoffatom hat somit ein Proton. Es ist nach außen elektrisch neutral und hat deswegen auf der einzigen Hülle ein Elektron.

Mit jeder weiteren Schale in der Außenhülle, beginnt eine neue Reihe im Periodensystem. In den 8 Gruppen, die vertikal angeordnet sind, befinden sich jeweils die Elemente, die die gleiche Anzahl an Außenelektronen auf der äußersten Schale haben. In Gruppe I ein Elektron, Gruppe II: zwei Elektronen usw.

Hauptgruppe	I	II										III	IV	V	VI	VII	VIII	
Neben- gruppe			3	4	5	6	7	8	1	2								
Periode	1 H																2 He	
1	Wasserstoff Hydrogen 1,0079																Helium 4,0025	
2	3 Li Lithium 6,941	4 Be Beryllium 9,01218											5 B Bor 10,81	6 C Kohlenstoff (Carbon) 12,011	7 N Stickstoff (Nitrogen) 14,0067	8 O Sauerstoff (Oxygen) 15,9994	9 F Fluor 18,9984	10 Ne Neon 20,179
3	11 Na Natrium 22,98977	12 Mg Magnesium 24,305											13 Al Aluminium 26,98154	14 Si Silicium 28,0855	15 P Phosphor 30,97376	16 S Schwefel (Sulfur) 32,06	17 Cl Chlor 35,453	18 Ar Argon 39,948
4	19 K Kalium 39,0983	20 Ca Calcium 40,08	21 Sc Scandium 44,9559	22 Ti Titan 47,88	23 V Vanadium 50,9415	24 Cr Chrom 51,995	25 Mn Mangan 54,9380	26 Fe Eisen (Ferrum) 55,847	27 Co Cobalt 58,9332	28 Ni Nickel 58,69	29 Cu Kupfer (Cuprum) 63,546	30 Zn Zink (Zincum) 65,38	31 Ga Gallium 69,72	32 Ge Germanium 72,59	33 As Arsen 74,9216	34 Se Selen 78,96	35 Br Brom 79,904	36 Kr Krypton 83,80

Periodensystem der Elemente

(relative Atommassen gemäß IUPAC 1979)

Ordnungszahl →

← Elementsymbol

Element →

relative Atommasse →
(Werte in Klammern bei radio-
aktiven Elementen für Isotop mit
längster Halbwertszeit)

28 Ni

Nickel

58,69

Abb. xx. Auszug aus dem Periodensystem

Grundstoffe bzw. Elemente, Reinstoffe und Gemenge

In der Vielfalt der uns bekannten Stoffe sind diejenigen, die in elementarer Form, also als **Grundstoff** vorkommen, eher die Minderheit. Viel öfter anzutreffen sind Kombinationen von Stoffen, die sich nach der Art ihres Aufbaus und ihrer Reinheit in **Reinstoffe** oder **Gemenge** unterscheiden lassen.

Als Reinstoff bezeichnet man in der Chemie einen Stoff, der einheitlich zusammengesetzt ist bzw. nur aus einer "Teilchensorte" besteht. Ein Beispiel dafür ist destilliertes Wasser, es besteht ausschließlich aus Wassermolekülen. Reinstoffe können aus **Elementen** oder **Verbindungen von Elementen** bestehen.

Reinstoffe haben klar definierte physikalische Eigenschaften, die zu ihrer Charakterisierung verwendet werden können, z.B. einen bestimmten Schmelz- oder Siedepunkt. Bei der Verbindung einzelner Elemente zu **chemischen Verbindungen** bleiben die Eigenschaften der sich verbindenden Elemente nicht erhalten, es entstehen neue.

Bei den meisten Stoffen in unserer Umwelt handelt es sich aber nicht um Reinstoffe, sondern um **Kombinationen** aus Reinstoffen. Ein Beispiel dafür ist Luft. Liegen Atome bzw. Moleküle verschiedener Stoffe nebeneinander vor, ohne sich zu verbinden, spricht man von einem **Gemenge**, oft auch von einer **Mischung**, einem **Gemisch** oder **dispersen Systemen**.

Während bei chemischen Verbindungen die Eigenschaften der sich verbindenden Elemente nicht erhalten bleiben, bewahren die Elemente in Gemengen ihre jeweiligen Eigenschaften.

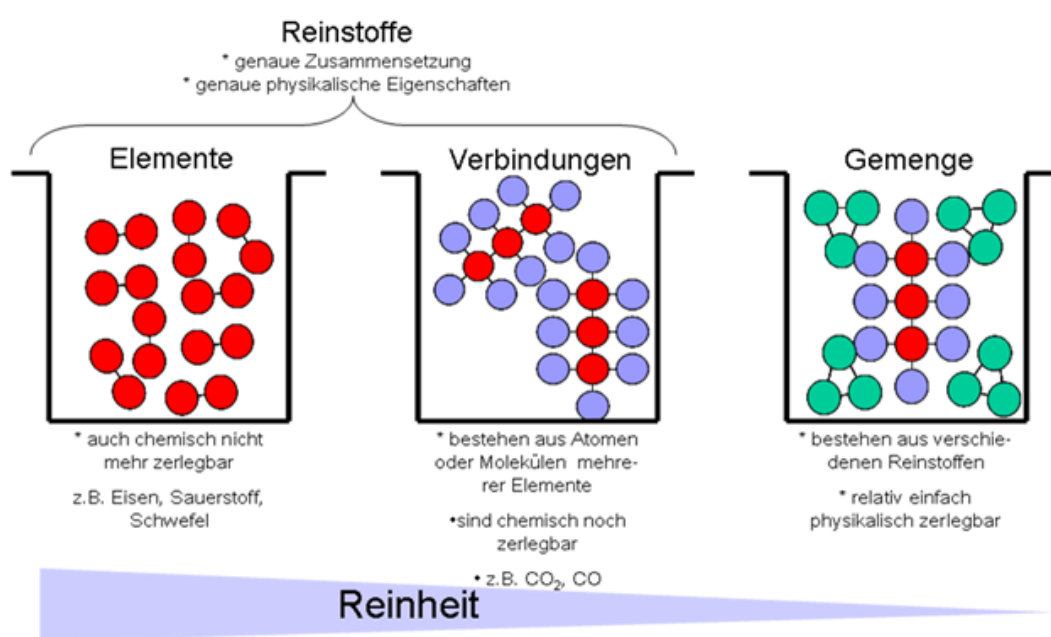


Abb. xx: Einteilung der Stoffe nach der Reinheit

Einteilung der Gemenge

Gemenge spielen überall in der Technik eine große Rolle. Lassen sich in dem Gemenge entweder mit bloßem Auge, mit Lupe oder Mikroskop die Teilchen der verschiedenen Stoffe unterscheiden, so wird es als **heterogen** bezeichnet, anderenfalls als **homogen**. Gemenge können ferner unterteilt werden in so genannte **Dispersionen**, in **Lösungen** und in feste Gemenge (z.B. **Legierungen**).

Dispersionen sind Gemenge, in denen ein Stoff in einem anderen (Dispersionsmittel) fein verteilt ist. Dispersionen können weiter unterschieden werden (s. Tabelle xx). Ist ein fester, wasserunlöslicher Stoff in einer Flüssigkeit fein verteilt (z.B. Sand in Wasser), spricht man von einer **Suspension** (Aufschlammung). Lässt man eine Suspension eine Weile stehen, werden sich aufgrund der unterschiedlichen Dichten die einzelnen Stoffe voneinander durch Absetzen trennen. Werden zwei Flüssigkeiten, die ineinander nicht löslich sind (z.B. Wasser und Öl), zusammengemischt und geschüttelt, so werden die Stoffe in feinste Tröpfchen zerteilt. Es ist eine **Emulsion** entstanden, die sich allerdings sehr schnell wieder entmischt. Die kleinen Tröpfchen fließen wieder zusammen. Eine für längere Zeit haltbare Emulsion ist Milch, ein Gemisch aus Fetttröpfchen in Wasser.

Schweben feinste Tröpfchen einer Flüssigkeit in einem Gas, spricht man von einem Nebel. Ein Gemisch von feinen Staubkörnern in einem Gas nennt man Rauch. **Feststoffgemische** können homogene Gemische sein (z.B. Legierungen) oder heterogene Gemische (z.B. Granit).

Bei einer **Lösung** z.B. Kupfersulfat in Wasser, lassen sich selbst mit stärkster Vergrößerung keine verschiedenen Bestandteile erkennen. Die Lösung sieht völlig einheitlich aus. Einheitlich aussehende Lösungen entstehen auch, wenn zwei ineinander lösliche Flüssigkeiten (z.B. Alkohol und Wasser) vermischt werden. Feste, flüssige oder gasförmige Stoffe werden in einer Lösung so fein verteilt, dass nur Einzelmoleküle vorhanden sind.

Tabelle xx: Disperse Systeme

Dispersionsmittel	gasförmiger Stoff	flüssiger Stoff	fester Stoff
gasförmig		Aerosole Nebel	Aerosole Staub Rauch
flüssig	Schaum Seifenschaum	Emulsion Milch	Suspension Lösungen
fest	Schaumstoffe Aktivkohle Bimsstein	Gelee	Suspensoide

4.1.2 Nach Verarbeitung und Anwendung

Um die für technische Aufgaben erforderlichen technischen Stoffe zu bekommen, ist in der Regel eine Stoffwandlung¹ der Ausgangsstoffe (Rohstoffe) erforderlich. **Rohstoffe** sind die aus der Natur gewonnenen Stoffe, die noch in ihrer natürlichen Beschaffenheit vorliegen. **Technische Stoffe** sind dagegen die aus Rohstoffen hergestellten künstlichen Stoffe mit genau vorbestimmten Eigenschaften. Sie finden als **Werk-, Bau- oder Betriebsstoffe** Verwendung.

Die Gesamtheit der Stoffwandlungsverfahren, in denen aus einem Rohmaterial ein Produkt geschaffen wird, einschließlich der dazu notwendigen Maschinen und Anlagen, wird als **Verfahrenstechnik** bezeichnet (Ropohl 1997, S. 256). In der Verfahrenstechnik spielen **Umwandlungsprozesse** eine große Rolle, bei denen grundsätzlich eine Änderung der Eigenschaften, der Zusammensetzung oder auch der Stoffart erfolgt. Die Umwandlungsprozesse können physikalischer, chemischer oder auch biologischer Natur sein.

¹ Zu unterscheiden ist hier zwischen der Stoffumwandlung und anderen Änderungen des Stoffzustands wie der Lage oder des Ortes (durch die Transporttechnik), Umformungen (durch die Fertigungstechnik) und die Stofferhaltung durch die Lagerungstechnik.

Verfahrensschritte und Verfahren (Grundoperationen)

Um aus Rohstoffen technische Stoffe mit genau definierten Eigenschaften zu gewinnen, sind meist mehrere **verfahrenstechnische Prozesse** erforderlich. Diese lassen sich in **Verfahrensschritte** unterteilen, die ihrerseits meist eine Kombination aus mehreren **Grundoperationen** darstellen. Klassen von verfahrenstechnischen Grundoperationen sind zum Beispiel:

- Änderung der Stoffeigenschaften: Zerkleinern, Kühlen, Verdampfen...
- Änderung der Stoffzusammensetzung: Filtration, Destillation, Elektrolyse...
- Änderung der Stoffart: Oxidation, Hydrierung, Polymerisation, Gärung...

Die ganze Vielfalt der Verfahren zeigt die nachfolgende Tabelle von Günther Ropohl, in der er ausgehend von den beiden Hauptmerkmalen Stoffverteilung und Stoffzustand, den Versuch einer Einteilung unternimmt.

Tabelle. xx: Einteilung der Stoffwandlungsverfahren (s. Ropohl, 1997, S. 257)

Stoffverteilung ändern		Stoffzustand ändern			
Stoffteile verbinden	Stoffteile trennen	Aggregat-Zustand	Kristall-Struktur	Molekular-Struktur	Atom-Struktur
Mischen	Mahlen	Schmelzen	Anlassen	Chemische Reaktionen	Ionisieren
Emulgieren	Sieben	Sublimieren	Härten	z. B.: Oxidieren	Dotieren
Lösen	Filtrieren	Verdampfen	Glühen	Reduzieren	Galvanisieren
Legieren	Zentrifugieren	Erstarren	Abschrecken	Hydrieren	Nuklear-chemische Reaktionen
Beschichten	Zerstäuben	Verflüssigen	Magnetisieren	Dehydrieren	u. a.
Tränken	Trocknen	u. a.	u. a.	Polymerisieren	
Verschäumen	Destillieren			Fermentieren	
u. a.	Rektifizieren			u. v. a.	
	Extrahieren				
	u. a.				

Die Verfahrenstechnik kommt auch bei der Umwelttechnik zum Einsatz, wenn es beispielsweise um die Trennung von Abfallstoffen oder das Recycling von Wertstoffen geht. Die nachfolgende Tabelle zeigt Trennverfahren von Gemischen in Abhängigkeit von den Stoffeigenschaften der Ausgangsstoffe.

Tabelle xx: Trennverfahren bei Gemischen in Abhängigkeit der Eigenschaft ihrer Ausgangsstoffe

Gemische	Trennverfahren	Anwendungsbeispiele	Eigenschaften
Fest-fest	Ausschmelzen Magnettrennung Schwimmtrennung	Schwefelgewinnung Müllsortierung Erzaufbereitung	Schmelztemperatur Magnetisierbarkeit Dichte
Fest-flüssig	Sedimentation Filtration Eindampfen	Abwasserreinigung Wasserreinigung Salzsieden	Dichte Teilchengröße Siedetemperatur
Fest-gasförmig	Entstaubung	Röstgase/Elektrofilter	Elektrische Anziehung
Flüssig-flüssig	Zentrifugieren Destillation Extraktion Chromatographie	Milchenträumung Weinbrennen Fettgewinnung Farbstofftrennung	Dichte Siedetemperatur Löslichkeit Haftfähigkeit

Werkstoffe

Um die Bauteile technischer Artefakte bzw. Sachsysteme herstellen zu können, ist die Verwendung von **Werkstoffen** notwendig. In der Bautechnik wird eher von **Baustoffen** gesprochen. Als Werkstoffe werden alle festen technischen Stoffe bezeichnet, die durch mechanische und thermische Bearbeitung zu Formteilen verarbeitet werden können. Auch bei den Baustoffen handelt es sich meist um feste Körper (Feststoffe), die allerdings oft in plastischem Zustand verarbeitet werden und dann erhärten (z.B. Mörtel oder Beton).

Da Bauteile für Maschinen und Geräte oder Bauteile einerseits wirtschaftlich entworfen, gefertigt und unterhalten werden müssen, andererseits aber eine lange Lebensdauer erreichen sollen und die verwendeten Stoffe später entweder in den Natur- oder Rohstoffkreislauf integriert werden müssen, spielt die Auswahl und Verarbeitung der Werkstoffe eine große Rolle in der Technik.

Aus Wirtschaftlichkeitsgründen wird den Werkstoffen oft bereits eine solche Form gegeben, die den späteren Einsatz im Fertigungsprozess erleichtert (z.B. Spanplatte, Stahlprofile usw.). Man spricht in diesem Fall von **Umformung** der Stoffe.

Tab. Xx: Vom Ausgangsstoff zum Endprodukt

Ausgangsstoff Rohstoff		Zwischen-/Endprodukt Werkstoff		Zwischen-/Endprodukt Werkstoff
Baumstamm	Umwandlung - Umformen	Bretter Schwarten Kantholz Cellulose	Umwandlung - Umformen	Furnier Sperrholz Spanplatte Papier
Eisenerz		Roheisen Gusseisen Stahl		Gussformteile Stahlblech Stahlprofil
Erdöl		Leichtbenzin Ethylen Vinylchlorid		Polyethylengranulat Polyvinylchloridpulver

Werkstoffe lassen sich nach ihrer **Verarbeitung** (z.B. Gusslegierungen, Sinterwerkstoffe), ihrer **Anwendung** (z.B. Federstähle, Kolbenlegierungen), den **Eigenschaften** (z.B. Korrosionsbeständigkeit, unmagnetisch), der **Zusammensetzung** (z.B. legiert/unlegiert) oder ihrer **inneren Struktur** einteilen.

Betriebsstoffe

Betriebsstoffe sind Stoffe, die für das Betreiben von Anlagen, Maschinen und Geräten unverzichtbar sind. Tabelle XX zeigt einige von ihnen.

Tabelle xx: Betriebsstoffe

Betriebsstoffe	Beispiele
Schmierstoffe	Fette, Öle
Kühlmittel	Wasser, Luft, Öle
Brenn- und Treibstoffe	Kohle, Koks, Benzin, Diesel, Wasserstoff
Katalysatoren	Metalloxide, Edelmetalle, Enzyme
Lösungsmittel	Wasser, Alkohol
Hilfsstoffe	Waschmittel, Dünger

4.1.3 Nach Art der chemischen Verbindung

Jeder Stoff besteht aus Verbindungen von Atomen einzelner oder mehrerer Elemente. Diese chemischen Verbindungen resultieren aus Wechselwirkungen, die unterschiedliche Ursachen haben können. Für das Verständnis verfahrenstechnischer Prozesse bei der Herstellung verschiedener Werk- und Baustoffe ebenso wie für das Verständnis der Verwendung der Stoffe in der Produktion lohnt der Blick auf die Bindungsmöglichkeiten zwischen den Atomen. Sie lassen sich folgendermaßen unterscheiden:

- Die Metallbindung,
- die Atombindung oder Elektronenpaarbindung (zwischen Nichtmetallelementen),
- die Ionenbindung (vorwiegend zwischen Metallen und Nichtmetallen),
- die van-der-Waals-Bindung.

Weil diese Bindungsarten für die Stoffeigenschaften bestimmend sind, sollen sie etwas näher beleuchtet werden. Zunächst soll kurz auf den Grund für derartige Verbindungen eingegangen werden.

Edelgaskonfiguration

Chemische Verbindungen zwischen den Elementen sind deswegen möglich, weil viele Atome dazu neigen, die Zahl der Elektronen auf der Außenschale (**Valenzelektronen**) zu erhöhen und auf acht zu bringen (**Oktettregel**). Dieser Zustand wird in Entsprechung zu den 8 Elektronen der äußersten Hülle der Edelgase als **Edelgaskonfiguration** bezeichnet.

Atombindung

Die **Atombindung** (auch unpolare, homöopolare oder kovalente Bindung) entsteht in erster Linie zwischen **Nichtmetallatomen**, z.B. Wasser H_2O , Kohlendioxid CO_2 , Methan CH_4 . Der Aufbau von Edelgasschalen erfolgt hier über die Nutzung von gemeinsamen **Elektronenpaaren**. Ein oder mehrere Elektronen jedes Atoms bilden miteinander ein Elektronenpaar, das gleichzeitig allen in dieser Verbindung stehenden Atomen angehört (Atome „teilen“ sich die Elektronen). Es entsteht ein Molekül. Im Gegensatz zur Ionenbindung findet hier kein Ladungsaustausch statt, die neutrale Ladung der einzelnen Atome bleibt erhalten.

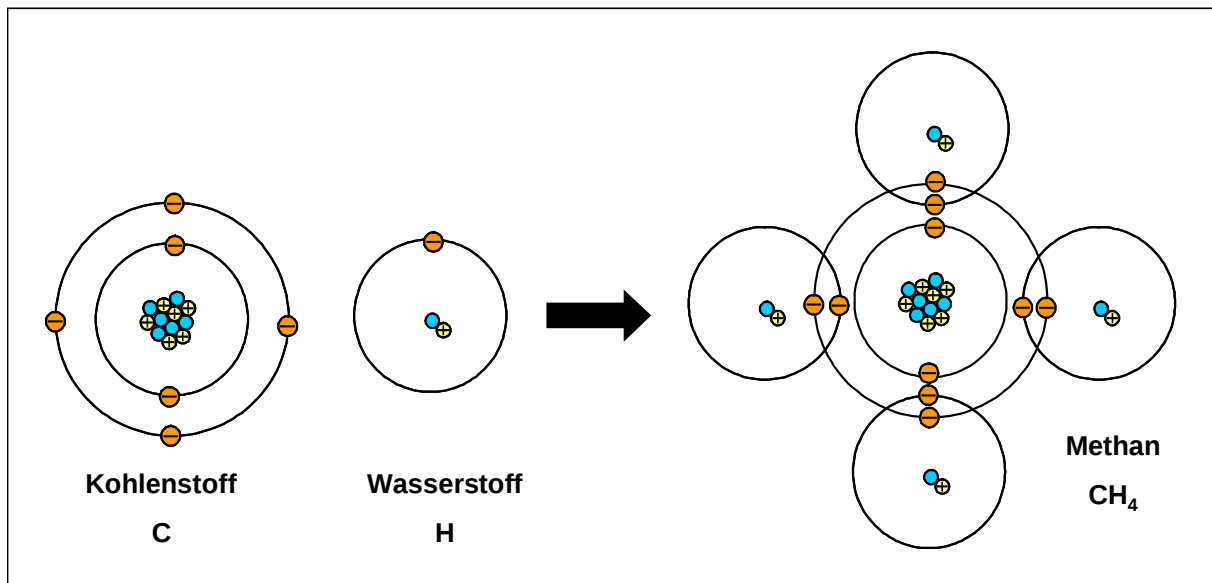


Abb. Xx: Bildung von gemeinsamen Elektronenpaaren bei der Atombindung

Die für Atombindungen typischen Eigenschaften können folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Bildung aller Aggregatzustände (Gase, Flüssigkeiten, Feststoffe),
- vorrangig elektrische Nichtleiter,
- sehr schlechte Wärmeleitung sowie ein
- allgemein niedriger Schmelzpunkt (Ausnahme 4. Hauptgruppe).

Ionenbindung

Unter Ionen versteht man elektrische Teilchen, die aus Atomen durch Abgabe oder Aufnahme von Elektronen entstehen. Der Aufbau der Edelgaskonfiguration wird dadurch erreicht, dass ein Atom Elektronen abgibt, ein anderes diese aufnimmt. Das elektronenabgebende Atom wird zum positiven Ion (Kation), dessen positive Ladung der Zahl der abgegebenen Elektronen entspricht. Das elektronenaufnehmende Atom wird zum negativen Ion (Anion).

Die Bindung erfolgt demnach aufgrund elektrischer Anziehungskräfte (elektrostatische Anziehung) zwischen positiv geladenen und negativ geladenen Ionen wie z.B. beim Natriumchlorid = Kochsalz (s. Abb xx).

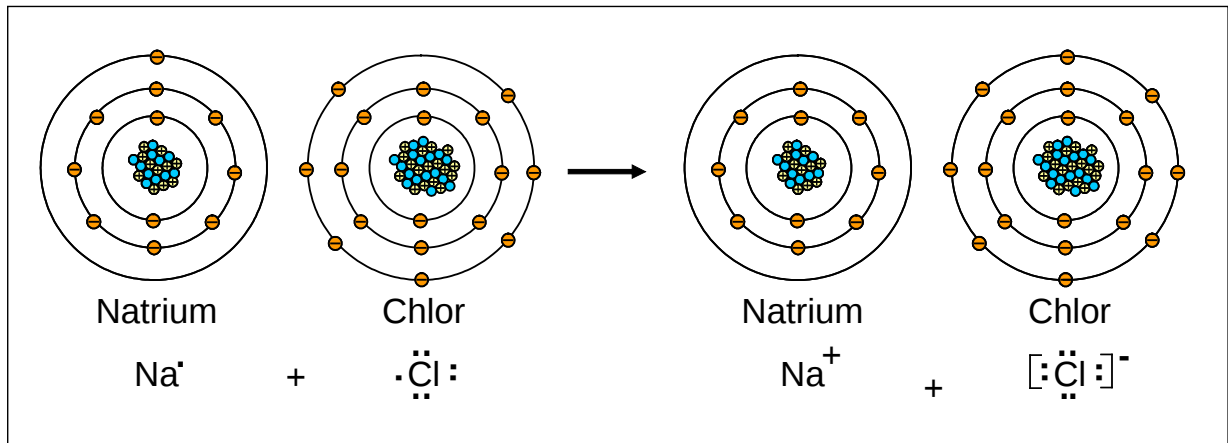


Abb. xx: Natriumchlorid (Kochsalz)

Für diese Art von Verbindung eignen sich vor allem Elemente der ersten beiden Gruppen des Periodensystems und der 7. Gruppe, also Bindungen zwischen Metallen (eher elektropositiv) und Nichtmetallen (elektronegativ). Die Verbindung aus Ionen besteht nicht aus Molekülen, sondern bildet ein dreidimensionales Kristallgitter aus. Die regelmäßige Anordnung von Ionen in einem Ionenverband nennt man **Ionengitter**.

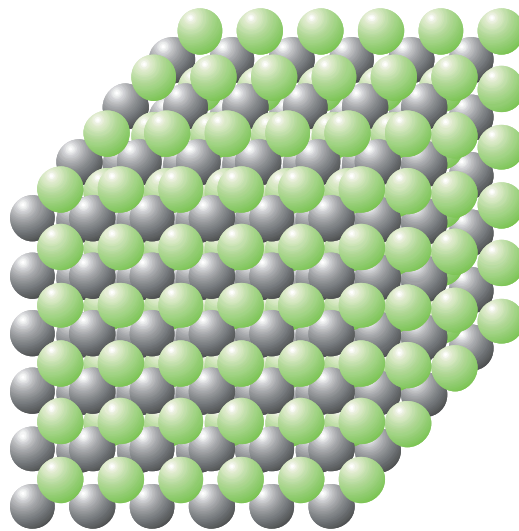


Abb. xx: Ionengitter

Die wichtigsten Eigenschaften der durch Ionenbindung charakterisierten Stoffe:

- Vorrangiger Zustand: Feststoff (Salz),
- geschmolzene oder gelöste Ionenverbindungen sind elektrische Leiter, da sie elektrische Ladungen besitzen,
- schlechte Wärmeleitung,
- hoher Siede und Schmelzpunkt.

Metallbindung

Wie für alle anderen Stoffe, so gilt auch für die Metalle, dass ihre Eigenschaften auf ihrer inneren Struktur beruhen. Die Metalle besitzen wenige Außenelektronen. Diese geben sie im festen wie im flüssigen Zustand gerne ab, da sie nur schwach gebunden sind. In der metallischen Bindung kann daher keiner der Partner seine äußere Schale durch Elektronenaufnahme stabilisieren. Vielmehr schwirren die Elektronen als **Elektronengas** zwischen den verbliebenen positiv geladenen Atomrümpfen umher. Die positiven Atomrümpfe bilden ein **Kristallgitter**. Da die abgegebenen Außenelektronen den einzelnen Atomen nicht mehr zugeordnet sind, können sie sich innerhalb des Gitters nahezu frei bewegen, reagieren also auf äußere Änderungen des elektrischen oder magnetischen Zustandes. Dies bildet die Grundlage für die gute elektrische und auch thermische Leitfähigkeit der Metalle.

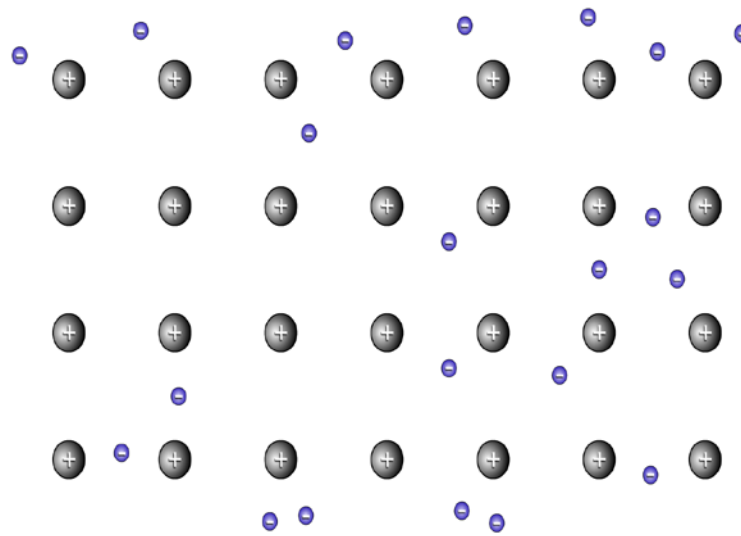


Abb. xx: Elektronengas bei Metallbindung

Neben der guten Leitfähigkeit der Metalle, die auf die Beweglichkeit der Elektronen im Metallgitter (Elektronengas) zurückgeführt werden kann, beruht auch ihre Fähigkeit, bei äußeren Druck nicht gleich zu brechen, auf dem Verhalten von Atomrümpfen und Elektronengas: Die Bindungskräfte des Elektronengas wirken in alle Richtungen. Die einzelnen Schichten oder Bereiche lassen sich so gegeneinander verschieben. Dies ist die Grundlage für die gute Verformbarkeit der Metalle. Weitere charakteristische Eigenschaften der Metalle sind: Undurchsichtigkeit und leichte Legierbarkeit (Mischung mit anderen Metallen). Der vorherrschende Zustand ist fest, mit Ausnahme des Quecksilbers.

Van-der-Waals-Bindung

Bei den van-der-Waals-Kräften handelt es sich eigentlich nicht um Bindungen, wie bei den anderen Bindungsarten. Hier wirken vielmehr **Anziehungskräfte** zwischen Molekülen. Diese

zwischenmolekulare Kräfte sorgen dafür, dass sich Atome anziehen oder abstoßen. Verursacht werden sie durch die kurzzeitige **unsymmetrische Anordnung** der Elektronen in einem Atom. Die Elektronen, die auf ihrem Orbital ständig in Bewegung sind richten sich auf einer Seite aus. Dadurch weist das Atom auf dieser Seite einen negativen, auf der anderen Seite einen positiven Ladungsüberschuss auf. Es entsteht ein spontaner **Dipol**. Der negative Ladungsüberschuss wirkt dann auf benachbarte Atome, indem dort die Elektronen ebenfalls auf eine Seite gedrängt werden. Diese Atome werden zu induzierten Dipolen. Durch diese Ausrichtung der negativen Ladungen ordnen sich die Atome wie Magnete aneinander an. Zwar sind die Ausrichtungen durch Dipole nur von kurzer Dauer, aber es werden ständig neue gebildet.

Wichtig wird diese Bindungsart bei den so genannten Alkanen, also den Verbindungen zwischen Kohlenstoff und Wasserstoff. Die Atome der beiden Elemente ordnen sich zu unverzweigten oder verzweigten Ketten an. Je länger die Ketten sind, desto mehr van-der-Waals-Kräfte wirken und desto höher ist beispielsweise der Siedepunkt. Die van-der-Waals-Kräfte halten die Moleküle länger zusammen.

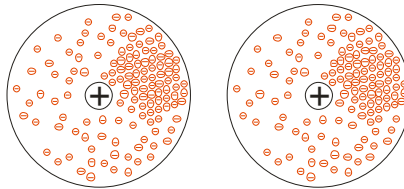


Abb. Xx: Van-der-Waals-Kräfte: Dipolbildung durch asymmetrische Ladungsverteilung

Werkstoffe und die zugrunde liegende Verbindung

Eine besonders in der Werkstoffkunde gebräuchliche Einteilung der Werkstoffe bezieht sich auf die Art der dominierenden Bindung. Unterschieden werden hauptsächlich **metallische, organische und anorganische Werkstoffe**. Auf welchen Bindungstypen diese Werkstoffgruppen zurückzuführen sind, zeigt die nachfolgende Übersicht (Abb. Xx).

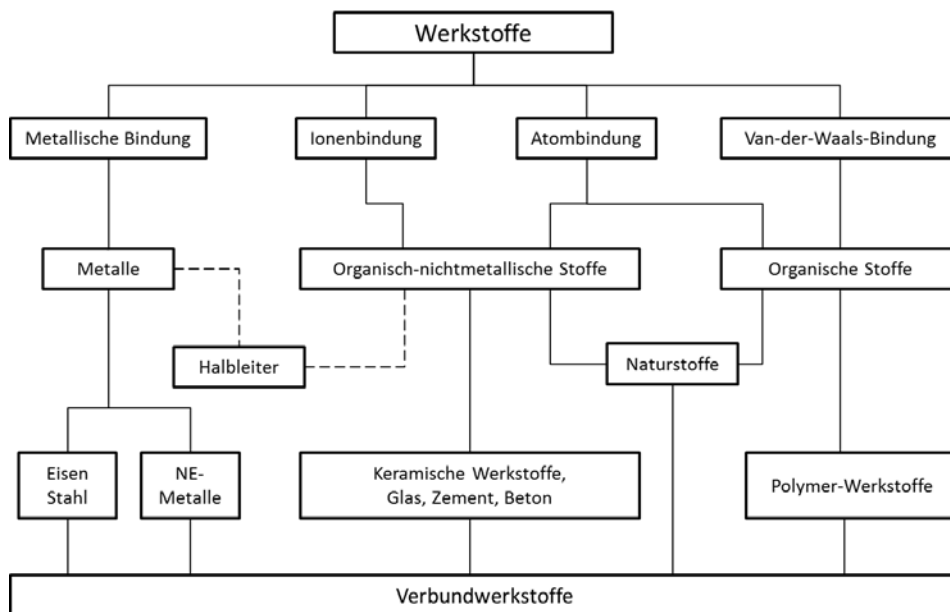


Abb. Xx: Gliederung von Werkstoffgruppen (Czichos/ Skrotzki/Simon 2012, S. D10)

4.2. Ausgewählte Stoffeigenschaften

Die aus ihrer inneren Struktur resultierenden spezifischen Eigenschaften der Werk- bzw. Baustoffe bedingen letztlich die Verwendung in technischen Systemen oder Bauwerken. Einige dieser Eigenschaften werden daher näher behandelt.

4.2.1 Masse, Dichte und Porösität

Masse

Der Begriff Masse oder Materie ist schwer zu definieren. Ein erster Anhaltspunkt ist die Tatsache, dass es im Vakuum keine Materie gibt. Masse ist daher alles das, was Raum einnimmt. Die **Masse** ist also eine Eigenschaft eines Körpers. Sie äußert sich sowohl in der Trägheit, also bei einer Änderung des Bewegungszustandes, als auch in der Anziehung zu anderen Körpern. Zwei Körper ziehen sich aufgrund ihrer Masse gegenseitig an. Diese Anziehungskraft nennt man bei einem extremen Unterschied der Körpermassen die **Gewichtskraft** des leichteren Körpers. Die Einheit der Masse m ist das Kilogramm [kg]. 1kg wirkt auf der Erde mit $1\text{kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$ auf eine Unterlage. Das entspricht 10 N. Die Masse ist unabhängig von der Erdanziehung, sie bleibt immer gleich. Die Masse eines Werkstoffs spielt in verschiedenen Bereichen eine Rolle, etwa bei der Schalldämmung.

Dichte

Die **Dichte** ρ (sprich „rho“) ist das Verhältnis der Masse m eines Stoffes zu seinem hohlraumförmigen Volumen V ($\rho = m/V$). Als Einheit wird die Dichte meist in kg/dm^3 angegeben. Grundsätzlich lassen sich zwei Typen von Dichten unterscheiden: die **Rohdichte** und die **Schüttdichte**. Bei der Rohdichte handelt es sich um das Verhältnis der Masse eines Stoffes zu seinem Volumen einschließlich der Hohlräume V_h (sog Korneigenporen). $\rho = m/(V + V_h)$. Unter Schüttdichte versteht man das Verhältnis der Masse eines körnigen Stoffes (z.B. Sand oder Kies) zu seinem Volumen einschließlich der Korneigenporen und Hohlräume zwischen den Körnern (Haufwerksporen V_z). $\rho = m/(V + V_h + V_z)$.

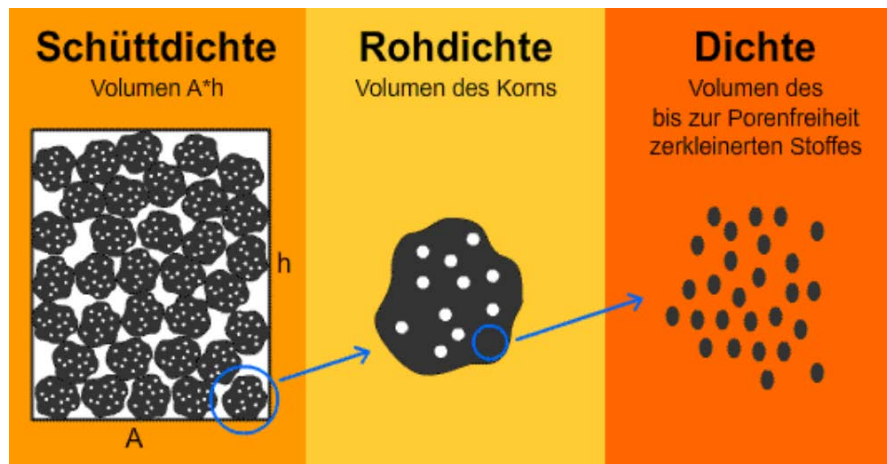


Abb. Xx: Dichte – Begriffe

Die Dichtebestimmung kann bei unregelmäßig geformten Körpern durch die Wasserverdrängung erfolgen. Bei Stoffen die mit Wasser reagieren (z.B. mineralische Bindemittel), wird statt Wasser eine andere Flüssigkeit verwendet (z.B. n-Heptan). Porige Baustoffe müssen soweit verkleinert werden, dass nur noch porenfreie Partikel übrig bleiben oder alle Poren von Flüssigkeit ausgefüllt werden.

Für die Verwendung von Werk- oder Baustoffen ist die Dichte oft das entscheidende Kriterium. Beispielsweise wenn es um Wärmedämmung geht. Hier bevorzugt man porige Baustoffe, mit geringer Dichte. In den Poren ist Luft, die die Wärmeleitung behindert.

4.2.2 Festigkeit

Formänderung durch äußere Kraftwirkung

Auch bei festen Körpern sind die Atome oder Moleküle in ihrer Ordnung nicht unverrückbar. Wirkt an einer Stelle eine äußere Kraft ein, die größer ist als der innere Zusammenhalt, geben die unmittelbar betroffenen inneren Strukturen der äußeren Kraft nach und entfernen sich aus der Ruhelage. Auch die Nachbarmoleküle werden verschoben. Bei **plastischen Körpern** bildet sich eine neue Gleichgewichtslage aus, bei der es kein Bestreben gibt, in die Ausgangslage zurückzukehren. Bei **elastischen Körpern** bleibt die Formänderung dagegen nur so lange erhalten, so lange die äußere Kraft einwirkt.

Spannung – Verhältnis zwischen Kraft und beeinflusster Fläche

Während der Krafteinwirkung besteht in dem belasteten Teil des Körpers ein **Spannungszustand**, bei dem sich die äußere Kraft zunächst mit den inneren Kräften (Adhäsion und Kohäsion) im Gleichgewicht befindet. Auf jedes Flächenstückchen des Körpers wirkt demnach, abgesehen von den inneren Kräften, eine äußere Kraft. Der Quotient aus dieser Kraft und dem Inhalt des Flächenstückchens wird als Spannung σ (sprich „sigma“) bezeichnet. Die Einheit wird zum Beispiel in N/mm^2 angegeben.

$$\sigma = F/A \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

So bildet sich beispielsweise unter dem Auflager eines Balkens oder Stahlträgers eine Druckspannung, die durch die senkrechte Krafteinwirkung auf jedes Flächenstückchen des gedrückten Bauteils definiert ist. Je nach **Belastungsart** werden verschiedene Spannungen unterschieden (z.B. Druck-, Zug- oder Biegespannung).

Festigkeit - Arten

Die Spannung bis zu der der Körper sich plastisch nicht verformt, also unzerstört bleibt, wird **Festigkeit** genannt. Bei den Mauersteinen auf der linken Seite in Abb. xx wurde die Festigkeit überschritten. Aufgrund der größeren Fläche des im rechten Bild dargestellten Auflagers, führte die Druckkraft hier nicht zu einer kritischen Spannung und damit auch nicht zur Zerstörung des Auflagers.

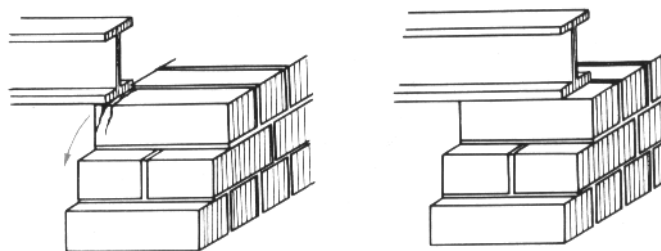


Abb. xx: Druckspannung unter dem Auflager eines Trägers

Die Festigkeit bestimmter Materialien wird durch das Verhältnis von größtmöglicher Belastung F zum Querschnitt A eines normierten Prüfkörpers berechnet. Unterschieden werden die Druck-, Zug-, Scher- oder Knickfestigkeit sowie die Torsionsfestigkeit und die Schubbeanspruchung.

- Die **Druckfestigkeit** ist der Widerstand gegen Zerdrücken bzw. Pressen. Die Belastbarkeit auf Druck ist abhängig von der Dichte des Werkstückes und der Größe der druckbelasteten Fläche.

- **Zugfestigkeit** ist der Widerstand gegen Zerreißen. Die Belastbarkeit auf Zug ist abhängig von der Dichte des Werkstückes und der Größe der beanspruchten Fläche.
- Die **Knickfestigkeit** ist abhängig vom Werkstoff. Die Belastbarkeit auf Knickung hängt von der Größe und Form des Querschnittes und vom Schlankheitsgrad ab.
- Beim **Abscheren** wirken Druck und Gegendruck in einer Wirkungsebene. Die Belastbarkeit auf Abscheren ist von der beanspruchten Querschnittsfläche abhängig.
- Von einer **Schubbeanspruchung** spricht man, wenn die gegeneinander wirkenden Kräfte nebeneinander wirken. Die Belastbarkeit ist von der beanspruchten Querschnittsfläche abhängig.
- Die **Torsionsfestigkeit** ist von der Drehlänge, dem Werkstoff und der Querschnittsfläche abhängig.

4.2.3 Wärmeleitfähigkeit

Arten der Wärmeleitung

Der „Transport“ von Wärme kann durch bewegte Materie (**Wärmeströmung**), durch **Wärmestrahlung** oder eben durch **Wärmeleitung** erfolgen. Im Gegensatz zur Wärmeströmung bleiben bei der Wärmeleitung die vermittelnden Stoffteilchen an ihrem Ort. Die Moleküle an den Stellen höherer Temperatur besitzen mehr Energie und übertragen diese auf die Nachbarmoleküle geringerer Energie. Dies führt zu einem Abbau der bestehenden Temperaturdifferenz.

Wärmeleitfähigkeit eines Stoffes

Die **Wärmeleitfähigkeit**, oft mit λ (sprich „lambda“) bezeichnet, gibt an, welche Wärmemenge Q in der Zeit t bei einem Temperaturunterschied ΔT durch die Fläche A eines Leiters mit der Länge l strömt. Die Einheit der Wärmeleitfähigkeit ergibt sich somit zu $J/(K \cdot m \cdot s)$ bzw. $W/(K \cdot m)$.

$$\lambda = Q / (A \cdot t \cdot \Delta T) [W/K \cdot m]$$

Die geringste Wärmeleitung weist das Vakuum auf, da in ihm keine Moleküle für die Weiterleitung erregt werden können. Ruhende Luft ist ein schlechter Wärmeleiter. Wärmedämmstoffe sind daher porös, in ihren Poren ist Luft eingeschlossen. Um Wärmedämmeigenschaften zu erzielen, werden zum Beispiel bei der Herstellung von Ziegeln dem Ton Stoffe mit beigemischt, die im Ofen verbrennen und so kleine Hohlräume hinterlassen. Außerdem können durch die Gestaltung des Baustoffs Luftkammern eingebracht werden, wie bei dem in Abb. xx dargestellten Ziegel.

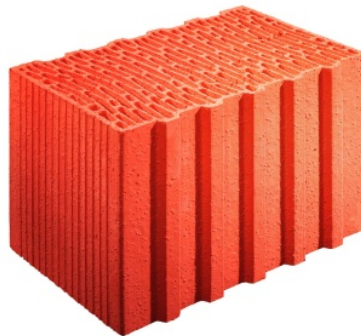


Abb.: Hochlochziegel – Luftgefüllte Poren und Luftkammern verringern die Wärmeleitfähigkeit

Ermittelt man die Wärmeleitfähigkeit an genormten Prüfkörpern für verschiedene Materialien, ergeben sich ganz unterschiedliche Werte (s. Abb. xx).

Tabelle xx: Werte der Wärmeleitfähigkeiten verschiedener Stoffe

Stoffart	Wärmeleitfähigkeit λ (Lambda) in W/(K m)
Aluminium	200
Fensterglas	0,81
Holz (im Mittel)	0,175
Wärmedämmstoffe (im Mittel)	0,04
Kupfer	350
ruhende Luft	0,023
Stahl	58
Stahlbeton	2,0
ruhendes Wasser	0,58
Ziegel	0.45

4.2.4 Elektrische Leitfähigkeit

Die **elektrische Leitfähigkeit** ist eine physikalische Größe, die die Fähigkeit eines Stoffes angibt, elektrischen Strom zu leiten, d.h. in seinem Inneren die Bewegung von Ladungsträgern zu ermöglichen. Die Leitfähigkeit eines Stoffes oder Stoffgemisches hängt von der Verfügbarkeit an beweglichen Ladungsträgern ab. Dies können locker gebundene Elektronen oder Ionen sein, die durch die Kraftwirkung eines elektrischen Feldes verschoben werden.

Die arteigenen Leitereigenschaften eines Werkstoffes werden durch den **spezifischen elektrischen Widerstand** ρ (sprich „rho“) gekennzeichnet. Er ist als der Widerstand eines Leiters von 1 mm² Leiterquerschnittsfläche und 1 m Länge definiert. Die Einheit des spezifischen elektrischen Widerstandes ist (Ω mm²)/m.

Die **elektrische Leitfähigkeit** σ (sprich „sigma“) oder κ (sprich „kappa“) ist dann der Kehrwert des spezifisch elektrischen Widerstandes ρ . Ihre Einheit ist m/(Ω mm²).

$$\kappa = 1/\rho \text{ [m/(\Omega mm}^2\text{)]}$$

Leiterwerkstoffe wie Kupfer, Aluminium oder Silber haben einen kleinen spezifischen elektrischen Widerstand und eine große elektrische Leitfähigkeit. Bei Festkörpern, insbesondere bei den Metallen, gibt es eine enge Beziehung zwischen elektrischer Leitfähigkeit und Wärmeleitfähigkeit. Gute elektrische Leiter sind im Allgemeinen auch gute Wärmeleiter. **Isolatoren** sind Stoffe, in denen die Ladungen fest an die Atome gebunden sind. **Halbleiter** wiederum sind Stoffe, deren elektrische Leitfähigkeit stark von verschiedenen Umgebungsbedingungen wie Temperatur, Einstrahlung von Licht oder Röntgenstrahlen oder Dotierung (Einbringen von Fremdatomen) abhängt. Als **Supraleiter** bezeichnet man Stoffe, die unterhalb einer bestimmten Temperatur praktisch keinen elektrischen Widerstand mehr aufweisen.

4.2.5 Die Aggregatzustände

Zustandsänderungen bei Stoffen durch Temperatur oder Druckwechsel

Herrscht beispielsweise an kalten Wintertagen im Inneren von Wohnräumen eine hohe Luftfeuchtigkeit, schlägt sich Wasserdampf an den im Verhältnis zu den Wänden kühleren Scheiben der Fenster in Form von Wassertropfen nieder. Der Wasserdampf muss an der kühlen Scheibe Energie abgeben, er nimmt einen energieärmeren Zustand ein und wird flüssig. Das Wasser hat seine **Zustandsform** geändert.

Wie das Wasser können auch andere Stoffe in **drei Zustandsformen** vorkommen: fest, flüssig und gasförmig. Die durch Temperatur- oder Druckwechsel hervorgerufenen Wechsel der Zustandsformen werden als **Aggregatzustände** bezeichnet.

Mit dem Aggregatzustand ändert sich auch das Volumen. Die meisten Stoffe besitzen im festen Zustand ein kleineres Volumen als im flüssigen Zustand. Das größte Volumen weisen sie im gasförmigen Zustand auf.

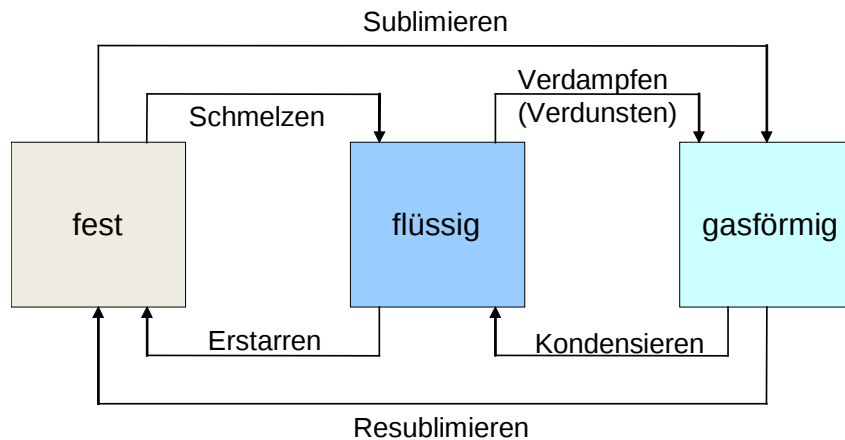


Abb. Xx: Die Zustandsformen der Stoffe

Übergänge

Den Übergang vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand bezeichnet man als **Verdampfen**. Oft wird dieser Begriff auch benutzt, um den Vorgang des **Siedens** zu beschreiben. Der umgekehrte Vorgang, also der Übergang vom gasförmigen in den flüssigen Zustand, wird mit **Kondensierung** bezeichnet. Bei verschiedenen Stoffen kann die Flüssigkeit auch unterhalb der Temperatur des Siedepunktes in den gasförmigen Zustand übergehen. Man spricht dann von **Verdunsten**. Die dazu benötigte Wärmemenge (Verdunstungswärme) entspricht der Verdampfungswärme und wird meist aus der Flüssigkeit genommen. Sie kühlt sich infolgedessen ab. Manche Stoffe gehen direkt vom festen in den gasförmigen Zustand über. Sie werden gar nicht erst flüssig. Diesen Vorgang nennt man **sublimieren**. Geht der gasförmige Stoff beim Abkühlen sofort in den festen Zustand über, **resublimiert** er.

4.2.6 Weitere Stoffeigenschaften

Weitere wichtige technische Stoffeigenschaften sind:

Elastizität ist die Eigenschaft eines Stoffes, nach Wegfall der Belastung wieder in seine Ausgangsform zurückzukehren.

Plastizität ist die Eigenschaft eines Stoffes, sich in bestimmten Grenzen bleibend umformen zu lassen.

Umformbarkeit ist die Eigenschaft eines Stoffes, durch äußere Beanspruchung bleibend umgeformt zu werden.

Gießbarkeit ist die Eigenschaft eines Stoffes, im flüssigen Zustand eine vorgegebene Form bleibend anzunehmen.

Spanbarkeit ist die Eignung eines Stoffes, beim Eindringen einer keilförmigen Schneide einen Span zu bilden.

4.3 Neue Materialien

Lange Zeit wurden Materialien nach den Erfahrungen ausgewählt, die man mit ihnen machte, später nach den Erkenntnissen aus vorwiegend mechanischen Tests. Heute ermöglichen es neue Verfahren, bis in die atomaren Strukturen vorzudringen und so quasi Werkstoffe auf dem Reißbrett zu erzeugen.

4.3.1 Nano - Das Material der Zukunft

Nano - Größendimension

In der Werbung für verschiedene Produkte wird immer öfter mit dem Hinweis auf die Nanotechnologie geworben: selbstreinigende Fassadenfarben, Sportkleidung, die nicht schmutzt oder Sonnenschutzcremes, deren Partikel wie kleine Spiegel funktionieren sollen. Was verbirgt sich hinter dem Begriff?

Unter Nanotechnologie versteht man die Erforschung und Produktion von Stoffstrukturen, Bauteilen oder Systemen im **Nanometerbereich**, die aufgrund ihrer geringen Größe besondere Eigenschaften und Funktionen besitzen. Beim Nanometerbereich handelt es sich um eine Größenordnung von einem bis einhundert Nanometern. Ein Nanometer ist ein Milliardstel Meter (10^{-9} m). Das entspricht etwa einer Kette von 5-10 Atomen. Zum Vergleich: Der Durchmesser eines menschlichen Haares ist um das hunderttausendfache größer.

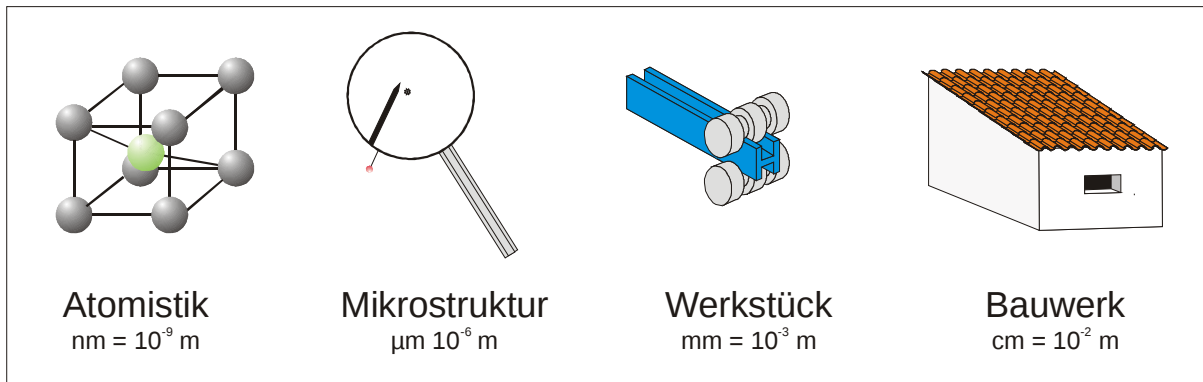


Abb. xx: Bezugsgrößen in der Technik

Nanotechnologie

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen zwei Herstellungswegen für Nanoprodukte. Beim **Top-Down-Ansatz** versucht man bestehende Strukturen, etwa eines Speicherchips, zu verkleinern. Beim **Bottom-Up-Ansatz** dagegen fügt man einzelne Atome oder Moleküle zu den gewünschten Objekten zusammen.

Ein wichtiges Werkzeug im Bereich der Nanotechnologie ist das **Rastertunnelmikroskop**. Mit seiner Hilfe lässt sich das Oberflächenprofil eines Stoffes auf atomarer Ebene darstellen (s. Abb. xx). Zudem lassen sich mit dem Rastertunnelmikroskop die Einzelatome sogar bewegen. So können Forscher gezielt in den Nano-Kosmos eingreifen.

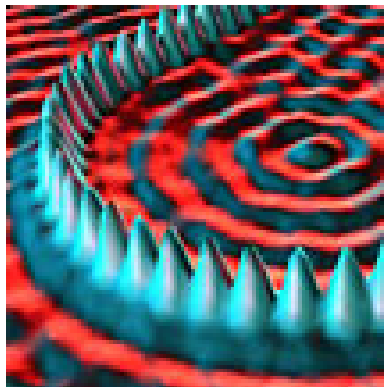


Abb. xx: Rastertunnelaufnahme (Quelle. br-alpha Nanotechnologie. Das Material der Zukunft. Stand: 04.07.2007)

Nanomaterialien

Im Bereich der Materialwissenschaften versucht man, über die Nanotechnologie Materialien mit verbesserten Eigenschaften zu entwickeln. Viele Nanomaterialien zeigen allein aufgrund der geringen

Größenordnung andere Eigenschaften als ihre chemisch identischen, aber in größeren Stoffstrukturen vorkommenden Verwandten. Solche Eigenschaften sind beispielsweise eine verbesserte Leitfähigkeit, extreme Härte oder unerwartete chemische Reaktivität.

Vielfache Verwendung finden Nanomaterialien bei der Beschichtung von Oberflächen. So werden beispielsweise bei der Herstellung kratzfester Brillengläser Nanopartikel auf die Oberfläche aufgebracht. Solche Gläser können auch mit Stahlwolle geputzt werden, ohne einen Kratzer zu bekommen. Die Verwendung von Nanokomposite - Verbundwerkstoffen aus Kohlenstoffen erlaubt dagegen leichte und extrem feste Materialien, die sich unter anderem für die Herstellung von Sportgeräten oder in der Luftfahrt verwenden lassen.

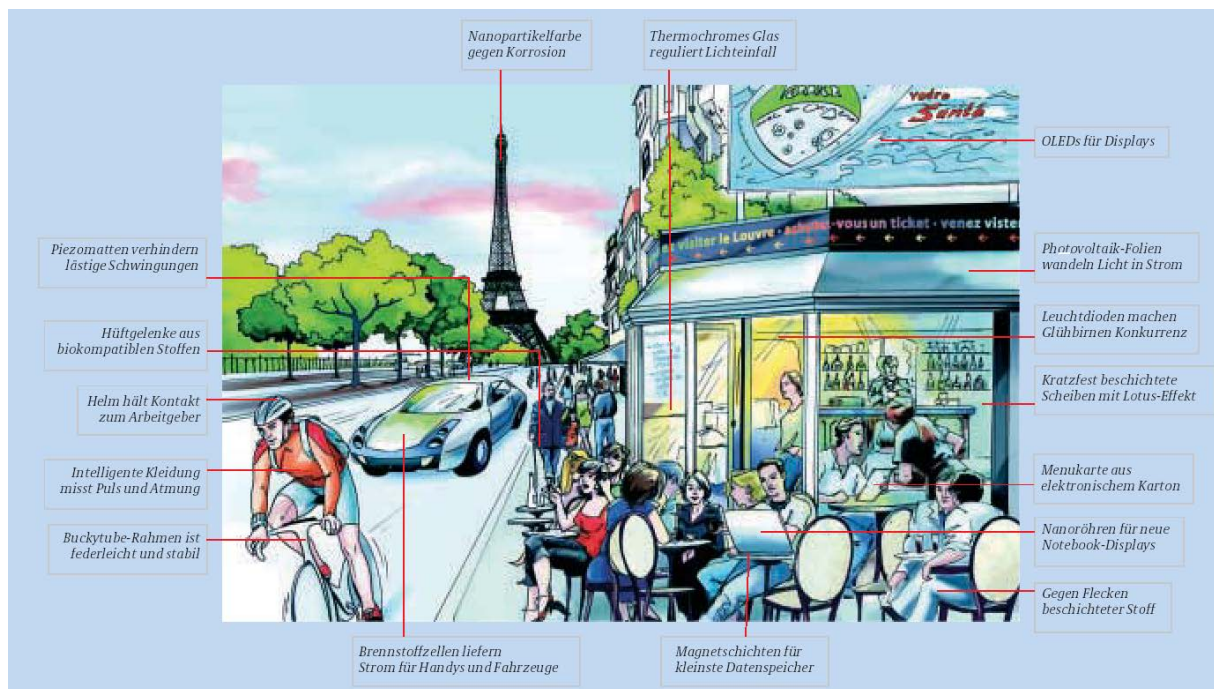


Abb. xx: Nanotechnologie im Alltag (Quelle: Bundesministerium für Bildung und Forschung, Nanotechnologie. Innovationen für die Welt von morgen. Berlin 2006, S. 28-29)

Gesundheitsschäden durch Nanomaterialien?

Was auf der einen Seite die besonderen Eigenschaften bedingt, nämlich die Größe der Partikel, kann – das zeigen neuere Untersuchungen – durchaus zum gesundheitlichen Risiko werden. Die kleinen Teilchen, die etwa in Sonnenschutzcremes oder Zahnpasta enthalten sind, können über die Haut oder über die Atemluft in das Innere des Körpers eindringen und dort zu Reaktionen und Veränderungen und in der Folge zu Krebs oder Abwehrreaktionen des Körpers führen.

4.3.2 Intelligente Werkstoffe

Funktion der „intelligenten Werkstoffe“

Werkstoffe, die sich selbst „heilen“ können, wenn sie reißen oder die sich Umgebungsbedingungen anpassen können. Werkstoffe, die Schwingungen dämpfen, Lärm unterdrücken oder Bruchgefahr melden. Was bislang nur in Kinofilmen möglich war, soll nun tatsächlich Realität werden. Das Stichwort heißt „intelligente Werkstoffe“. Auch bisher wurden bereits Werkstoffe hergestellt, die eine oder andere dieser besonderen Eigenschaften hatten. Allerdings musste hierbei das gewünschte Verhalten dadurch erreicht werden, dass zunächst von außen über Sensoren eine Änderung der Umgebungsbedingungen festgestellt wurde und dann über Schaltkreise so genannte Aktoren aktiviert wurden. Die intelligenten Werkstoffe sollen diese Vorgänge nun in Zukunft selbst erledigen. Sie sind in der Lage, selbstständig auf äußere Einflüsse wie beispielsweise Temperaturänderung oder Lichtwechsel zu reagieren und dann ohne weitere Ansteuerung eine Aktion auszulösen.

Anwendungsfelder

Das Anwendungsgebiet intelligenter Werkstoffe ist ausgesprochen vielfältig. Von Piezo-Keramiken über Formgedächtnislegierungen bis hin zu intelligenten Flüssigkeiten bieten sie Produktentwicklern ein reichhaltiges Spektrum an Verwendungsmöglichkeiten. Das Besondere ist die **Wandlungsfähigkeit** der Stoffe, ohne dass es einer externen Steuerung bedarf. Die Steuerung übernimmt der Stoff selbst, was in vielen Bereichen zu innovativen Neuerungen führt. So können thermochrome Kunststoffe beispielsweise in der Lebensmittelüberwachung eingesetzt werden. Eine Farbänderung im Kontrollfeld der Verpackung zeigt an, ob die Kühlkette unterbrochen wurde und ob das Lebensmittel noch haltbar oder schon verdorben ist.

Ein weiteres Einsatzfeld finden intelligente Werkstoffe in der Medizin, beispielsweise bei Stents. Dabei handelt es sich um kleine Gittergerüste aus Metall, die in Gefäße implantiert werden, um diese nach außen abstützen und eine Verstopfung oder einen Verschluss zu verhindern. Hiervon profitieren vor allem Patienten, deren Herzkranzgefäße verengt oder verschlossen sind. Die Stents der Zukunft bestehen aus intelligenten Stoffen: Sie werden durch einen minimalen Eingriff direkt in die Ader injiziert und nehmen am betroffenen Gefäß selbständig die gewünschte Form an, die das Gefäß weitet und die Blutzirkulation verbessert. Ausgelöst wird diese Wandlung durch die Körpertemperatur. Der Vorteil für die Patienten ist die Möglichkeit, eine komplizierte und belastende Operation durch einen kleinen Eingriff zu ersetzen, der die gleiche Wirkung erzielt. ²

4.3.3 Leichte und Verbundwerkstoffe

Überall dort, wo Massen bewegt werden und zu ihrer Bewegung Energie aufgewendet werden muss, spielt die Überlegung, wie Körper leichter gebaut werden können, eine große Rolle. Gerade vor dem Hintergrund rasant gestiegener Rohstoff- und Energiepreise gewinnen daher Leichtbaukonzepte zunehmend an Bedeutung. Einsatzgebiete für Leichtwerkstoffe sind hier vor allem der Fahrzeugbau und die Luft- und Raumfahrtindustrie. Aber auch in der Verpackungsindustrie, der Bauindustrie sowie im Maschinen- und Anlagenbau spielen Gewichtsfragen eine Rolle. Leichte Werkstoffe werden außerdem bei Gehäusen für mobile technische Geräte oder bei Sport- und Freizeitausrüstungen bevorzugt.

² <http://www.bmbf.de/de/3787.php> Stand 18.02.2009

Forschungen zu **Verbundwerkstoffen** zielen darauf ab, durch die Kombination zweier Stoffe mit spezifischen Eigenschaften einen neuen mit anderen Eigenschaften zu erhalten. Ein bereits seit langem erprobter Verbundbaustoff ist der Stahlbeton. Die Stähle im Inneren besitzen eine hohe Zugfestigkeit, der Beton eine hohe Druckfestigkeit. Zudem schützt der Beton den Stahl vor Korrosion. In ähnlicher Weise kombiniert man beispielsweise Kohlenstofffasern mit Kunststoff. Der dabei entstehende Werkstoff, der **carbonfaserverstärkte Kunststoff** (CFK), ist deutlich leichter als Stahl, aber ebenso steif.

5. Grundkategorie Energie

Was ist Energie? In welchen Formen kommt sie vor? Wie muss sie für die Nutzung umgewandelt werden?

Inhalt

Abstract.....	1
5.1 Energie – Formen, Einheiten und Kennwerte	3
5.2 Energieträger.....	6
5.2.1 Fossile Energieträger	7
5.2.2 Kernenergie – Energiegewinnung durch Kernspaltung	9
5.2.3 Regenerative Energieträger bzw. erneuerbare Energiequellen	10

Abstract

Was wir physikalisch mit **Energie** bezeichnen, versetzte Menschen in früheren Zeiten in Erstaunen: Sonne, Erdwärme, Stürme oder brennbare Flüssigkeiten wie Erdöl bildeten die Grundlage für Religionen und Mythen. Heute ist die Beschäftigung mit Energie weitaus weniger mythisch. Im Vordergrund steht vielmehr das handfeste Problem, angesichts des weltweit steigenden Energiebedarfs sichere Energiequellen zu finden und diese auch effektiv zu nutzen. Was genau aber ist eigentlich Energie und in welchen Formen kommt sie vor? Damit beschäftigt sich diese Lerneinheit.

Energie kann über das erklärt werden, was es kann, nämlich **Arbeit verrichten**. Energie kann weder erzeugt, noch vernichtet werden, sondern nur von einer Form in eine andere umgewandelt werden, man spricht daher von einer Erhaltungsgröße. Die verschiedenen **Formen der Energie** lassen sich zu vier großen Gruppen zusammenschließen:

- Mechanische Energie (kinetische, potentielle Energie oder Spannungsenergie)
- Thermische oder innere Energie
- Elektrische Energie
- Bindungsenergie

Als Energie-Einheiten werden Newtonmeter [Nm], Watt-Sekunde [Ws] oder Joule [J] verwendet.

Beim Betrieb technischer Systeme wird Energie umgesetzt. Bezieht man die aufgewendete oder abgegebene Energie auf die dafür aufgewendete Zeit spricht man von der **Leistung** eines Systems. Die Einheit für die Leistung ist das Watt [W].

Will man Aussagen über die Energiebilanz eines technischen Systems treffen, ist das Verhältnis aus **zugeführter Energie** und **Nutzenergie** von Bedeutung. Der dimensionslose Wert, der sich daraus ergibt, heißt **Wirkungsgrad** und ist immer kleiner als Eins.

Die Energieträger, die in der Natur vorkommen (**Primärenergieträger**) können in den meisten Fällen nicht direkt genutzt werden. Im Anschluss an ihre Förderung oder Weiterverarbeitung werden sie **Sekundärenergieträger** genannt. Sie lassen sich besser transportieren oder lagern. Bei den verschiedenen Verbrauchern (Hauhalte, Industrie, Gewerbe oder Landwirtschaft) werden sie in die eigentliche **Nutzenergie** umgewandelt. Die mit Abstand am meisten verbrauchten Primärenergieträger in Deutschland sind die **fossilen Energieträger** Erdöl und Erdgas.

Fossile Energieträger sind das Resultat aus **Biomasse** und **Kleinstlebewesen**, die in Urzeiten durch Sedimentation und Luftabschluss entstanden. Sie sind nur in begrenztem Maße vorhanden und ihre Nutzung führt u.a. zur Produktion des klimaschädlichen Kohlendioxids (CO₂).

In **Atomkraftwerken** wird die Energie genutzt, die durch die Spaltung von Atomkernen vorzugsweise des Uranisotops U 235 freigesetzt wird. Die Kernspaltung eines Uranatoms lässt sich durch **Neutronenbeschuss** beeinflussen. Die bei der Spaltung freiwerdenden Neutronen können ihrerseits andere Kerne spalten (**Kettenreaktion**).

Regenerative Energien sind solche, die nach menschlichen Maßstäben nicht aufgebraucht werden können, weil sie entweder, wie die **Solarenergie** durch die **Kernfusion in der Sonne** (Sonnenstrahlen), durch den **radioaktiven Zerfall von Isotopen** in der Erdkruste (Erdwärme), die **Erdrotation** und den damit verbundenen Effekten (Gezeiten, Wind- und Wasserkraft) oder durch **nachwachsende Rohstoffe** (Biomasse) gewonnen werden können.

Bei der Geothermie wird Energie durch heißes Wasser gewonnen, das entweder direkt gefördert wird oder in warme Erdschichten gepumpt wird. In Deutschland kann die Geothermie nur an wenigen Stellen effektiv genutzt werden, zum Beispiel im Voralpenland. Eine andere Möglichkeit der Nutzung der Erdwärme ist der Einsatz von **Wärmepumpen**. Mit ihnen lässt sich unter Zuführung von elektrischer Energie das Temperaturniveau eines Trägermediums erhöhen, das vorher durch den Wärmeaustausch mit Erdreich oder Grundwasser gewonnen wurde.

Die Kraft der Sonne kann grundsätzlich **aktiv** oder **passiv** genutzt werden. Von **passiver Nutzung** solarer Strahlungsenergie spricht man dann, wenn die Wärme der Sonne ohne weitere technische Apparaturen unmittelbar genutzt wird. Das ist beispielsweise bei Gewächshäusern oder Wintergärten der Fall. Hier wird die eintreffende kurzwellige Strahlung in langwellige Wärmestrahlung umgewandelt. Von **aktiver Nutzung** spricht man, wenn technische Geräte und Apparaturen so gestaltet werden, dass sie solare Strahlungsenergie absorbieren oder reflektieren und einem technischen System zuführen können. Das ist bei Sonnenkollektoren und Solarzellen (Photovoltaik), bei Solarkraftwerken und indirekt auch bei Wärmepumpen der Fall.

Bei der **Photovoltaik** wird über Solarzellen direkt Strom erzeugt. Die Solarzellen, die meist aus Silizium bestehen, fungieren als photoelektrische Wandler. Die solare Strahlungsenergie löst Elektronen von den Siliziumatomen. Es bilden sich positiv und negativ geladene Zonen. Dadurch entsteht eine Spannung. Der daraus resultierende **Gleichstrom** kann nach Zwischenschaltung eines **Wechselrichters** in Form von Wechselstrom dem Stromnetz zugeführt werden.

Anders als bei der Photovoltaik wird bei **solarthermischen Anlagen** die Sonnenstrahlung in thermische Energie umgewandelt. Wie in einem Gewächshaus führt die in einen **Sonnenkollektor** einfallende kurzwellige Strahlung zur Erwärmung eines Mediums, das die Wärme anschließend beispielsweise an einen Heizungskreislauf abgeben kann.

Solarkraftwerke sind vor allem in sonnenreichen Gebieten sinnvoll. Bessere Bedingungen herrschen in Deutschland für die Nutzung der **Windenergie** vor. Sie kann bereits ab einer mittleren Windgeschwindigkeit von 4 m/s wirtschaftlich genutzt werden. Die Ursache für die Windenergie ist ebenfalls die **Sonne**, die Luftmassen unterschiedlich stark erwärmt und damit **Druckunterschiede** verursacht.

Die Ressourcen für die Nutzung der **Wasserkraft** sind in Deutschland weitestgehend ausgeschöpft. Man unterscheidet im Wesentlichen drei Kraftwerkstypen. **Laufwasserkraftwerke** (an Flüssen), **Speicherkraftwerke** mit Sperrmauern und Staubecken und **Gezeitenkraftwerke**, die den Tidenhub nutzen. Eine weitere Möglichkeit ist es, den durch Wellen verursachten Unter- und Überdruck in einer Röhre für den Antrieb von Generatoren zu nutzen.

Der Biomasse wird nach Wind und Wasser mit das größte Potenzial für die Energieversorgung der Zukunft zugebilligt. Zur Biomasse zählt man alle **nachwachsenden Rohstoffe**, in denen die durch Photosynthese umgewandelte Energie der Sonne in Form von organischem Material gespeichert ist. Die energetische Nutzung der Hauptbestandteile von Biomasse, Kohlenstoff und Wasserstoff erfolgt entweder **unmittelbar** durch Verbrennung zu Heizzwecken oder zur Stromgewinnung sowie **mittelbar** nach der Weiterbearbeitung über verschiedene verfahrenstechnische Prozesse zu Brenn- bzw. Kraftstoffen (Biodiesel, Bioethanol, Biogas). Energetisch effizienter ist momentan die **unmittelbare Verwertung**. Neuere Verfahren versprechen die Energiebilanz bei der Nutzung von Biomasse vor allem dadurch zu verbessern, dass im Gegensatz zu den Brennstoffen wie Pflanzenöl oder Biodiesel die gesamte Ausgangsmasse genutzt wird. Zu nennen ist hier die Herstellung von Ethanol über einen Pilz (**Ethanol aus Lignozellulose**) sowie ein spezielles Raffinerieverfahren („**Biomasse to liquids**“, **BTL**), bei dem Diesel gewonnen werden kann.

Ein relativ ausgereiftes Verfahren ist die **Biogasgewinnung**, bei der Gülle, Festmist, Grün- und Mähgut sowie organische Abfälle und Reststoffe genutzt werden. Das Biogas enthält rund 60 % Methan und ca. 40 % Kohlendioxid. Nach einer Reinigung kann das Gas zum Beispiel für die Heizung, die

Warmwasserbereitung oder den Betrieb von Gasmotoren und damit auch für die Stromerzeugung weiterverwendet werden.

Schlüsselwörter	
Mechanische Energie (kinetische, potentielle Energie oder Spannungsenergie)	Regenerative Energie
Thermische oder innere Energie	Solarenergie
Elektrische Energie	Photovoltaik
Bindungsenergie	Solarthermie
Energieeinheiten	Windenergie
Leistung	Wasserkraft
Zugeführte Energie, Nutzenergie	Laufwasserkraftwerk, Speicherkraftwerk, Gezeitenkraftwerk
Energiebilanz und Wirkungsgrad	Geothermie
Primärenergieträger	Biomasse
Sekundärenergieträger	Nachwachsende Rohstoffe
Fossile Energieträger	Brennstoffe der ersten, zweiten oder dritten Generation
Kohlendioxid	
Atomspaltung, Kettenreaktion	

5.1 Energie – Formen, Einheiten und Kennwerte

Wärme, Stürme, Feuer und Naturgewalten – die Wirkung dessen, was physikalisch mit Energie bezeichnet wird, begegnet dem Menschen in so vielgestaltiger und vor allem mächtiger Form, dass unsere Vorfahren ihren Ursprung verständlicherweise im Göttlichen vermuteten. Es versteht sich, dass die Götter solch mächtige Kraftquellen nicht einfach aus der Hand geben würden. Um in den Besitz des Feuers zu gelangen, bedurfte es da schon eines Menschenfreundes wie Prometheus.

Die tief in Mythologie oder Religion eingewobene Ehrfurcht vor dem Feuer, dem Licht oder anderen Quellen der Energie ist uns heute etwas abhandengekommen. Angeschlossen an unterirdische Energienetze, Gas- oder Ölleitungen, mit ihren jederzeit anzapfbaren Schnittstellen wie Steckdosen oder Tankstellen, sind wir ja der akuten Sorge um den täglichen Nachschub an Energie enthoben. Wenig zu spüren ist außerdem von der Euphorie, die die Menschen noch in den letzten beiden Jahrhunderten angesichts der Möglichkeiten des Erdöls und später der Atomspaltung befiel.

Heute sind wir mit der Erkenntnis konfrontiert, dass die von uns vorrangig genutzten Energievorräte endlich sind und die Atomkraft mit dem unwägbaren Makel des Restrisikos behaftet ist.

Angesichts des weltweit steigenden Bedarfs an Energie, Preisentwicklungen an den internationalen Energiemärkten, rohstoffbedingter Konflikte, atomarer Unfälle, der Gefahr politischer Erpressbarkeit sowie den Folgen des Klimawandels steht die Menschheit vor der Aufgabe, sichere Energiequellen zu finden und diese auch effektiv zu nutzen. Was genau aber ist eigentlich Energie?

Energie – Definition

Eine Definition dessen, was wir mit Energie bezeichnen, bleibt uns die Physik bis heute schuldig. Was sie genau ist, können wir demnach allenfalls philosophisch ergründen. Dagegen wissen wir sehr genau, was sie kann, nämlich Arbeit verrichten. Für eine **Arbeitsleistung** muss eine Energieform allerdings in eine andere umgewandelt werden. Nach dem Gesetz der Erhaltung der Energie kann Energie weder erzeugt noch vernichtet werden, es wechselt lediglich die Form. Energie ist damit eine so genannte **Erhaltungsgröße**.

Energieformen und Einheiten

Eine Grundlage für das Verständnis von Energieproblemen sind Kenntnisse über die verschiedenen Energieformen sowie die Einheiten zu ihrem Vergleich. Energie tritt in vielerlei Formen auf, die zu vier großen Gruppen zusammengefasst werden können:

- Mechanische Energie (kinetische, potentielle Energie oder Spannungsenergie)
- Thermische oder innere Energie
- Elektrische und magnetische Energie
- Bindungsenergie

Als **mechanische Energie** bezeichnet man den Zustand, den ein Körper einnimmt, nachdem Arbeit an ihm verrichtet wurde. Die Energie lässt sich damit über die Arbeit berechnen, beispielsweise aus dem Produkt Kraft x Weg.

Mechanische Energie = Kraft • Weg
Formel: $W = F \cdot s$
Einheit: Newtonmeter [Nm]

Zu Ehren des britischen Physikers James Prescott Joule (1818-1889) (berühmt durch seine Forschung zur Thermodynamik) wurde die Einheit "Joule" (J) eingeführt:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm}$$

Die Einheit **Joule** wird besonders bei der Berechnung **thermischer Energie** verwendet. Ein Joule stellt allerdings eine sehr kleine Energiemenge dar. Da sich in der Praxis damit schnell hohe Joule-Werte ergeben, wird entweder mit kJ, MJ oder auch mit anderen Einheiten wie Kilokalorie [kcal], Kilowattstunde [kWh] oder Tonnen Steinkohle Einheiten [tSKE] gerechnet.

Die **elektrische Energie** lässt sich aus dem Produkt aus Stromstärke, Spannung und Zeit berechnen.

Elektrische Energie = Stromstärke • Spannung • Zeit
Formel: $W = U \cdot I \cdot t$
Einheiten: Wattsekunde [Ws] oder Kilowattstunden [kWh].
Ein Joule entspricht einer Wattsekunde oder $1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$
Durch Multiplikation mit 3600 (da $1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$) ergibt sich die Wattstunde: $1 \text{ Wh} = 3,6 \text{ kJ}$
Um auf Kilowattstunde umzurechnen, erweitert man wiederum mit 1000, also:
 $1000 \text{ Wh} = 1000 \cdot 3600 \text{ J}$, also: $1 \text{ kWh} = 3.600.000 \text{ J}$
Mit M für Mega (Millionen): $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$

Unter **Bindungsenergie** wird die Energie verstanden, die freigesetzt wird, wenn Nukleonen (Protonen und Neutronen) zu einem Atomkern verschmelzen. Es handelt sich dabei auch um die Energie, die im Falle einer Kernspaltung zu einer Trennung der Nukleonen führt.

Neben diesen physikalisch korrekt bezeichneten Formen und Einheiten der Energie werden im Rahmen energetischer Betrachtungen weitere Begriffe wie **Primär-** und **Sekundärenergie** oder auch **Nutz-** und **Endenergie** verwendet (s. Abschnitt xx).

Energetischer Kennwert Leistung

Bei der Analyse der energetischen Vorgänge technischer Systeme, etwa bei Heizsystemen, Motoren oder Beleuchtungseinrichtungen, spielt nicht nur die verrichtete Arbeit und die damit verbrauchte Endenergie eine Rolle, sondern oft auch die **Zeit**, in der diese **Energie zur Verfügung** gestellt wird. So

macht es ja durchaus einen Unterschied, ob zwei Autos denselben Berg in 3 min oder in 13 min hochfahren. Die verrichtete Arbeit ist physikalisch bei beiden gleich. Der Unterschied der Autos wird aus dem jeweiligen Verhältnis zwischen verrichteter Arbeit und der dazu benötigten Zeit ersichtlich. Dieses Verhältnis heißt **Leistung**.

Leistung = Arbeit/Zeit	
Formel:	$P = \frac{W}{T}$
Einheit:	Watt [W]

Die Leistung eines technischen Systems ist ein wichtiger Kennwert. Wenn etwa ein Ofenbauer die Leistung seines Ofens mit 4 kW angibt, bedeutet das, dass der Ofen maximal 4000 Joule Wärmeenergie pro Sekunde bereitstellen kann. Angesichts steigender Energiepreise und Umweltprobleme ist es natürlich wichtig, dass diese Leistung mit einem möglichst geringen **Energieeinsatz** erzielt wird. Da bei einem Heizsystem aber eine ordentliche Portion Energie allein schon durch den Schornstein entweicht, muss die in Form von Brennstoffen zugeführte Energie höher sein.

Die Leistungsangabe auf dem Typenschild eines Föns in Höhe von 500 W bedeutet, dass der Fön maximal 500 J pro Sekunde bzw. 500 Ws pro Sekunde aus dem Stromnetz aufnehmen kann, nicht jedoch, dass er diese Energie auch eins zu eins wieder abgeben kann.

Deutlich wird dieses Ungleichgewicht zwischen **aufgewendeter Energie** und **Nutzenergie** auch beim Vergleich einer Glühbirne mit einer Energiesparleuchte oder einer LED-Lampe mit jeweils gleicher Wattzahl. Bringt man alle drei Lampen zum Leuchten, wird man feststellen, dass die Energiesparleuchte oder die LED-Lampe heller sind. Wenn die Leuchten aber exakt dieselbe Menge an Energie aus dem Netz ziehen, muss bei der Glühbirne im Vergleich zu den beiden anderen Leuchtmitteln etwas auf der Strecke bleiben. Dieser „verlorenen“ Energie kann man leicht nachspüren, wenn man die Glühbirne anfasst (Vorsicht!). Sie wird nämlich in Wärmeenergie umgewandelt.

Bei der energetischen Bewertung eines technischen Systems ist daher neben der **zugeführten Leistung** bzw. zugeführten Energie auch die **abgegebene Leistung** bzw. abgegebene Energie von Bedeutung.

Wirkungsgrad

Es ist unmöglich, ein technisches System so zu gestalten, dass keine Energieverluste auftreten. Energieverluste werden durch Umwandlung der aufgewendeten Energie in unerwünschte Energieformen verursacht. Bei einer Schlagbohrmaschine wird z.B. ein Teil der über das Stromnetz aufgenommenen Energie in Wärme- und auch Schallenergie umgewandelt. Die von der Maschine erbrachte Leistung, die **Nutzleistung** (oder **abgegebene Leistung**), ist also immer geringer als die **zugeführte Leistung**. Das Verhältnis von Nutzleistung zu zugeführter Leistung wird als **Wirkungsgrad η** (sprich „nü“) bezeichnet.

Nutzleistung	
Wirkungsgrad =	$\frac{\text{zugeführte Leistung}}{P_{ab}}$
Formelzeichen: η =	$\frac{P_{zu}}{P_{ab}}$
Einheit:	keine Einheit, dimensionslos

5.2 Energieträger

Um Energie bereitzustellen, werden **Energieträger** benötigt. Dabei handelt es sich um Rohstoffe oder Stoffe, die in chemischer oder nuklearer Form Energie speichern und die für die Energiegewinnung oder den Energietransport nutzbar gemacht werden können. Es wird zwischen **Primärenergieträgern**, **Sekundärenergieträgern** und der eigentlichen **Nutzenergie** unterschieden (s. Abb. xx). Die Primärenergieträger können weiter unterteilt werden in die regenerativen und sich langsam aufbrauchenden Energien.

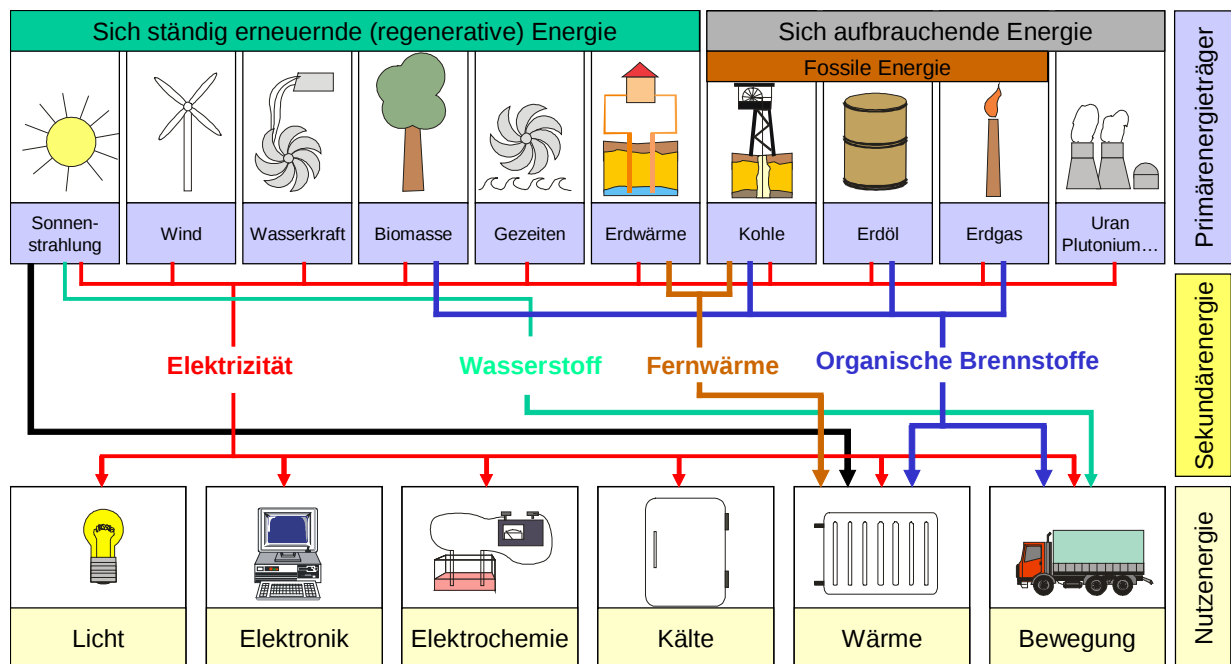


Abb. Xx: Energieformen

Primäre Energieträger

Die Energieträger, die in der Natur vorkommen (**Primärenergieträger**) können in den meisten Fällen nicht direkt genutzt werden. Zu den Primärenergieträgern werden alle die Energiequellen und Rohstoffe **vor** ihrer **Umwandlung** zu solchen Energieträgern gezählt, die besser **transportiert** oder gelagert werden können. Es handelt sich damit um Energieträger in ihrer **natürlichen Erscheinungsform** wie zum Beispiel Sonnenstrahlung, Windenergie, Wasserkraft, Erdwärme, Öl usw.

Einige Primärenergieträger müssen lediglich gefördert und zur weiteren Verwendung transportiert werden (z.B. Kohle). Erdöl oder Natururan dagegen müssen weiterverarbeitet werden. Den Verbrauch an Primärenergieformen in Deutschland zeigt die nachfolgende Tabelle.

Tab. Xx: Primärenergieverbrauch in Deutschland 2007 und 2013 (Quelle: Energieagentur)

Energieträger	Anteile in % 2007	Anteile in % 2013
Mineralöle	33,4	33,6
Erdgas	22,69	22,9
Steinkohle	14,3	12,9
Braunkohle	11,6	11,8
Kernenergie	11,1	7,7
Erneuerbare Energien	7,0	10,4
Sonstige	0,0	0,8
Insgesamt	100,0	100

Sekundäre Energieträger

Als Sekundärenergieträger bezeichnet man jene Energieformen oder –stoffe, die durch **Umwandlung von Primärenergieträgern** entstehen. Zu den sekundären Energieträgern zählen insbesondere Elektrizität, Wasserstoff aber auch organische Brenn- und Treibstoffe, wie etwa Benzin, Biogas, Ethanol, Methanol und Biodiesel. Auch radioaktive Stoffe, die in Kernzerfallsgeneratoren eingesetzt werden, können als sekundäre Energieträger bezeichnet werden, wenn sie zu diesem Zweck in Kernreaktoren erzeugt wurden.

Der Blick auf die Tabelle oben macht deutlich, dass fossile Energieträger nach wie vor die entscheidende Rolle bei der Energiebereitstellung spielen.

5.2.1 Fossile Energieträger

Fossile Brennstoffe sind die in Urzeiten aus **Biomasse** und **Kleinstlebewesen** entstandenen Energieträger wie Braun- und Steinkohle, Erdöl und Erdgas. Die Pflanzen oder Lebewesen wurden durch Sedimentation von der Atmosphäre abgeschlossen und konnten somit nicht verrotten. Ihre chemische Energie blieb erhalten. Allen fossilen Energieträgern ist gemeinsam, dass sie nur in begrenztem Maß vorhanden sind und ihre Nutzung zur Produktion des klimaschädlichen Kohlendioxids führt (**CO₂-Emission**).

Bestandteile bestimmen Verbrennungsprodukte und Heizwerte fossiler Brennstoffe

Die fossilen Brennstoffe Heizöl, Kohle oder Gas bestehen hauptsächlich aus Kohlen- Wasserstoffverbindungen (s. Tabelle xx). Die Elemente Kohlenstoff, Wasserstoff und Schwefel sind **brennbar**, alle anderen Bestandteile wie Luft, Wasser oder Mineralien sind unbrennbar. Bei vollständiger Verbrennung reagiert der Kohlenstoffanteil des Brennstoffs mit Sauerstoff zu **Kohlendioxid**, der **Wasserstoffanteil** zu **Wasser**. Der **Schwefel** zu **Schwefeldioxid**. Der Kohlenstoffgehalt verschiedener Brennstoffe bestimmt den absoluten CO₂-Gehalt der Abgase bei der Verbrennung.

Die Verbrennungsgleichungen im Einzelnen:

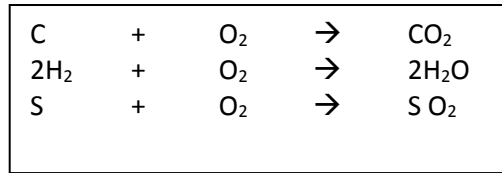


Tabelle xx: Bestandteile verschiedener Brennstoffe in Gewichtsprozent

Zusammen- setzung	Kohlen- stoff C	Wasser- stoff H ₂	Schwefel S	Mineralien	Wasser	Sauerstoff O ₂	Stickstoff N ₂
Brennstoff							
Holz	42,4	5,1	-	0,2	15	37,2	0,1
Braunkohle	54,5	4,2	0,4	4,0	19	17,2	0,7
Flammkohle	76,2	4,9	1,0	6,0	4,0	6,5	1,4
Fettkohle	78,3	5,0	0,6	5,0	4,0	6,1	1,0
Eßkohle	79,9	3,9	0,9	9,0	2,5	2,6	1,2
Anthrazit	85,4	3,8	1,2	3,9	1,0	3,6	1,1
Koks	86,3	0,4	0,9	8,0	3,0	0,5	0,9
Heizöl	85,6	13,4	0,3	-	-	0,6	0,1

Verbrennt man 1 kg Kohlenstoff (C), wird eine Wärmeenergie von 33 900 kJ frei, bei einem Kilogramm Wasserstoff (H₂) sind es 120 000 kJ und 1 kg Schwefel (S) liefert 9300 kJ.

Die jeweiligen **prozentualen Anteile** an C, H₂ oder S eines Brennstoffs bestimmen letztendlich auch den Energiegehalt, der bei einer vollkommenen und verlustfreien Verbrennung frei wird. Man spricht in diesem Zusammenhang vom so genannten **Heizwert**.

Aufbereitung fossiler Brennstoffe

Gas und Rohöl können im geförderten Zustand nicht genutzt werden, sondern müssen vor ihrer Nutzung weiterverarbeitet werden. Vom Gas müssen flüssige Bestandteile sowie Schwefelwasserstoff und Kohlendioxid abgetrennt werden.

Das Rohöl wird in Raffinerien vor allem durch Destillation weiter verarbeitet (s. Abb. Xx). Bei der sogenannten „fraktionierten“ Destillation sammeln sich die unterschiedlichen Bestandteile des Öls auf den verschiedenen Ebenen („Glockenböden“) der „Fraktionierkolonne“ und werden dort abgeleitet. Im Destillationsturm steigen die flüchtigeren Anteile des Rohöls mit niedrigem Siedepunkt am schnellsten und weitesten nach oben. Die schweren Rohölbestandteile mit hohem Siedepunkt dagegen verflüssigen sich bereits wieder in den unteren Bereichen des Turms.

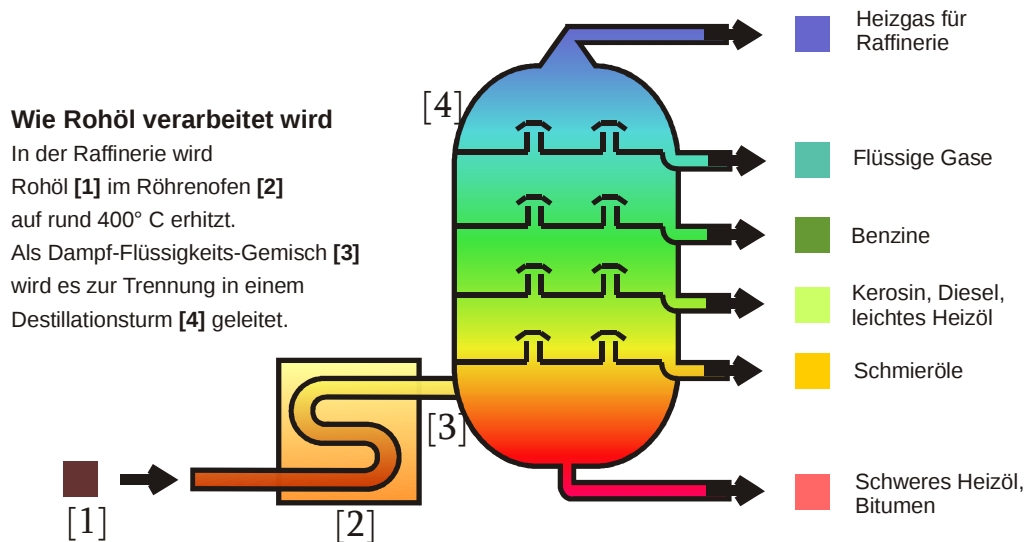


Abb. Xx: Verarbeitung von Rohöl in der Erdölraffinerie

5.2.2 Kernenergie – Energiegewinnung durch Kernspaltung

Nach der Nuklearkatastrophe von Fukushima (Japan) im März 2011 ist Deutschland in den Atomausstieg eingestiegen. Der Anteil der Kernenergie am Gesamtenergieaufkommen wird daher weiter abnehmen. Was passiert aber eigentlich bei einer Kernspaltung?

Kernspaltung

Die Entdeckung der **Kernspaltung** beruht auf Arbeiten von Otto Hahn und Fritz Straßmann 1938 in Berlin. Bei der Spaltung eines Atomkerns wird dieser unter **Freisetzung von Energie** in zwei oder mehr Bestandteile zerlegt. Grundsätzlich kann jedes Atom gespalten werden. Verhältnismäßig einfach ist dies allerdings bei bestimmten **Uran-** oder **Plutoniumisotopen** zu realisieren. Das am besten geeignete spaltbare Material ist das Uranisotop U 235.

Die Kernspaltung eines Uranatoms lässt sich durch **Neutronenbeschuss** künstlich beeinflussen. Für die Spaltung jedes einzelnen Atoms ist jeweils ein Neutron notwendig. Es entstehen im Verlauf der Kernreaktion neben anderen Spaltprodukten die Trümmerkerne Krypton und Barium sowie drei weitere Neutronen. Die frei werdenden Neutronen können ihrerseits wieder Kerne spalten, so dass eine Kettenreaktion entsteht. Voraussetzung ist, dass die Neutronen ihre Geschwindigkeit verringert haben.

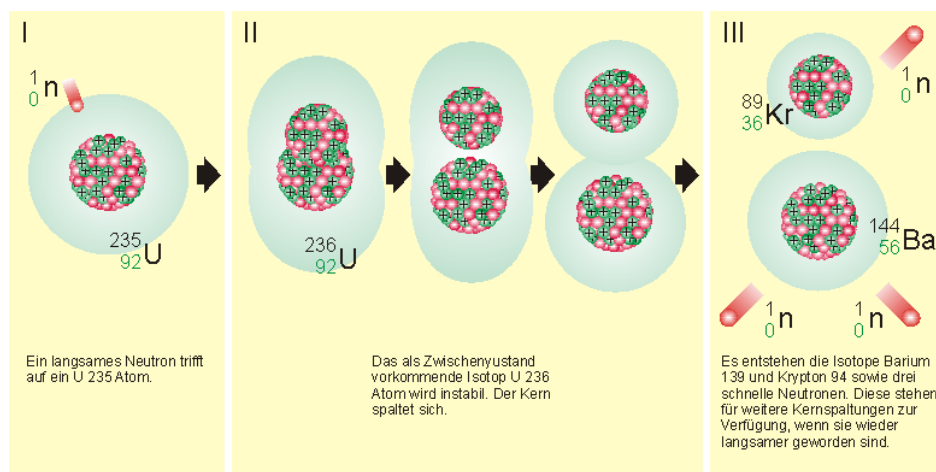


Abb. Xx: Der Vorgang der Kernspaltung

Die Energiemenge, die über die Kernspaltung gewonnen werden kann, lässt sich an folgendem Vergleich ermessen: Für die Versorgung einer Großstadt wie Hamburg einen Monat lang mit Strom reicht im Prinzip ein Würfel mit der Kantenlänge von 10 cm aus Uran 235. Die gleiche Menge an Energie in Steinkohle würde einen Würfel mit der Kantenlänge von 40 m erforderlich machen.

5.2.3 Regenerative Energieträger bzw. erneuerbare Energiequellen

Angesichts des durch wirtschaftlichen Aufschwung und Zunahme der Weltbevölkerung bedingten **steigenden Energiebedarfs** sowie der prognostizierten Folgen des **Klimawandels** stellt sich die Frage nach sicheren und nachhaltigen **Energiequellen der Zukunft**.

Während in einigen Ländern der Atomkraft weiterhin eine wichtigere Rolle bei der Energieversorgung zugestanden wird, fokussieren sich besonders in Deutschland die Überlegungen auf die regenerativen Energiequellen. Deren Vorteile sind nicht von der Hand zu weisen: Anders als bei heute vorherrschenden fossilen Energieträgern ist die **Reichweite** regenerativer Energiequellen theoretisch **unendlich**. Zudem ist die Nutzung in vielerlei Hinsicht **umweltverträglicher**.

Aber die Energiequellen der Zukunft müssen auch **leicht verfügbar** sein und **gesellschaftlich akzeptiert** werden. Das gilt auch für regenerative Energiequellen. Einen Einfluss auf die Akzeptanz haben beispielsweise die **Kosten für den Verbraucher** sowie die **Nebenwirkungen für die Umwelt** (z.B. akustische Belästigung bei Windrädern, Beeinträchtigung des Landschaftsbildes durch Strommasten etc.). Was regenerative Energiequellen ausmacht und welche es gibt, soll nun behandelt werden.

Definition und Ursachen

Regenerative Energien sind solche, die nach menschlichen Maßstäben nicht aufgebraucht werden können, weil sie entweder, wie die Solarenergie durch die **Kernfusion in der Sonne** (Sonnenstrahlen), durch den **radioaktiven Zerfall von Isotopen** in der Erdkruste (Erdwärme), die **Erdrotation** und den damit verbundenen Effekten (Gezeiten, Wind- und Wasserkraft) oder durch **nachwachsende Rohstoffe** (Biomasse) gewonnen werden können.

Die meisten regenerativen Energiequellen lassen sich in Bezug auf ihre **Entstehungsursache** auf die **Sonne**, genauer auf die Solarstrahlung, zurückführen: Biomasse, Wasserkraft, Windkraft. Daneben können als Energieursache auch die Energie, die durch den **Isotopenzerfall** im Erdinneren entsteht und die **Gravitationsenergie** aus dem Zusammenspiel von Erde und Mond identifiziert werden (s. Abb. Xx).

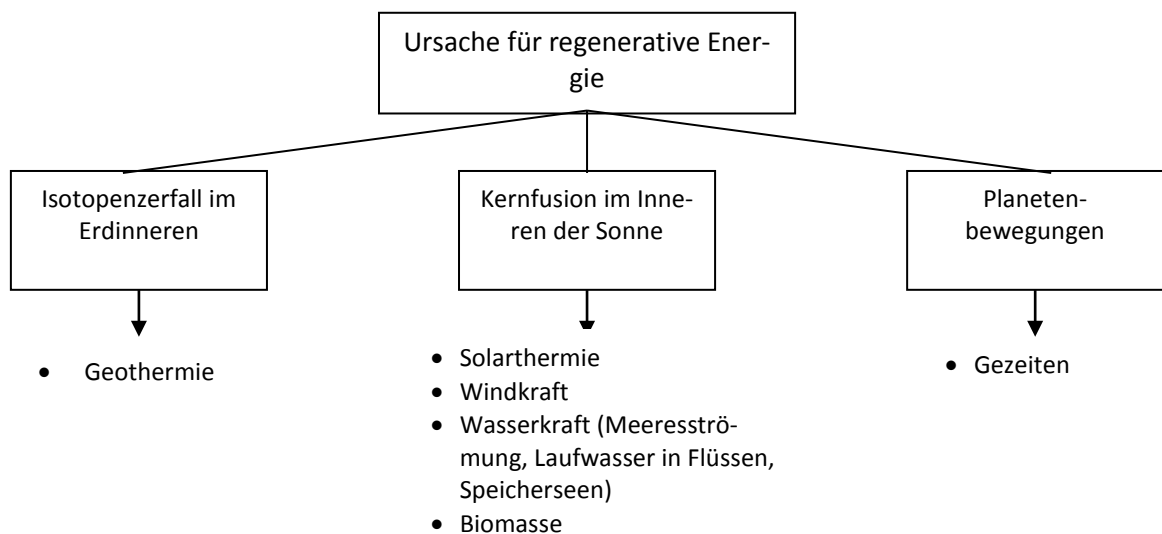


Abb. xx: Systematik der regenerativen Energien

Nachfolgend werden nun einige regenerative Energiequellen näher betrachtet.

5.2.3.1 Geothermie

Mit rund 0,3 Prozent am gesamten Primärenergieverbrauch hat die Erdwärme in Deutschland noch eine relativ geringe Bedeutung. Dabei existiert im Inneren der Erde ein gewaltiger Vorrat an Wärmeenergie, der zu 30 % aus der Restwärme des Erdkerns und zu 70 % aus dem **Zerfall radioaktiver Isotope in der Erdkruste** resultiert. Die Erdwärme kann entweder **oberflächennah** genutzt werden oder durch **Tiefengeothermie**. Im Durchschnitt steigt die Temperatur pro 100 Meter Tiefe um 3 Grad Celsius. Der Zugang zu diesem Energiereservoir gestaltet sich allerdings nicht überall gleich gut. Während beispielsweise in Island Wärmekraftwerke aufgrund des aus dem Erdinneren ausströmenden heißen Wassers in großem Stil betrieben werden können und auch in Ländern wie Italien oder Neuseeland das heiße Magma der Erdoberfläche relativ nahe ist, sind in Deutschland weitaus größere Aufwendungen für die Nutzung der Geothermie erforderlich.

Nutzungsmöglichkeiten der Tiefengeothermie

Für die **Tiefengeothermie** gibt es nur im Norddeutschen Becken, im Oberrheingraben und im Gebiet zwischen Donau und Alpen geeignete Regionen. Ideal ist, wenn natürliche Heißwasservorkommen genutzt werden können, etwa zur Dampferzeugung. Nicht immer ist jedoch natürliches Wasser vorhanden. In so einem Fall setzt man auf **Hot-Dry-Rock-Kraftwerke** (s. Abb. Xx). Dabei wird Wasser in ein 3000 bis 7000 Meter tiefes Bohrloch gepumpt [1], wo es sich auf bis zu zweihundert Grad Celsius erhitzt. Der Dampf, der durch eine zweite Bohrung austritt [2], treibt eine Turbine an oder gibt – bei zu geringer Temperatur – Wärme an eine Flüssigkeit mit niedrigem Siedepunkt ab, die hinreichenden Dampfdruck aufbaut.

Der Wirkungsgrad solcher Anlagen beträgt zwischen 6 und 35 Prozent, je nach Temperatur und Verfahren. Die Vorteile der Geothermie liegen auf der Hand: Es entsteht kein Kohlendioxid und die Energiequelle ist quasi unerschöpflich. Durch die besondere Abhängigkeit von den geologischen Verhältnissen sind der Nutzung allerdings recht enge Grenzen gesetzt. Für die Stromerzeugung spielt das Verfahren in Deutschland bislang keine Rolle.

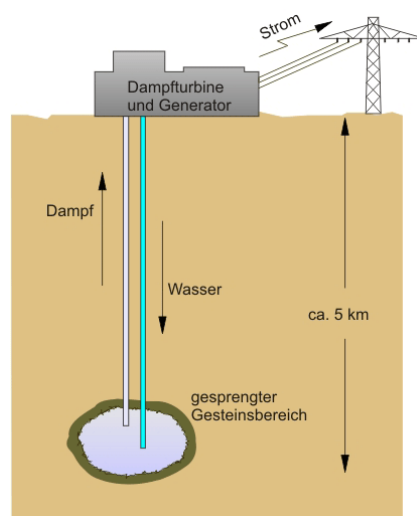


Abb. xx: Hot-Dry-Rock-Kraftwerke

Oberflächennahe Nutzung der Erdwärme

Die oberflächennahe Nutzung der Erdwärme erfolgt über den Einsatz von **Wärmepumpen**. Dabei wird das Temperaturniveau eines Trägermediums, das zuvor Wärmeenergie aus dem Erdreich oder

dem Grundwasser aufgenommen hat, durch die Pumpe erhöht. Der Pumpe muss dazu Antriebsenergie zugeführt werden.

5.2.3.2 Solare Strahlungsenergie

Die weitaus größte zur Verfügung stehende Energiequelle ist die Sonne. Schon sehr lange versuchen die Menschen ihre Kraft zu nutzen: Mit komplizierten Spiegelsystemen sollen bereits die Ägypter Licht in das Innere von Pyramiden geleitet haben, um dort besser arbeiten zu können. Die Griechen setzten auf eine Ausrichtung der Häuser nach Süden. Auch die Römer beschäftigten sich mit Aspekten der Solararchitektur. Griechen, Römer und Chinesen wussten bereits um die Kraft durch gekrümmte Spiegel gebündelter Sonnenstrahlen. Dieses Wissen wurde in der Renaissance wieder neu entdeckt (s. Naturwissenschaft und Technik 1991, S. 176 ff.).

Die auf eine horizontale Fläche auftreffende Solarenergie kann für eine mittlere Breite bei klarem Wetter und auf Meereshöhe mit einer Tag-Jahresleistung von 474 W/m^2 angenommen werden (ein Tag wird mit 12 h berücksichtigt). In Mitteleuropa ist aufgrund der klimatischen Bedingungen eher mit einem Wert von 120 W/m^2 zu rechnen. Wenn man diesen Wert mit 8760 h/a multipliziert, erhält man die mittlere Jahresenergie für unsere Breiten mit $1051,2 \text{ kWh/a m}^2$ (vgl. Crastan 2009, S. 14).

Solare Strahlungsenergie – aktive und passive Nutzung.

Die Kraft der Sonne kann grundsätzlich **aktiv** oder **passiv** genutzt werden. Bei der **passiven Nutzung** solarer Strahlungsenergie wird die Wärme der Sonne ohne weitere technische Apparaturen unmittelbar genutzt. Das ist beispielsweise bei Gewächshäusern oder Wintergärten der Fall: Die durch das Glas in den Raum gelangende **kurzwellige Sonnenstrahlung** trifft auf den Boden, auf die angrenzende Hauswand, auf Möbel oder andere Einrichtungsgegenstände, die sich dadurch erwärmen. Mit ihrer Erwärmung beginnen die Materialien nun selbst Wärme in einem langwelligen Bereich abzugeben. Diese **langwellige Infrarotstrahlung** wird von der Verglasung nicht mehr nach außen durchgelassen. Man spricht in diesem Zusammenhang vom so genannten Treibhauseffekt oder auch von einer „Wärmefalle“.

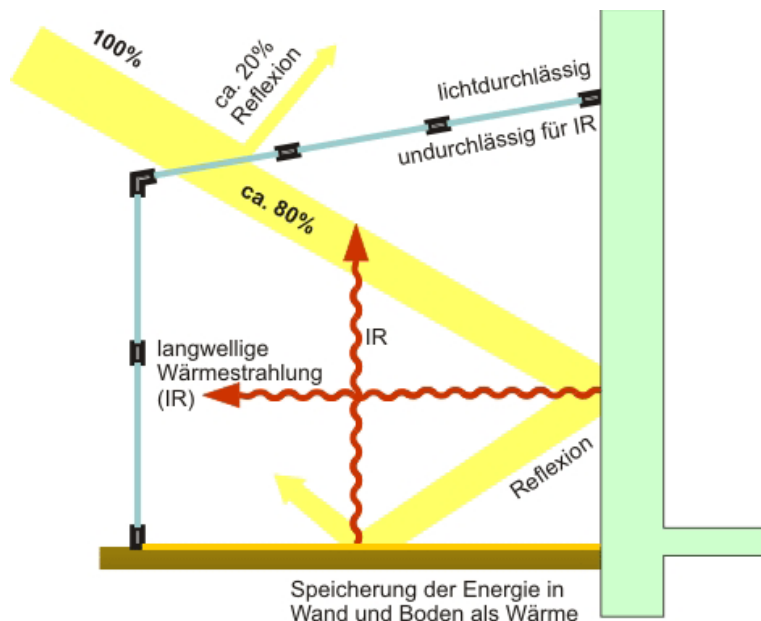


Abb. Xx: Passive Nutzung der Sonnenenergie – Beispiel Wintergarten

Von **aktiver Nutzung** solarer Strahlungsenergie spricht man, wenn technische Geräte und Apparaturen so gestaltet werden, dass sie solare Strahlungsenergie absorbieren oder reflektieren und einem

technischen System zuführen können. Das ist bei Sonnenkollektoren und Solarzellen (Photovoltaik) sowie bei Solarkraftwerken und indirekt auch bei Wärmepumpen der Fall.

Aktive Nutzung der Solarenergie – Beispiel Photovoltaik

Bei der **Photovoltaik** wird die Strahlung der Sonne über Solarzellen direkt in Strom umgewandelt. Die Solarzellen, die aus einem **Halbleitermaterial** wie Silizium bestehen, fungieren als photoelektrische Wandler. Die solare Strahlungsenergie löst in einer Schicht des Halbleiters Elektronen von den Siliziumatomen. Es bilden sich positiv und negativ geladene Zonen. Dadurch entsteht eine Spannung. Es fließt ein **Gleichstrom**, der nach Zwischenschaltung eines **Wechselrichters** in Form von Wechselstrom dem Stromnetz zugeführt werden kann.

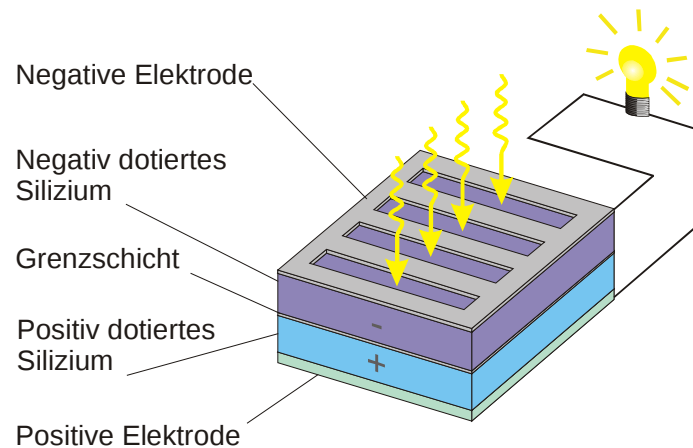


Abb. xx: Funktionsweise einer Solarzelle

Die Photovoltaik hat in den letzten Jahren ihren Anteil an der Stromerzeugung in Deutschland steigern können. Der Anteil am gesamten Bruttostromverbrauch betrug im Jahr 2014 ca. 6,0%. Restriktive Faktoren beim Einsatz der Technik sind die relativ geringe Sonnenscheindauer in Deutschland (im Durchschnitt etwa 1.600 Stunden pro Jahr) sowie die in der Praxis niedrigen Wirkungsgrade der Anlagen (max. 16% - 20%). Problematisch ist außerdem, dass die Sonnenscheindauer dann am geringsten ist, wenn am meisten Energie verbraucht wird.

Um den Anteil an der Stromerzeugung auszubauen, ist eine weitere Verbesserung der Wirkungsgrade der Anlagen sowie eine Ausweitung der zur Verfügung stehenden Fläche erforderlich. Außerdem müssen Möglichkeiten der Energiespeicherung gefunden werden.

Aktive Nutzung der Solarenergie - Thermische Solaranlagen

Anders als bei der Photovoltaik wird bei **solarthermischen Anlagen** die Sonnenstrahlung in thermische Energie umgewandelt. Wie bei der passiven Nutzung entsteht durch die in einen **Sonnenkollektor** einfallenden kurzwelligigen Strahlen Wärme. Das Innere des Kollektors ist schwarz, um so möglichst viel Sonnenenergie zu absorbieren. Diese wird dann über Rohre an eine **Wärmeträgerflüssigkeit** weitergegeben. Über Wärmetauscher wird die gespeicherte Wärmeenergie dann entweder direkt für die Raumheizung oder zur Brauchwassererwärmung verwendet (s. Abb.).

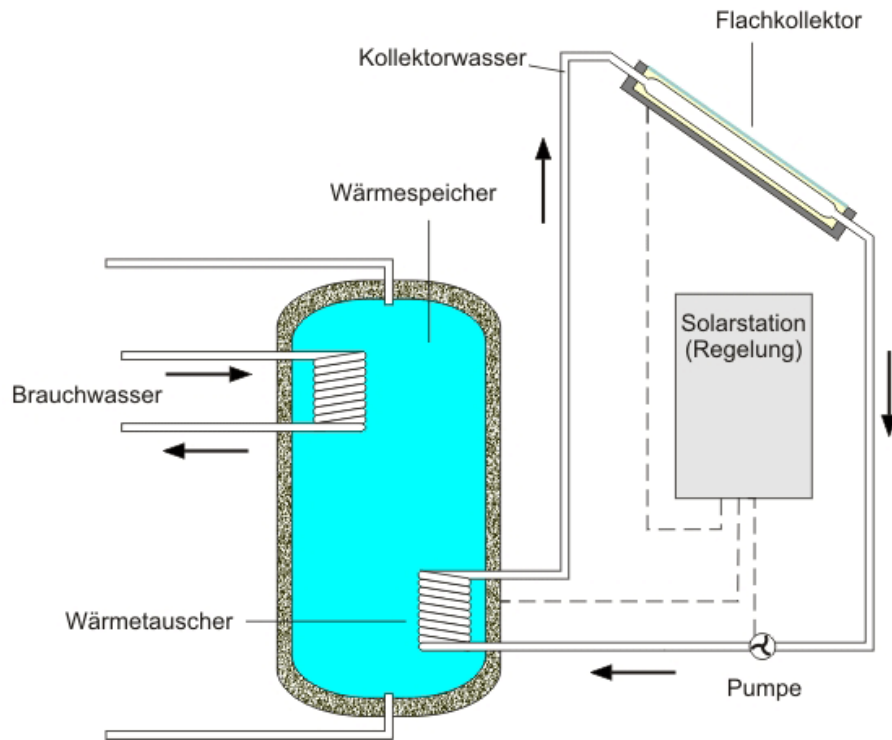


Abb. xx. Aufbau einer thermischen Solaranlage zur Brauchwassererwärmung

Von der Bauart unterscheidet man zwischen Flach- und Röhrenkollektoren. Bei **Flachkollektoren** sind die Rohre mit der Wärmeträgerflüssigkeit in einem flachen, gedämmten Kasten eingebaut, der nach oben mit einer Glasplatte abschließt (s. Abb. Xx). Etwas höhere Leistungen werden mit **Röhrenkollektoren** erzielt, bei denen der Absorber und die Rohre mit dem Wärmeträgermedium in einem Vakuum eingeschlossen sind (s. Abb. Xx).

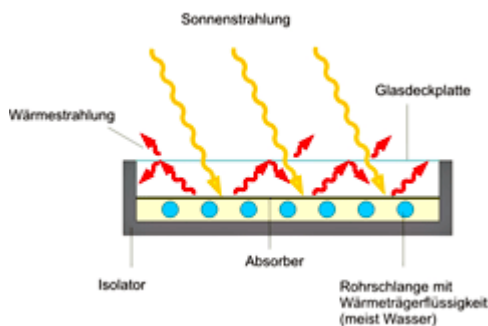


Abb. xx. Aufbau und Funktionsweise eines Flachkollektors

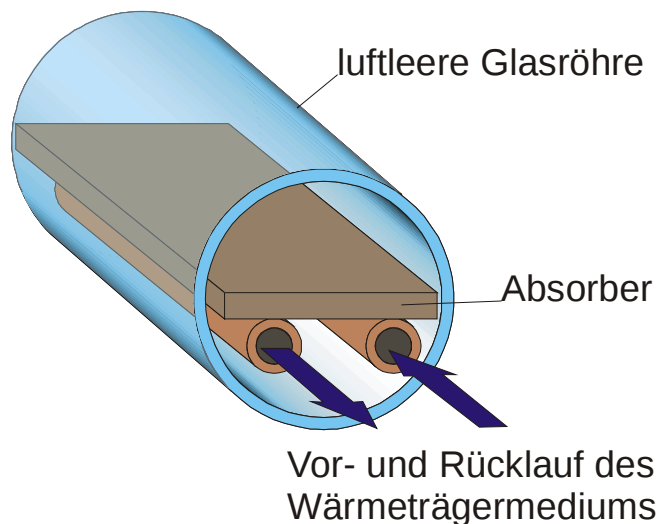


Abb. xx: Aufbau eines Röhrenkollektors

Aktive Nutzung der Solarenergie - Solarthermische Kraftwerke

Neben der Nutzung der Kraft der Sonne für die Warmwassergewinnung oder Raumheizung kann mit Sonnenenergie auf **indirektem Weg** auch **Strom** erzeugt werden. Eine Möglichkeit besteht darin, mit der Wärmeenergie Dampf zu erzeugen, der dann eine Turbine mit einem Generator antreibt. Um die für die Dampferzeugung hohen Temperaturen zu erreichen, wird das Sonnenlicht über Spiegel gebündelt. Hier existieren vor allem zwei Möglichkeiten der Anordnung.

Bei den so genannten **Parabolrinnen-Kraftwerken** bilden die gebogenen Spiegel lange Rinnen, die das Sonnenlicht in einem Brennpunkt konzentrieren, durch den Rohre mit einem Wärmeträgermedium (z.B. Öl) geführt werden. Die Rohre und das Wärmeträgermedium erhitzen sich. In einem Wärmetauscher gibt das Öl seine Energie ab und erzeugt damit Dampf für den Antrieb einer Turbine und eines Generators (s. Abb. xx).

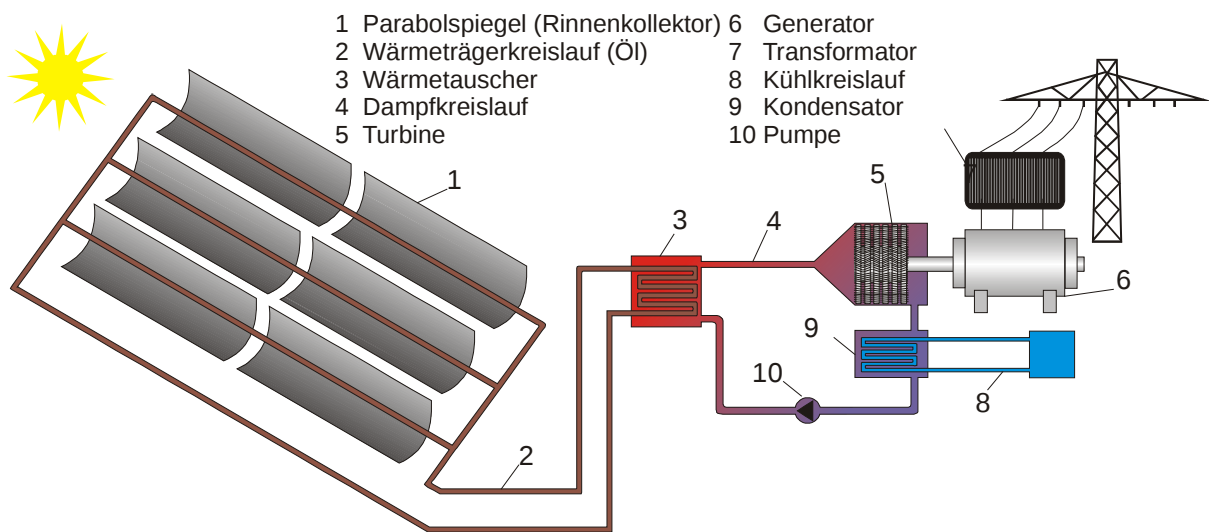


Abb. Xx: Parabolrinnen-Kraftwerk

Eine andere Möglichkeit ist es, die Spiegel so um einen Turm anzuordnen, dass die reflektierten Sonnenstrahlen in einem Strahlungsempfänger an der Spitze eines Turms zusammentreffen und dort Öl erhitzen. Auch in einem solchen **Solarturmkraftwerk** gibt das Öl die gewonnene Wärme über einen Wasserkreislauf an Dampfturbinen weiter.

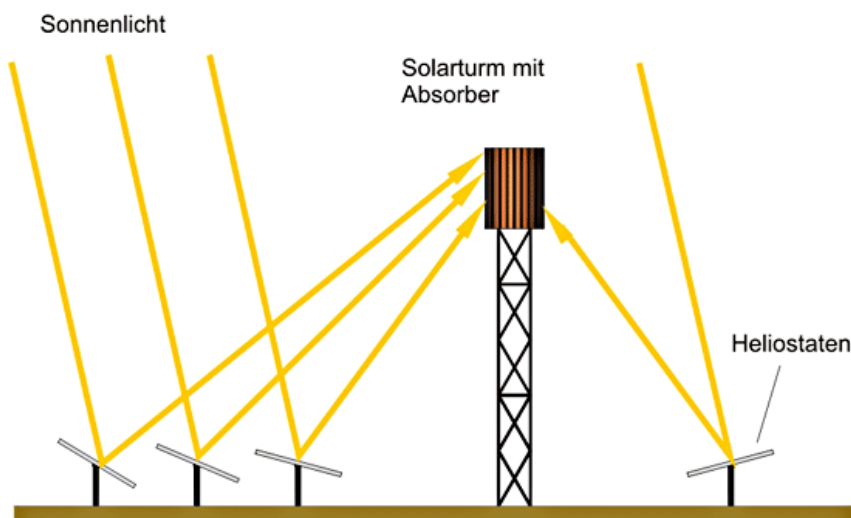


Abb. Xx: Solarturmkraftwerk

Bei **Aufwind-Solarkraftwerken** wird die unter einem transparenten Dach durch die Sonnenstrahlen erwärmte Luft über einen Kamin abgeführt. Die Kaminwirkung erzeugt einen Aufwind, der zum Betrieb einer Turbine und eines Generators genutzt wird.

Der Wirkungsgrad solcher Anlagen liegt bei bis zu 30 Prozent. Geeignet sind solche Kraftwerke naturgemäß vor allem in sonnenreichen Gebieten.

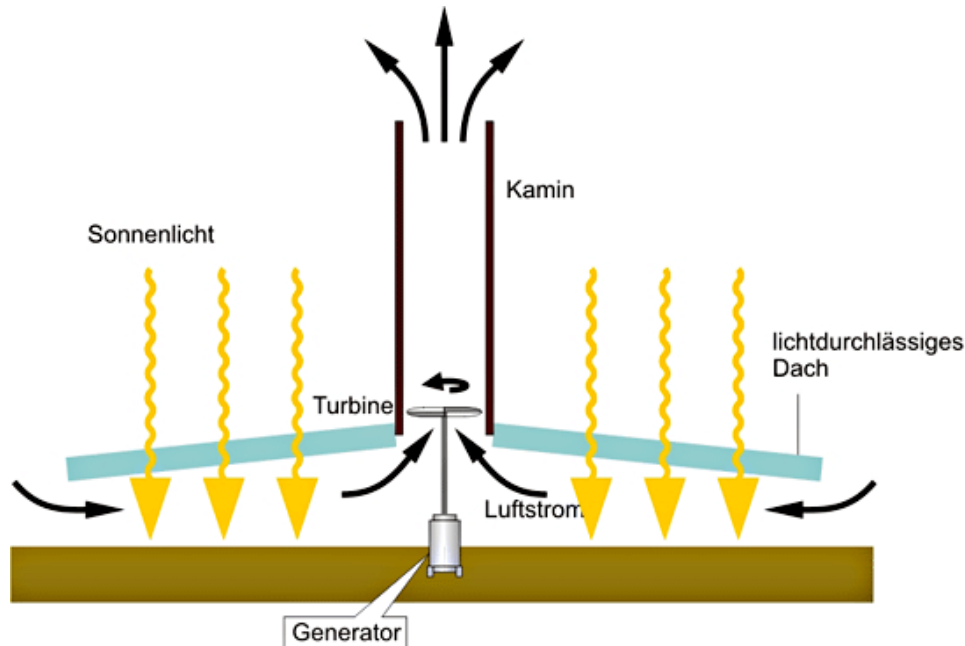


Abb. Xx: Aufwindkraftwerk

5.2.3.3 Windkraft

Die Nutzung der Windenergie gehört neben der Nutzung der Wasserkraft zu den ältesten Techniken, um menschliche oder tierische Muskelkraft zu ersetzen. Eine effiziente Nutzung der **Windenergie** ist ab einer mittleren Windgeschwindigkeit von 4 m/s möglich. Die Windenergie wird durch die **Sonne** verursacht, die Luftmassen unterschiedlich stark erwärmt und damit **Druckunterschiede** verursacht. Die **kinetische Energie** des Windes kann mittels Rotorblätter in mechanische Energie umgesetzt werden. Dabei werden Wirkungsgrade von ca. 50 Prozent erreicht. Bei den heute eingesetzten Windkraftanlagen befindet sich an der Spitze eines Turmes eine in den Wind drehbare Gondel, die den Rotor trägt und die aktiv in den Wind gedreht wird. Die Achse des Rotors liegt waagrecht. Eine Rotorbremse sorgt bei zu hohen Windgeschwindigkeiten vor einer mechanischen Überlastung, ggf. muss der Rotor auch aus dem Wind gedreht werden.

Seit dem Jahr 2000 erlebt die Windkraft in Deutschland einen wahren Boom. Windkraftanlagen können sowohl an Land (**onshore**), als auch auf dem Meer (**offshore**) errichtet werden. Besonders in die **offshore-Anlagen** werden trotz höherer Investitionskosten große Erwartungen gesetzt, weil ihre Energieausbeute größer ist.

Der Wirkungsgrad von Windkraftanlagen liegt etwa bei 50 Prozent. Die dezentrale Einspeisung der Windenergie macht einen **Ausbau des Stromnetzes** erforderlich, insbesondere in den Küstenregionen. Ein weiteres Problem ist der Bedarf an Regel- und Reserveenergie: Weht nämlich kein Wind, müssen andere Kraftwerke den **Leistungsausfall** kompensieren.

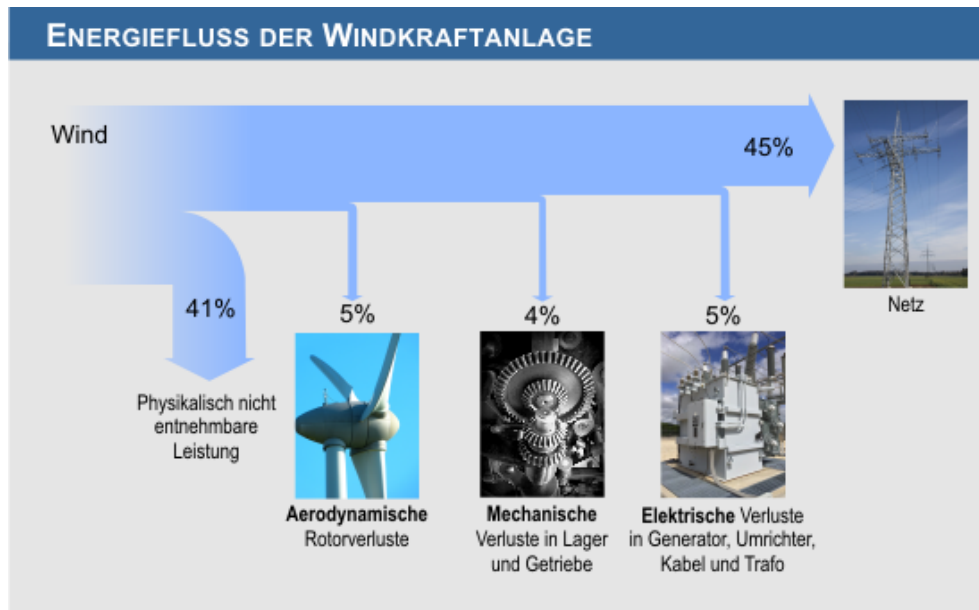


Abb. xx: Energiefluss der Windkraftanlage

5.2.3.4 Wasserkraft

Wie die auch heute noch zahlreichen Wasserräder zeigen, ist die Wasserkraft dem Menschen seit langem vertraut. In Deutschland wird die Wasserkraft vorrangig zur Stromerzeugung eingesetzt. Es gibt rund 300 Wasserkraftwerke mit einer Leistung von jeweils mehr als 1 MW und etwa 7.000 Kleinanlagen.

Man unterscheidet im Wesentlichen drei Kraftwerkstypen. **Laufwasserkraftwerke** nutzen die Energie der strömenden Flüsse, meist ohne Möglichkeit einer Speicherung. **Speicherkraftwerke** mit Sperrmauern und Staubecken sammeln das Wasser von Gebirgsbächen und Gletschern. Ihr Energiepotenzial ergibt sich durch die unterschiedlichen Wasserhöhen. In Pumpspeicherkraftwerken wird das Wasser, vorwiegend nachts in ein hochgelegenes Speicherbecken gepumpt. Bei kurzfristigem Bedarf wird das dann wieder herabfließende Wasser zur Stromerzeugung genutzt. In **Gezeitenkraftwerken** wird der Tidenhub genutzt. Dieser ist jedoch nur an wenigen Stellen ausreichend. Eine weitere Möglichkeit ist es, den durch Wellen in einer Röhre verursachten Unter- und Überdruck für den Antrieb von Generatoren zu nutzen.

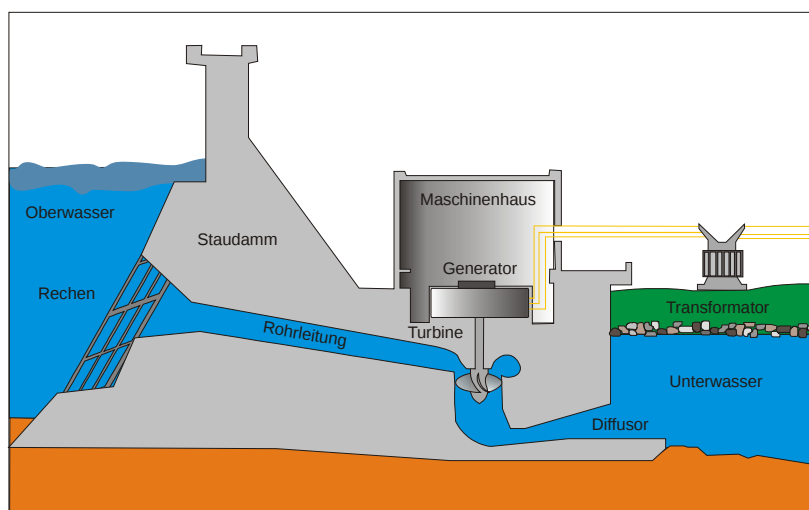


Abb. xx: Funktionsprinzip eines Wasserkraftwerks

Der Wirkungsgrad von Wasserkraftanlagen kann bis zu 95 Prozent betragen. Dieser hohe Wert spricht für die Nutzung der Wasserkraft genauso wie der fehlende Ausstoß von Emissionen oder der ökonomische Nutzen der Speicherkraftwerke als Energiespeicher. Dem gegenüber stehen allerdings die oftmals gravierenden Eingriffe in natürliche Flusssysteme. Außerdem kann es zu Ausfällen bei der Stromproduktion in Hitzeperioden oder starkem Frost kommen. Der Anteil der Wasserkraft an der Stromerzeugung in Deutschland beträgt ca. 3,5 Prozent. Bayern ist in Deutschland mit über 16% das Bundesland mit dem größten Wasserkraftanteil an der Stromerzeugung. Das Potenzial ist hier relativ ausgeschöpft.

In Ländern mit wesentlich günstigeren topografischen Voraussetzungen kann die Stromerzeugung aus Wasserkraft nahezu 100% abdecken. Ein Beispiel dafür ist Norwegen.

5.2.3.5 Biomasse

Neben Wind und Wasser wird der **Biomasse** mit das größte Potential für die Energieversorgung der Zukunft zugebilligt. Bereits heute deckt sie ca. 10 Prozent der Gesamtversorgung mit Primärenergie ab. Zur Biomasse zählt man alle **nachwachsenden Rohstoffe**, in denen die durch Photosynthese umgewandelte Energie der Sonne in Form von organischem Material gespeichert ist. Ebenfalls dazu gezählt werden aber auch Rest- und Abfallstoffe pflanzlichen oder tierischen Ursprungs.

Die energetische Nutzung der Hauptbestandteile von Biomasse, Kohlenstoff und Wasserstoff erfolgt entweder **unmittelbar** durch Verbrennung zu Heizzwecken oder zur Stromgewinnung sowie **mittelbar** nach der Weiterbearbeitung über verschiedene verfahrenstechnische Prozesse zu Brenn- bzw. Kraftstoffen (Biodiesel, Bioethanol, Biogas). Energetisch effizienter ist momentan die **unmittelbare Verwertung**.

Vor- und Nachteile

Mit Biomasse kann Wärme oder Strom produziert werden. Im Gegensatz zur Sonnen- und Windenergie steht sie zwar nicht unbegrenzt zur Verfügung, kann jedoch nach ihrer Rodung innerhalb kurzer Zeit wieder nachwachsen und bindet in dieser Zeit das Kohlendioxid (CO₂), das bei der Verbrennung freigesetzt wurde. Diese an sich günstige **Energiebilanz** verschlechtert sich jedoch dann, wenn Biomasse industriell angebaut wird und dabei die Anbauflächen mit Motorkraft bestellt, gedüngt und die Zwischen- und Endprodukte über weite Strecken transportiert werden müssen. Besonders problematisch wird es, wenn in ärmeren Ländern Pflanzen zur Energieerzeugung für Industrienationen angebaut werden und dies dann zur Konkurrenz mit der Nahrungsmittelproduktion führt. Um die für den Anbau erforderlichen Flächen zu erhalten, wird außerdem nicht selten Urwald gerodet.

Brennstoffe aus Biomasse - Arten

Biomasse lässt sich thermo-chemisch (Pyrolyse, Vergasung), physikalisch-chemisch (Presung/Extraktion, chemische Wandlung) oder bio-chemisch (aerobe Vergärung, alkoholische Fermentation) zu festen, flüssigen und gasförmigen Energieträgern umwandeln, die über Verbrennung beziehungsweise vollständige Oxidation Kraft(-stoffe) und Wärme/Kälte erzeugen.

Flüssige Brennstoffe

Viele der heute durch die Weiterverarbeitung von Biomasse gewonnenen flüssigen Brennstoffe zählen zu den so genannten **Brennstoffen der ersten Generation** und basieren auf Ölfrüchten wie Raps, Sonnenblumen, Sojapflanzen oder Palmfrucht. Entweder wird das **Pflanzenöl** direkt verwendet oder nach einer chemischen Umsetzung mit Methanol (Veresterung) als Fettsäuremethylester (FAME oder einfach **Biodiesel**) bezeichnet. Im Vergleich zu reinen Pflanzenölen weist Biodiesel ähnliche Eigenschaften auf wie Heizöl oder herkömmlicher Diesel. In Deutschland wird Biodiesel überwiegend aus Rapssamen gewonnen. Zur Herstellung von Biodiesel kann man praktisch jede öl- bzw. fetthaltige Pflanze verwenden, aber auch Tierfette und altes Frittierfett kann genutzt werden. Die Herstellung

von Biodiesel wird aufgrund der Monokulturen und der Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion kritisch betrachtet.

Durch Vergärung von pflanzlichen Substanzen, die besonders reich an Zucker, Zellulose oder Stärke sind, entsteht **Ethanol**. Dieser kann entweder dem normalen Benzin als Kraftstoffkomponente beigemischt werden oder in umgewandelter Form als Ethyltertiärbutylether (ETBE) die Oktanzahl des Kraftstoffes verbessern.

Bei den **Brennstoffen** der so genannten „**zweiten Generation**“ wird versucht, nicht nur ausgewählte Pflanzen, sondern auch Reststoffe wie Stroh oder Holz zu verwerten. Zu nennen ist hier die Herstellung von Ethanol über einen Pilz (**Ethanol aus Lignozellulose**) sowie ein spezielles Raffinerieverfahren („**Biomasse to liquids**“, **BTL**), bei dem Diesel gewonnen werden kann. Obwohl diese Energieträger noch keinen Eingang in den Markt gefunden haben, tüfteln Forscher bereits an Brennstoffen der „**dritten Generation**“, die besonders wirtschaftlich hergestellt werden sollen.

Gasförmige Brennstoffe

Für die gasförmige Nutzung von Biomasse existieren zwei Verfahren: Bei der **Vergasung** entsteht aus einer zerkleinerten Masse nach einem Verschmelzungsvorgang unter Zugabe von Luft ein brennbares Gasmisch. Derartige Verfahren sind wegen des verwendeten Ausgangsstoffes auch als Holzvergaser bekannt.

So genanntes **Biogas** entsteht dagegen durch **Vergärung**, bei der spezielle Bakterien organische Masse unter Luftabschluss (anaerober Prozess) abbauen. Zur Gewinnung von Biogas können Gülle, Festmist, Grün- und Mähgut sowie organische Abfälle und Reststoffe genutzt werden. Das Biogas enthält rund 60 % Methan und ca. 40 % Kohlendioxid. Nach einer Reinigung kann das Gas zum Beispiel für die Heizung, die Warmwasserbereitung oder den Betrieb von Gasmotoren und damit auch für die Stromerzeugung weiterverwendet werden. Biogas ist praktisch unbegrenzt vorhanden, auch wenn sein Energiegehalt niedriger ist als der von Erdgas, existiert ein entscheidender Vorteil: Biogas gibt bei seiner Verbrennung nur soviel CO₂ an die Umwelt ab, wie vorher von dem organischen Material aufgenommen wurde – die Umweltbilanz ist somit ausgeglichen.

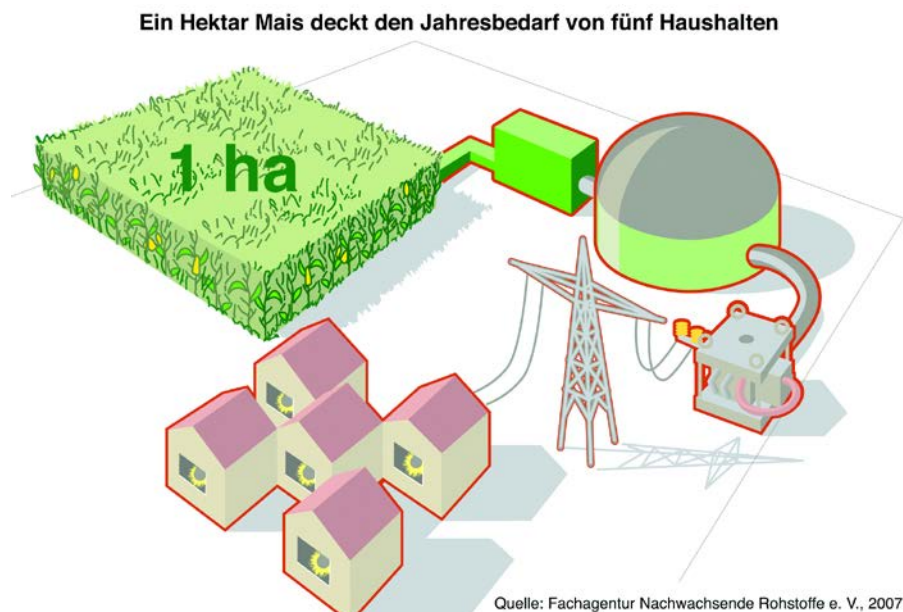


Abb. xx: Stromerzeugung über Biogasanlagen

6. Grundkategorie Information

Was meint Information in der Technik? Was ist der Unterschied zwischen Informationen, Codes, Daten und Signalen? Wie kann man Informationen verarbeiten und weiterleiten?

Inhalt

<i>Abstract</i>	<i>129</i>
<i>6.1 Information in der Technik</i>	<i>131</i>
<i>6.1.1 Informationen - Daten - Signale</i>	<i>132</i>
<i>6.1.2 Signalarten</i>	<i>135</i>
<i>6.1.3 Signalwandlung</i>	<i>138</i>
<i>6.2 Datenverarbeitung</i>	<i>139</i>
<i>6.2.1 Das Binärsystem ermöglicht das rationelle Verarbeiten von Daten</i>	<i>140</i>
<i>6.2.2 Der Austausch von Daten erfolgt in Form von Bits und Bytes</i>	<i>142</i>
<i>6.2.3 Das EVA-Prinzip der Datenverarbeitung</i>	<i>144</i>
<i>6.2.4 Die Bestandteile eines Rechners - Rechnerarchitektur</i>	<i>145</i>
<i>6.2.5 Die Kommunikation mit dem Rechner erfolgt über Programme</i>	<i>147</i>
<i>6.2.6 Mit Schaltungen können Informationen gewandelt werden</i>	<i>149</i>
<i>6.3 Datenübertragung und Telekommunikation</i>	<i>154</i>
<i>6.3.1 Daten werden auf verschiedenen Signalübertragungswegen geleitet</i>	<i>154</i>
<i>6.3.2 Verschiedene Übertragungsverfahren eignen sich zum Datentransport</i>	<i>155</i>
<i>6.3.3 Die Funktechnik ist eine Grundlage für die Mobilkommunikation</i>	<i>158</i>
<i>6.3.4 Der Datenaustausch im Mobilkommunikationsnetz</i>	<i>159</i>

Abstract

In der Lerneinheit 3 wurde gezeigt, dass in technischen Systemen auch die Grundkategorie Information, ähnlich wie Stoff und Energie, „umgesetzt“ wird. Die drei Möglichkeiten des Umsatzes sind die Wandlung, der Transport und die Speicherung.

Analog zu dieser Kategorisierung lässt sich das weite Feld der Informationstechnik dann auch in die Bereiche **Informationsverarbeitung** bzw. Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (Wandlung), **Informationsübertragung** (Transport) und in die Informationsspeicherungstechnik (Speicherung) einteilen. Der Schwerpunkt dieser Lerneinheit liegt bei der Informationsverarbeitung und der Informationsübertragung.

Stoffe und Energie können der Natur entnommen werden, und sie werden nach der Verwendung der Natur im Sinne eines Kreislaufs wieder zugeführt. Für beide Kategorien gilt der Erhaltungssatz. Anders bei Informationen. Für ihre Generierung ist allein der Mensch zuständig. Doch was ist Information und wie kommt sie in der Technik vor?

Das was wir landläufig unter Information verstehen und die Art, wie wir Informationen übermitteln, sind auf den Bereich technischer Informationsverarbeitung nur bedingt übertragbar: Gebärden, Mimik oder doppeldeutige Begriffe sind zu wenig präzise und aufgeladen mit Bedeutungsgehalten, mit denen technische Systeme nicht unbedingt etwas anzufangen wissen. Information im mathematisch-technischen Kontext ist enger zu fassen: Unter **Information** versteht man dort den Inhalt einer Beschreibung oder einer Nachricht, die sich auf unterschiedliche Subjekte oder Objekte beziehen kann, z.B. auf die Größe einer Zahl, die Farbe eines Gegenstandes oder die Maße eines Menschen. Wie aber wird Information gespeichert oder weitergegeben?

Eine Möglichkeit liegt in der Speicherung als geometrische Form, die im Bedarfsfall eine manuelle oder mechanische Weiterverarbeitung erlaubt: Beispiele dafür sind unterschiedliche Zahnräder oder auch Schablonen. Die in diesen Formen gespeicherte Information kann auch als Signalgeber eingesetzt werden. Die Speicherung und die Weiterverarbeitung von geometrisch definierten Informationen bildet die Grundlage für die **manuelle** und **mechanische Datenverarbeitung** etwa mit Abakus und Rechenmaschinen. Auch die Steuerung und Regelung von Maschinen kann auf manueller und mechanischer Informationsverarbeitung beruhen. Ein Beispiel dafür ist die Nockenwelle, die bei einem Motor die Einlassventile steuert.

Neben der Anbindung, Speicherung und Verarbeitung von Informationen über geometrische Formen, gibt es die Möglichkeit, Informationen mit **physikalischen Größen** zu verknüpfen. Solche Größen können thermischer, optischer, akustischer, chemischer und vor allem auch elektrischer Natur sein.

Die für technische Systeme bestimmten Informationen müssen auf alle Fälle von diesen auch entschlüsselt werden können: Das wird durch präzise definierte **Daten**, **Signale**, **Steuerimpulse** oder **Programm-Befehle** erreicht. Gemeinsam ist diesen Informationsformen, dass sie in einem **maschinenlesbaren Code** vorliegen.

Ein solcher Code ist zum Beispiel einer, der Informationseinheiten mit nur zwei Zeichen auszudrücken vermag (**Binärcode**), etwa mit 0 und 1. Maschinenlesbar bedeutet, dass die beiden Zeichen als zwei Zustände interpretiert werden können, die technische Bauteile einnehmen und damit auch als Signale weitergeben oder verarbeiten können: Ein und Aus, stromleitend oder nichtleitend. Derartige Signale werden aufgrund ihres begrenzten Wertvorrats und auch aufgrund der bestimmten Zeiten,

zu denen sie auftreten, als **digitale Signale** bezeichnet. Da viele Signale zunächst aber in analoger Form auftreten und als solche auch wieder nur vom Menschen genutzt werden können, kommen **Signalwandler** zum Einsatz.

Obwohl sich in der Technik digitale Signale auch in anderer Form darstellen lassen, dominiert heute die Verarbeitung **elektrischer Signale**. Dies liegt wohl in erster Linie in den Möglichkeiten begründet, die elektrische Strom-, und Spannungsänderungen als „Informations-Transporteure“ aufweisen.

Eine Grundlage für die elektronische Datenverarbeitung liegt nun darin, dass mittels 0en und 1en alle anderen Zahlen (Dualsystem) ausgedrückt werden können und über die Zahlen letztlich dann auch alle anderen Zeichen. Ordnet man Buchstaben oder anderen Zeichen bestimmten Zahlen zu, wie dies beim **ASCII-Code** der Fall ist, können Maschinen daher auch Begriffe verarbeiten.

Jeder Zustand der beiden Ziffern 0 und 1 einer Dualzahl wird als **Bit** bezeichnet. Acht Bit ergeben ein **Byte**. Bits und Bytes können nun z.B. in Form von elektrischen Impulsen transportiert werden, entweder hintereinander (**bitseriell**) oder **bitparallel**.

Das Grundprinzip der Datenverarbeitung ist die Abfolge von Informationseingabe, Informationsverarbeitung und Informationsausgabe (**EVA-Prinzip der Datenverarbeitung**). Die eigentliche Informationsverarbeitung erfolgt im Zusammenspiel der einzelnen Bereiche eines **Prozessors (Steuerwerk, Rechenwerk und Register)**.

Was ein Rechner tun soll, muss ihm vorher mit **Programmiersprachen** einprogrammiert werden. Jede Programmiersprache zur Erstellung von **Software** besteht – ähnlich wie eine Fremdsprache – aus bestimmten Vokabeln und einer Grammatik. Der mit der Programmiersprache erzeugte Code muss für die Nutzung durch den Rechner erst noch in **Maschinencode** übersetzt werden. Dazu werden **Interpreter** oder **Compiler** benötigt.

Technisch basiert die Verarbeitung der 0en und 1en auf den unterschiedlichen Zuständen von **Schaltungen (Gatter)** und den sich daraus ergebenden logischen Kombinationsmöglichkeiten für den Stromfluss. Freilich haben die Schaltungen heute mit denen aus den Anfangstagen elektronischer Datenverarbeitung äußerlich nichts mehr gemein. **Relais** wurden durch **Vakuumröhren** und diese durch **Transistoren** ersetzt. Aufgrund der Verwendung von **Silizium** konnten Transistoren wiederum in mikroskopisch kleine Formen gebracht werden, so dass die Leistungsfähigkeit der damit ausgestatteten Bauteile beständig zunahm.

Die Übertragung von Signalen ist nicht nur für die Datenverarbeitung bedeutsam, sondern auch bei der **Telekommunikation**, die sich heute mehr und mehr vom einst klassischen Übertragungsweg Kabel löst und in vielen Fällen auf **Funk** und auch auf **Licht** und damit auf die Signalübermittlung mittels **elektromagnetischer Wellen** setzt.

Generell spielt bei vielen Datenübertragungsverfahren die so genannte **Modulation** eine Rolle. Dabei wird das zu übertragende analoge oder digitale Signal auf eine Schwingung aufmoduliert. Man unterscheidet die **Frequenz-**, die **Amplituden-** und die **Phasenmodulation**. Für die drahtgebundene Übertragung hat die Modulation den Vorteil, dass in einer Leitung mehr Signale gleichzeitig transportiert werden können. Für die drahtlose Kommunikation ist sie die einzige Möglichkeit, Informationen zu transportieren. Bei der Funktechnik erzeugt ein Schwingungserzeuger so genannte Grund- oder Trägerwellen, denen dann im „Huckepackverfahren“ die eigentliche Information aufmoduliert wird.

Da sich bei der Mobilfunktechnik eine Vielzahl von Teilnehmern einen begrenzten Umfang von Frequenzen teilen muss und die „Handys“ aus Gewichtsgründen auch nur kleine Akkus für kleine Reichweiten haben, wird ein Sende- und Empfangsgebiet in kleine **Zellen** aufgeteilt. Das Handy muss dann grundsätzlich eine Funkverbindung zu dem stationären Sender aufweisen.

Schlüsselwörter	
Informationsverarbeitung	Serielle oder parallele Übertragung
Informationsübertragung	EVA-Prinzip der Datenverarbeitung
Mechanische Datenverarbeitung	Prozessor: Steuerwerk, Rechenwerk, Register
Information, Zeichen, Codierung, Signal, Daten	Programmiersprache,
Physikalische Größe	Assembler, Interpreter, Compiler
Zeit- und Wertverfügbarkeit der Signale	Maschinencode
Diskret, kontinuierlich	Schaltung, Gatter
Sampling	Relais, Röhre, Transistor
Digitales, analoges Signal	Signalübertragungswege/-verfahren
Signalwandler	Telekommunikation
Binärcode	Elektromagnetische Welle, Schwingung
ASCII-Code	Modulierung, Demodulierung
Bit, Byte	Funktechnik, Schwingkreis
Frequenz-, Amplituden- und Phasenmodulation	Zelle

6.1 Information in der Technik

Stoffe und Energie können der Natur entnommen werden, und sie werden nach der Verwendung der Natur im Sinne eines Kreislaufs wieder zugeführt. Für beide Kategorien gilt der Erhaltungssatz. Anders bei Informationen. Für ihre Generierung ist allein der Mensch zuständig. Doch was ist Information und wie kommt sie in der Technik vor?

Informationen – etwas typisch Menschliches

Wie alles in der Technik, liegen die Ursachen für die technische Informationsverarbeitung in elementaren Bedürfnissen begründet. Menschen wollen sich ausdrücken, etwas mitteilen, also kommunizieren. Gestik, Mimik, Gebärde oder Sprache, aber auch Bilder, Symbole oder Schrift helfen dabei, weil sie Informationen bzw. Botschaften befördern. Mit diesen vielfältigen Ausdrucks- und Darstellungsweisen lassen sich die **Sozialbeziehungen** pflegen und regeln. Manches braucht dabei nicht mehr ausführlich gesagt, sondern nur mehr angedeutet zu werden. Freilich ist für eine gegenseitige Übermittlung von Informationen und ihr Verständnis ein Vorrat an gemeinsamen **Bedeutungsgehalten** eine notwendige Voraussetzung. Bedeutungsgehalte können an Zeichen wie Buchstaben oder Wörter gebunden sein, also eher symbolischer Natur sein, sie können aber auch durch tatsächliche Gegenstände übermittelt werden (z.B. mit einem Fehde-Handschuh).

Übermittlung und Speicherung von Information

Die Ausweitung des sozialen Handlungsraumes der Menschen forderte eine Entkopplung des chronologischen Informationsflusses zwischen den Kommunikationspartnern. Dies lässt sich auf unterschiedliche Weise realisieren. Beispielsweise durch eine Übermittlung von Informationen in mündlicher Form über einen Boten oder in schriftlicher Form durch Ton-, Wachstafeln, Pergament und später durch Papier. Nach Erfindung des Telefons kam die fernmündliche, aber synchrone Form der Informationsübermittlung dazu. Die Repräsentation von Information durch Zeichen, wie sie die asynchronen Formen der Informationsübermittlung notwendig machen, haben einen weiteren Vorteil: Sie dienen gleichzeitig der Bewahrung der Informationen, also der Informationsspeicherung.

Automatische Verarbeitung von Informationen - Informatik

Die sich rasch entwickelnden technischen Möglichkeiten der **Elektronik**, deren Anwendungen sich bei der Übermittlung von Information durch die Telegrafie und die telefonische Übermittlung bereits bewährt hatten, bildeten auch die Voraussetzung für den Siegeszug der maschinellen Verarbeitung von Informationen. In der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts entwickelte sich die **Informatik** als Wissenschaft von der automatischen Verarbeitung von Information (Informatik = Information + Automatik). Die Informatik beschäftigt sich einerseits mit abstrakten, immateriellen Aspekten der Informationsverarbeitung, andererseits aber auch mit Bau und Betrieb informations- und kommunikationstechnischer Systeme.

Die Größe der Bauteile, die Kapazität der Informationsspeicherung und vor allem die Geschwindigkeit der Übermittlung und Verarbeitung sind die wesentlichen Voraussetzungen für den Siegeszug der Informations- und Kommunikationstechnik, deren Grundlagen nun dargestellt werden sollen.

6.1.1 Informationen - Daten - Signale

Informationen, wie sie im alltäglichen Gebrauch von Menschen ausgetauscht werden, also z.B. sprachliche, bildliche oder textliche Informationen, können durchaus fehlerhaft übermittelt oder unterschiedlich interpretiert werden. Unterschiede in der Interpretation ergeben sich beispielsweise durch persönliche Erfahrungen oder durch gerade vorherrschende Stimmungen, unter denen der Rezipient die Information aufnimmt. Mit Ausnahme so genannter intelligenter technischer Systeme können Maschinen keine Erfahrungen verarbeiten und sie unterliegen auch keinen Stimmungen. Sie können daher keine Informationen in unserem Sinne verarbeiten, sondern nur bestimmte Darstellungen (**Repräsentationen**) von Informationen.

Geometrische Repräsentation der Information

Das, was wir landläufig unter Information verstehen und die Art, wie wir Informationen übermitteln, ist daher auf den Bereich technischer Informationsverarbeitung nur bedingt übertragbar. Daher muss Information im mathematisch-technischen Kontext enger gefasst werden. Unter Informationen versteht man dort den **Inhalt einer Beschreibung** oder einer **Nachricht**, die sich auf unterschiedliche Subjekte oder Objekte beziehen kann, z.B. auf die Größe einer Zahl, die Farbe eines Gegenstandes oder die Maße eines Menschen.

Natürlich können Informationen nicht nur durch Zeichen oder Worte übermittelt oder bewahrt werden. Letztlich lassen sich durch jedes von Menschen bearbeitete Artefakt Informationen weitergeben. Die Anordnung der Kugeln bei einem Abakus beispielsweise stellt bestimmte Zahlen dar und auch ein Bett aus der Renaissance gibt uns Informationen über Komfortansprüche, handwerkliches Können in dieser Zeit, sowie über die damalige Körpergröße der Menschen. Durch die Morphologie oder Anordnung von Körpern, letztlich also durch die geometrischen Zusammenhänge, lässt sich demnach Information repräsentieren.

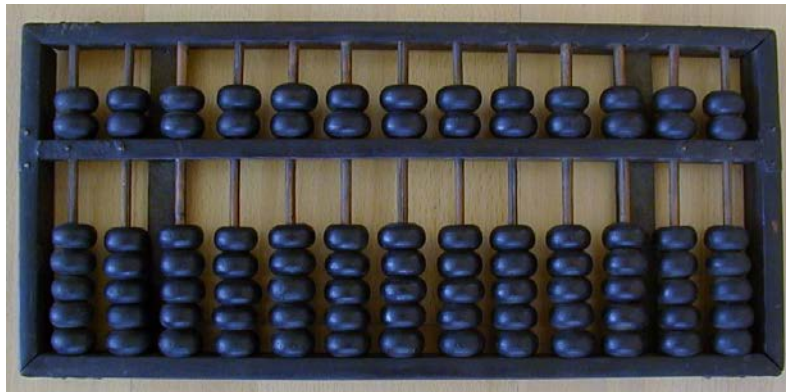


Abb. xx: Chinesischer Abakus

Die Informationsspeicherung und -integration über **geometrische Parameter** wird auch ganz bewusst für die Beeinflussung der Funktionsweise technischer Sachsysteme eingesetzt. Beispiele dafür sind etwa die Umleitung eines Wasserstroms durch ein Brett auf die Schaufeln einer Wassermühle, die Regelung des Wasserstrahls in einem Hahn durch Veränderung der Raumgeometrie oder die Änderung der Übersetzung durch verschieden große Zahnräder. Durch solche Veränderungen geometrischer Größen wird einem technischen System Information zugeführt.

Mechanische und elektronische Informationsverarbeitung

Die Möglichkeiten der Repräsentation und Verarbeitung von Informationen über die Veränderung geometrischer Parameter nutzte man bereits in den Anfängen der Informationsverarbeitung. In den ersten **Rechenmaschinen**, wie der von Wilhelm Schickard aus dem Jahr 1623 oder der von Leibnitz ab 1670 wurden über mechanische Bauteile Zahlen repräsentiert. Durch die Veränderung der Stellung der Elemente zueinander waren Berechnungen möglich.

Konrad Zuse übernahm in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts das von Leibnitz entwickelte **Binärsystem**, mit dem sich alle Zahlen nur durch zwei Ziffern darstellen ließen und ersetzte die rein mechanischen Bauteile durch elektrische. Durch die Prägung von Lochstreifen konnten Bedingungen formuliert werden, wie eingehende Informationen zu verarbeiten waren. Die ersten **programmgesteuerten Rechenmaschinen** entstanden.

Informationsumsatz

Bei Wandlung, Transport oder Speicherung von Informationen spricht man von Umsatz. Ein Informationsumsatz findet in allen technischen Systemen statt. Zum Beispiel, wenn in einem System mit einer bestimmten Größe (Eingangsgröße) eine andere Größe (Ausgangsgröße) beeinflusst wird. Dies stellt eigentlich einen **Informationswandlungsprozess** dar. In der Technik spricht man in diesem Fall auch von Steuerung. Ein System kann mechanisch gesteuert werden, wie die Ventile eines Verbrennungsmotors durch eine Nockenwelle, oder auf elektronischem Weg. Ein Beispiel dafür ist, wenn über einen Stromschalter ein Magnetventil geöffnet oder geschlossen wird und damit warmes Wasser in einen Heizkörper strömen kann (s. Abb. xx)

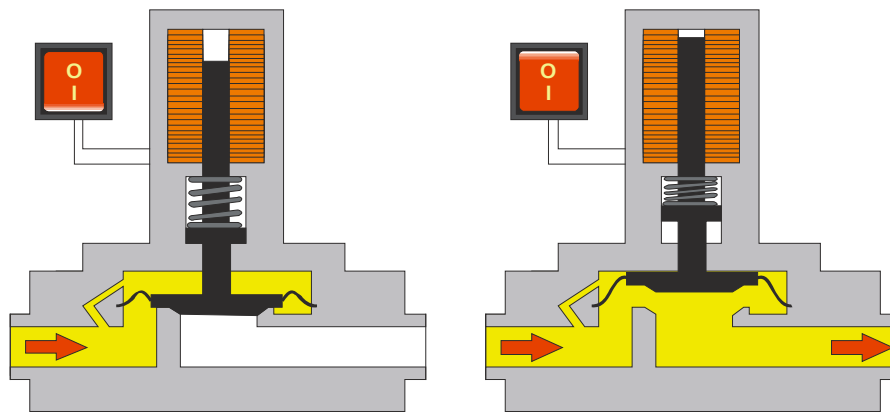


Abb. xx: Elektronisch gesteuertes Magnetventil

Oft ist es jedoch nicht nur erforderlich, eine Größe zielgerichtet zu beeinflussen, sondern es geht auch darum, genaue **Prozessbedingungen** einzuhalten, also Abweichungen von einem gewünschten Verhalten zu registrieren und in geeigneter Art und Weise auf diese Abweichungen zu reagieren, so dass sich das geforderte Verhalten wieder einstellt. Dazu müssen bestimmte Größen (Informationen) gemessen, verglichen und ggf. angepasst werden. In einem solchen Fall spricht man von **Regelung**. Bei vielen Regelungsvorgängen wird die gemessene Größe in eine elektrische Größe (z.B. Spannung) umgewandelt, die dann ihrerseits stoffliche, energetische oder informatorische Vorgänge zielgerichtet beeinflusst.

Zeichen-Codes-Daten

Die Elemente, die gemeinhin zur Darstellung von Informationen verwendet werden, heißen **Zeichen**. Solche Zeichen können Buchstaben, Zahlen oder auch Farben sein. Die Gesamtheit der jeweiligen Zeichen bildet den jeweiligen **Zeichenvorrat**.

Für eine Verarbeitung der Zeichen durch Maschinen müssen sie in Zahlen umgewandelt werden. Dafür wiederum werden **Codes** benötigt. Generell bezeichnet man in der Technik die mittels Zeichen gebildeten Informationen und in Codes verpackten Informationen als **Daten**. Unter Daten versteht man also (maschinen-) lesbare und bearbeitbare Repräsentationen von Informationen. Der Code ermöglicht es, die in den Daten enthaltenen Informationen nach festen Regeln zu verarbeiten.

Signale

Damit Daten weiter genutzt werden können, also verarbeitet werden können, müssen sie übermittelt werden. Die Übermittlung von Daten geschieht in der Technik über **Signale**. Unter einem Signal versteht man im technischen Sinn einen **informationstragenden Zeitverlauf einer messbaren Größe** in einem physikalischen System. Als physikalische Größen besitzen sie ein Symbol, einen Wert und eine Einheit und sind entweder an stoffliche oder energetische Träger gebunden oder an beides.

Zur **Verschlüsselung** und **Übertragung von Informationen** bzw. Daten eignen sich verschiedene **physikalische Größen**, wie z.B. Spannung, Lichtstrom oder Druck. Vielfach werden Informationen durch elektrische Größen in Form von **Spannungs- oder Stromänderungen** übertragen. Die eigentliche Information ist hier in der zeitlichen Änderung verschiedener Signalparameter enthalten. Man nennt diesen Parameter die informationstragende Signalgröße. Informationstragende Parameter sind in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt.

Tabelle xx: Signale

Signal	Träger	physikalische Größe	Einheit	Beispiel für Vorgang
thermisch	Wärme	Temperatur T	K, °C	Temperatur messen
optisch	Licht	Wellenlänge λ , Beleuchtungsstärke E	nm, lx	Ampel schalten, Helligkeit steuern
mechanisch	Gas Nockenwelle	Druck p, Radius r	Pa, m	Druck messen, Ventile steuern
akustisch	Schall	Frequenz f	Hz	Sprache hören
elektrisch	Elektrizität	Spannung U Stromstärke I	V, A	Spannung messen, Strom schalten
chemisch	Stoffe	Konzentration	%	Alkoholgehalt bestimmen

6.1.2 Signalarten

Das Warnlicht an der Tiefgarageneinfahrt, Sirenen, das Rütteln des Smartphones oder Zeitangaben bei Uhren. Ständig sind wir mit **Signalen** konfrontiert. Sie können im Hinblick auf die transportierten

Informationen, die relevanten physikalischen Größen und in Bezug auf die Art und Weise, wie sie auftreten, charakterisiert werden.

Zeit- und Wertverfügbarkeit

Signale treten in unterschiedlicher Form auf und können grundsätzlich in Bezug auf ihre **Verfügbarkeit** und ihren **Wertevorrat** weiter unterschieden werden.

Signale sind entweder ständig verfügbar (**kontinuierlich**) oder nur zu festen Zeitpunkten (**diskontinuierlich**). Ein Signal ist dann **kontinuierlich verfügbar**, wenn seine Größe zu jedem Zeitpunkt abgefragt werden kann. Signale, die keinen kontinuierlichen Zeitverlauf besitzen, also **diskontinuierlich** auftreten, nennt man auch **zeitdiskret**.

Auch hinsichtlich des Wertevorrates kann in kontinuierliche und diskrete Werte unterschieden werden: Ein Signal ist dann **wertkontinuierlich**, wenn es innerhalb eines festgelegten Bereichs jeden beliebigen Zwischenwert annehmen kann. Wenn die messbare Größe nur endlich viele Werte annehmen kann, im Extremfall nur zwei wie {an, aus}, {hell, dunkel} oder {0, 1}, so spricht man von einem **wertdiskreten** oder n-nären (im Falle von zwei Werten binären) Signal. Digitale Signale sind beispielsweise sowohl zeit- als auch wertdiskret. Je nach Zeit- und Wertverfügbarkeit lassen sich verschiedene Signalarten unterscheiden:

- Analog-Signal
- Abtastsignal
- Digitalisierte Signale
- Digital-Signal

Analog-Signal (zeit- und wertkontinuierlich)

Signale die einen über die Zeit und den Wert kontinuierlichen Verlauf aufweisen, nennt man **analoge Signale**. Sie sind demnach **zeit- und wertkontinuierlich**. Solche Signale kommen häufig in der Natur vor. Menschliche Stimmen beispielsweise können innerhalb eines bestimmten Frequenzbereichs verschiedenartigste Zustände einnehmen. Bei einem Analog-Signal entspricht der Signalwert dem zu übertragenden Skalenwert. Der Zusammenhang zwischen Informationsgröße und Signalgröße muss umkehrbar eindeutig, aber nicht unbedingt proportional sein.

Abtastsignal (wertkontinuierlich und zeitdiskret)

Wertkontinuierliche und zeitdiskrete Signale entstehen durch die **Abtastung** eines analogen Signals. Abtastung (man spricht auch von Sampling) bedeutet, dass Werte aus einem kontinuierlichen Wertebereich zu Zeitpunkten in regelmäßigen Abständen zugeordnet werden. Dabei ist die Anzahl der Samples pro Zeiteinheit endlich (**diskret**). Ein Beispiel für ein wertkontinuierliches und zeitdiskretes Signal sind beispielsweise Temperaturmesswerte, die zu bestimmten regelmäßigen Zeitabständen erhoben werden und die dann periodisch über eine Balkenanzeige aktualisiert werden.

Digitalisierte Signale (wertdiskret und zeitkontinuierlich)

Bei digitalisierten Werten ist die informationstragende Größe **wertdiskret** aber **zeitkontinuierlich**. Das analoge Signal wird dabei quantisiert, das bedeutet, dass man die Höhe der Amplitude des Signals "misst". Für diese Messung steht dann aber kein kontinuierlicher, sondern nur ein diskreter Wertebereich zur Verfügung. Ein Wechsel des Wertes kann zu beliebigen Zeitpunkten erfolgen.

Digital-Signal (wertdiskret und zeitdiskret)

Bei einem Digital-Signal ist die informationstragende Größe **wertdiskret** und **zeitdiskret**. Ein wert- und zeitdiskretes Signal entspricht einer Zuordnung eines bestimmten Wertes zu einem bestimmten Zeitpunkt. Dabei stammen die Werte aus einer endlichen Menge, die Zeitpunkte pro Zeiteinheit sind ebenfalls diskret. Ein solches Signal erhält man, wenn man ein analoges Signal abtastet und quantisiert; man spricht von einem digitalen Signal. Digitale Signale bestehen sehr häufig aus einer Kombination von Binärsignalen, bei denen es nur zwei mögliche Zustände gibt (z.B. Spannung positiv, Spannung negativ).

6.1.3 Signalwandlung

Viele auf uns Menschen aus der Umwelt einwirkende Signale wie der Temperaturabfall am Abend, der Übergang von Tag und Nacht oder irgendwelche Geräusche besitzen einen **analogen Charakter**. Signale, deren Ursachen eher technischer Natur sind, weisen dagegen nicht selten eine digitale Form auf. Beispiele hierfür sind die Signale einer Verkehrsampel, die künstliche Beleuchtung eines Raumes oder die Signalanlagen eines Bahnüberganges. Dafür, dass in der Technik die digitalen Signale eine weite Verbreitung gefunden haben, gibt es gute Gründe.

Vorteile digitaler Signale

Aufgrund ihrer Struktur und ihres **begrenzten Wertevorrates** sind digitale Signale nämlich sowohl für den Transport als auch die Verarbeitung von Daten sehr gut geeignet: Durch den verwendeten Binär-code erfolgt die Leitung schnell, sicher und genau. Generell sind digitale Signale auch unempfindlicher gegen Datenverluste.

Signalumwandlung mit A/D-Wandler

Wegen der Vorteile digitaler Signale für die Leitung oder Verarbeitung von Daten, werden immer mehr analoge in digitale Signale umgewandelt. Für die eigentliche Nutzung der Signale ist dann jedoch wieder eine Rückwandlung notwendig. Die Umwandlung eines analogen in ein digitales Signal erfolgt durch einen **Analog-Digital-Wandler (A/D-Wandler)**. Dabei handelt es sich um ein elektronisches Bauteil, das in kontinuierlichen Zeitabständen den Wert des Analogsignals, also zum Beispiel einen Spannungswert, abtastet („Sampling“) und diesen dann einem Binärwert zuordnet. Für den Übergang von analogen Signalen zu digitalen Signalen sind zwei Diskretisierungsschritte notwendig: Eine Zeit- und eine Wertdiskretisierung.

Zeitdiskretisierung

Der zeitkontinuierliche (x-Achse) Verlauf des analogen Signals wird in Zeitinkremente aufgeteilt. Zwischen den einzelnen diskreten Zeitpunkten gibt es nun keine Zwischenwerte mehr.

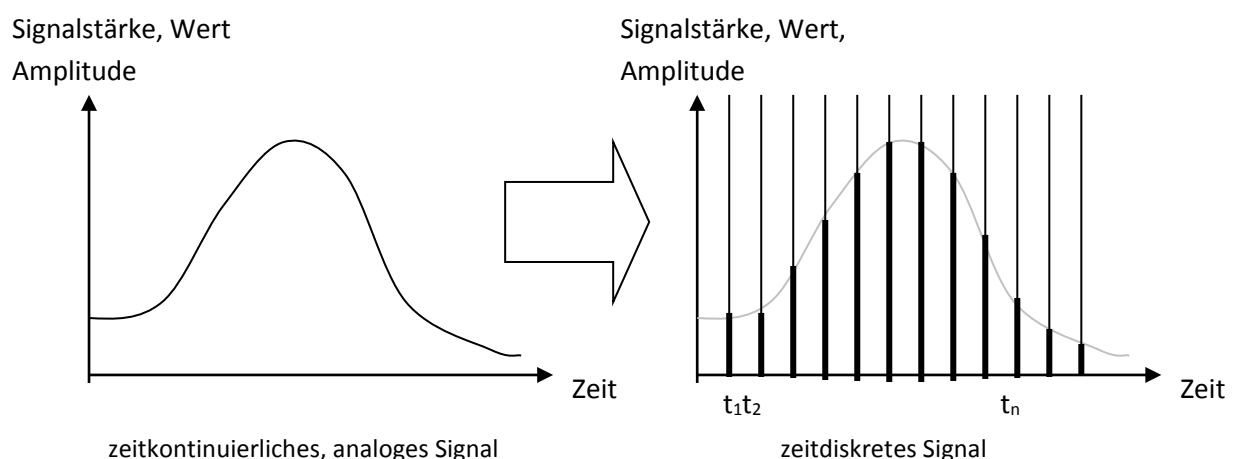


Abb. xx: Zeitdiskretisierung

Wertdiskretisierung

Der wertkontinuierliche (y-Achse) Verlauf des analogen Signals wird in Wertinkremente aufgeteilt. Zwischen den einzelnen diskreten Wertpunkten (Amplituden) gibt es nun keine Zwischenwerte mehr.

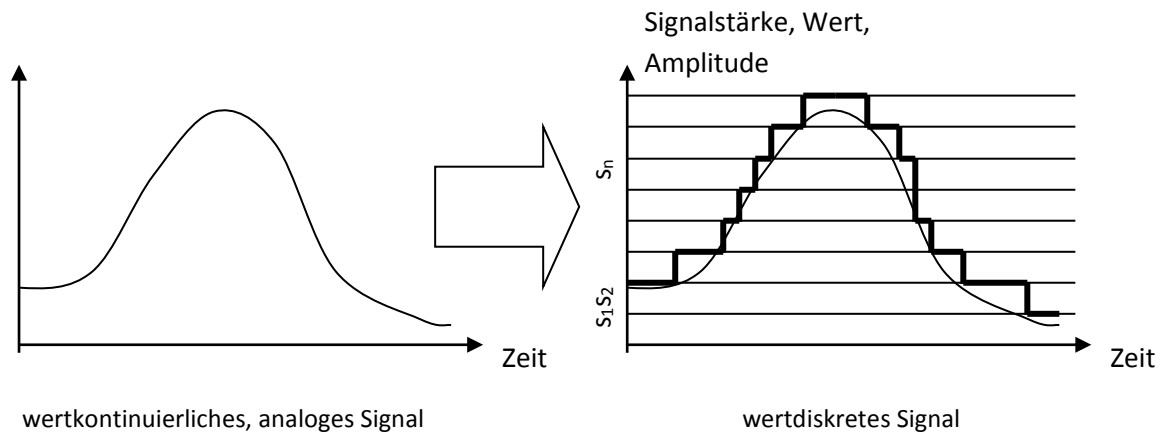


Abb. xx: Wertdiskretisierung

Ein zeit- und wertdiskretes Signal kann nur noch zu diskreten Zeitpunkten ($t_1, t_2, \dots, t_n$) bestimmte diskrete Werte ($s_1, s_2, \dots, s_n$) auf der y-Achse annehmen. Es gibt sowohl auf der x-Achse als auch auf der y-Achse keine Zwischenwerte mehr. Je feiner die Diskretisierung, desto mehr Details werden aufgezeichnet. Andererseits bringt es die Diskretisierung mit sich, dass dabei Informationen verloren gehen.

6.2 Datenverarbeitung

Wie weiter oben bereits angesprochen, können Informationen über Zeichen repräsentiert werden, anschließend durch eine Codierung maschinenlesbar gestaltet und in Form von Signalen transportiert werden. Solche Informationen bezeichnet man gemeinhin als Daten.

Auch vor dem digitalen Zeitalter wurde schon mit Daten gearbeitet. Dabei wurden zum Beispiel verschiedenen Elementen (z.B. Knoten oder Muscheln) Informationen zugesprochen und diese Elemente manuell geordnet. In diesem Zusammenhang spricht man dann auch von **manueller Datenverarbeitung**.

Im Zuge der technischen Entwicklung kam zur manuellen die **mechanische** Datenverarbeitung (ein Beispiel dafür ist die Zähl- und Sortierapparatur von Hollerith). Diese wiederum wurde durch die **elektromechanische Datenverarbeitung** (z. B. elektrische Registrierkasse oder Schreibmaschine) abgelöst. Heute dominiert die **elektronische Datenverarbeitung** (EDV) über elektronische Rechner. Grundsätzlich lassen sich drei Aufgaben unterscheiden, die ein Datenverarbeitungssystem zu erfüllen hat (Stahlknecht/ Hasenkamp 2002, S. 19 ff.):

- Die interne Speicherung und Verarbeitung von Daten und Programmbefehlen über Rechner- oder Maschinencodes.
- Die Eingabe, Ausgabe und die Speicherung von Daten auf Datenträgern (z.B. auf Magnetplatten oder Disketten) und den damit zusammenhängenden Datenträgeraustausch, d.h. den Transport von Daten auf Datenträgern.
- Die Datenübertragung über Netze.
-

Welche Voraussetzungen zur Erfüllung dieser Aufgaben vorhanden sein müssen, wird nun näher erläutert.

6.2.1 Das Binärsystem ermöglicht das rationelle Verarbeiten von Daten

Für den Siegeszug der elektronischen Datenverarbeitung sind zwei eigentlich voneinander unabhängiger Aspekte mit verantwortlich: Einmal der relativ einfache Weg, über eine Manipulation des elektrischen Stroms Signale zu transportieren, zum zweiten die Möglichkeit, alle Zahlen mit nur zwei Ziffern, also einem Binärsystem, abzubilden.

Binärsystem und Dualzahl

Eine Menge, die nur aus zwei Zeichen besteht, wird als **binäres System** oder **Dualsystem** bezeichnet. Ein Beispiel für das Binärsystem ist das Morsealphabet (Zeichen: Punkt oder Strich) oder auch die Fußgängerampel (Zeichen: grün und rot). Zahlen, die nur durch zwei Ziffern ausgedrückt werden, nennt man Dualzahlen.

Wir rechnen heute mit dem **Dezimalsystem**, das wohl aus der Existenz unserer 10 Finger resultiert. Elektronische Datenverarbeitungsgeräte können aufgrund ihrer speziellen Bauteile (früher Relais oder Röhren, heute Transistoren) am besten mit zwei Zeichen rechnen, die den zwei Zuständen entsprechen, die diese Bauteile annehmen können: an/aus oder offen/geschlossen.

Bei den Dualzahlen wird jede andere Zahl mittels 0en und 1en ausgedrückt. Der Stellenwert der Ziffern gibt die entsprechende Zweierpotenz und nicht wie beim Dezimalsystem die Zehnerpotenz an.

Ein Beispiel: Die Dezimalzahl 409 wird

- im Dezimalsystem als $409_{10} = 4 \times 10^2 + 0 \times 10^1 + 9 \times 10^0$,

- im Dualsystem als $110011001_2 = 1 \times 2^8 + 1 \times 2^7 + 0 \times 2^6 + 0 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0$

dargestellt.

Die Vorgehensweise, wie eine Dezimalzahl in eine Binärzahl umgewandelt werden kann, soll an folgendem Beispiel verdeutlicht werden:

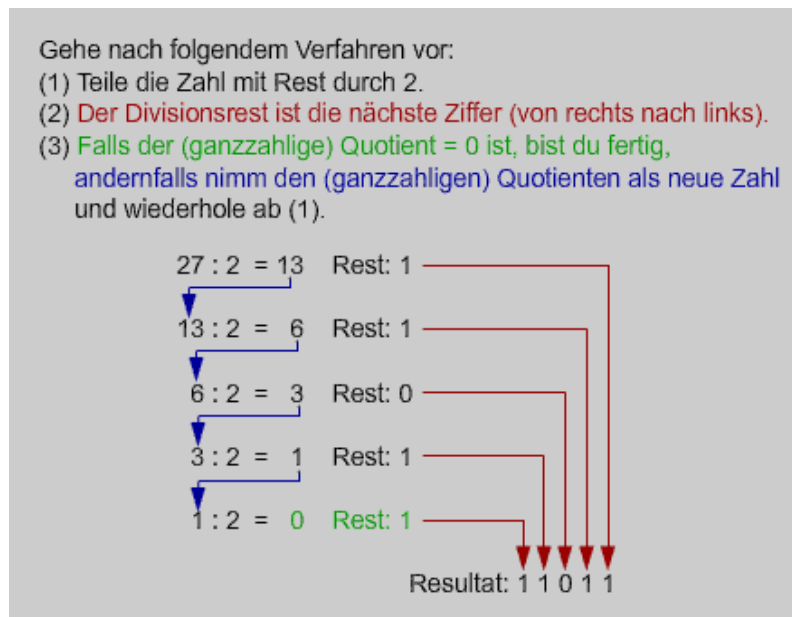


Abb. xx: Umwandlung einer Dezimalzahl in eine Binärzahl

Bit – kleinste Einheit, die zwei Zustände annehmen kann

Jeder Zustand der beiden Ziffern 0 und 1 einer Dualzahl wird als **Bit** bezeichnet. Ein Bit stellt die kleinste Einheit der Information in einem rechnergestützten System dar. Normalerweise werden jedoch Gruppen von Bits zu einem "Wort" zusammengefasst und vom Computer parallel verarbeitet, wodurch die Verarbeitung schneller wird.

Ein **Byte** ist die Zusammenfassung von 8 Bit. Mit n Bits lassen sich 2^n verschiedene Zustände darstellen. Mit zwei Bits können beispielsweise $2^2 = 4$ verschiedene Zustände repräsentiert werden, nämlich 00, 01, 10 und 11. Mit vier Bits können 16 verschiedene Zustände dargestellt werden, mit acht Bits 256, und so weiter.

Codes

Ein elektronisches Rechensystem hat – besonders wenn es sich um einen Computer handelt – nicht nur Zahlen, sondern auch Buchstaben oder Sonderzeichen zu verarbeiten, die ebenfalls in binäre Form umgesetzt werden müssen. Diese werden zur weiteren Verarbeitung codiert, d. h. jedem Druckzeichen wird ein Zahlenwert zugeordnet. Diese Zuordnung ist genormt, damit bei allen Computern das "A" auch als "A" erscheint. Für die Datenübertragung hat sich ein **Maschinencode** durchgesetzt, der ursprünglich für Fernschreiber verwendet wurde: **ASCII** (= American Standard Code for Information Interchange; zu deutsch: Amerikanischer Standardcode für Informationsaustausch).

Tabelle xx: Beispiele für die codierte Darstellung von Zeichen aus dem ASCII-Zeichensatz

Dezimal	Oktal	Hex	Binär	Zeichen	HTML Encode
33	41	21	0010 0001	!	! oder !
45	55	2D	0010 1101	-	‐ oder − oder -
49	61	31	0011 0001	1	1 oder 1
65	101	41	0100 0001	A	A oder A

Beim ASCII-Code werden die einzelnen Zeichen durch Folgen von 8 Bit, also achtstelligen Dualzahlen, dargestellt. Das entspricht einem Byte und es sind $2^8 = 256$ Kombinationsmöglichkeiten möglich, was eine Darstellung aller 10 Ziffern, der 26 Buchstaben des Alphabetes in Groß- oder Kleinschreibweise, landesspezifischer Buchstaben sowie Sonderzeichen ermöglicht. Für die Repräsentation von Zahlen ist eine Codierung in 8 Bit aber eigentlich nicht notwendig. Auch andere Zeichen benötigen das Byte für ihre Darstellung nicht. Eine Codierung mit 8 Bit stellt so unter Umständen eine Vergeudung von Speicherplatz dar, die man durch Datenkompression verringern kann.

6.2.2 Der Austausch von Daten erfolgt in Form von Bits und Bytes

Für die Datenverarbeitung müssen die Daten codiert und in Form von Signalen ausgetauscht, also gesendet oder geleitet werden. Dazu werden sie in kleinste Einheiten, den Bits, „zerlegt“. Eine Übertragung der Bits kann dann entweder bitparallel oder bitseriell erfolgen.

Übertragungsarten – parallel oder seriell

Bei der **Datenübertragung** dominiert die **bitserielle Übertragung**. Das bedeutet, dass alle Zeichen bitweise nacheinander auf einem Kanal übertragen werden. Bei der **bitparallelen Übertragung** dagegen, wie sie bei der **Datenverarbeitung** bevorzugt wird, werden alle Bits eines Zeichens parallel über mehrere Kanäle übertragen. Die Übertragungsrate bezeichnet dann die Anzahl der pro Sekunde

übertragenen Bits. Das Bit wird auch als Angabe für die Verarbeitungsbreite von Computern verwendet.

Die ersten Rechner arbeiteten mit einer Verarbeitungsbreite von 4 Bit, das bedeutet, dass sie eine Wortlänge von 4 Bit auf einmal verarbeiten konnten. Später wurden es dann 8 Bit, 16 Bit und heute 64 Bit. 8 Bit bilden ein Byte. Im Allgemeinen werden die Daten byteweise verarbeitet. Das Byte wird auch als Maßeinheit für die Speicherkapazität von Speichermedien verwendet.

Gleichlaufverfahren

Für die Übertragung der Zeichen müssen die jeweiligen Datenendereinrichtungen nach demselben **Zeitraster** arbeiten. Dies wird entweder byteweise hergestellt (Asynchrone Übertragung) oder jeweils am Anfang der Übertragung (synchrone Übertragung).

Da der Computer die Daten parallel verarbeitet, braucht er für die Ausgabe eine so genannte "serielle Schnittstelle", die ein Byte Bit für Bit seriell ausgibt. So wird beispielsweise der Buchstabe "A", der im Computer in der Form des zugehörigen ASCII-Codes als Zahlenwert 65 gespeichert ist, als Folge der acht Bits 01000001 übertragen. Jedem Zeichen wird noch ein **Startbit** vorangestellt, das immer den Wert 0 hat. Da die Leitung im Ruhezustand immer auf 1 liegt, kann der Empfangsbaustein erkennen, wann ein Zeichen ankommt. Nach den Datenbits kann dann noch ein **Prüfbit** (Parity) folgen. Zum Schluss folgen dann noch 1 oder 2 Stoppbits, die immer auf 1 liegen und so eine Trennung zum nächsten Startbit bilden.

Eine Zeichenfolge besteht dann aus einer Folge von Datenbits, die für jedes Zeichen von Start- und Stoppbit eingerahmt werden. Zwischen zwei aufeinander folgenden Zeichen können sich auch beliebig lange Pausen befinden, da der Beginn eines Zeichens am Startbit eindeutig erkannt wird. Daher nennt man diese Form der Übertragung "asynchron".

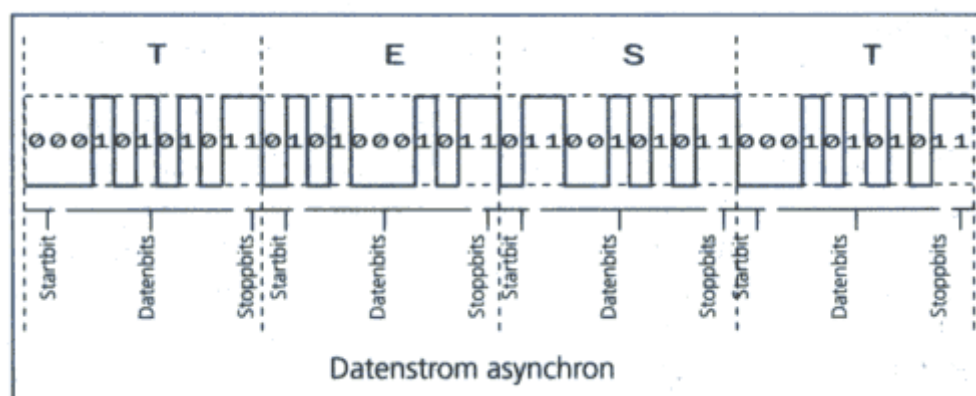


Abb. xx: Asynchrone Datenübertragung mit Start-/Stoppbits

Durch die **asynchrone Übertragung** wird die Übertragungsrates gesenkt, da für z.B. 8 Informationsbits 10 Bits über die Leitung gesendet werden. Eine andere Möglichkeit ist die Übertragung von Daten-

blöcken von mehreren hundert Bytes ohne Pause zwischen den einzelnen Zeichen. Es müssen dann zwar am Anfang des Blocks einige Füllbytes gesendet werden, damit sich der Empfänger auf den Datenstrom synchronisieren kann, aber danach erfolgt die Datenübertragung ohne Redundanz. So eine Übertragung nennt man "synchron".

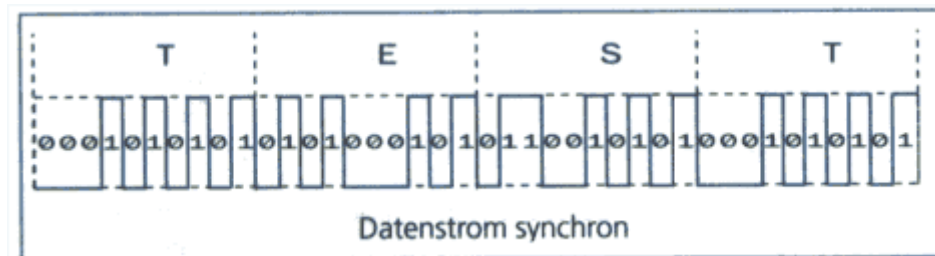


Abb. xx: Synchrone Datenübertragung

6.2.3 Das EVA-Prinzip der Datenverarbeitung

Bei den Datenverarbeitungsanlagen lassen sich Mikrorechner, Personalcomputer, Großrechenanlagen und Supercomputer unterscheiden. Obwohl diese hinsichtlich der Systemarchitektur, der Organisation oder der Arbeitsweise differieren können, sind die grundsätzlichen Komponenten und auch die Arbeitsweise vergleichbar.

Eine elektronische Datenverarbeitungsanlage besteht aus einem **Prozessor**, einem **Arbeitsspeicher** und **Anschlussmöglichkeiten** für periphere Eingabe-/Ausgabe-Geräte (z.B. Tastatur, Maus, Bildschirm) sowie für externe Speichergeräte (z.B. externe Festplatte, CD-Rom oder DVD-Laufwerk). Der grundsätzliche Arbeitsablauf einer DV-Anlage besteht in den folgenden Schritten:

1. In die DV-Anlage werden Daten eingegeben (Eingabedaten oder Input).
2. Die eingegebenen Daten werden – evtl. zusammen mit bereits in der DV-Anlage gespeicherten Daten – durch Programme verarbeitet.
3. Die Ergebnisse werden durch die DV-Anlage in Form neuer Daten ausgegeben (Ausgabedaten oder Output).

Dies bezeichnet man als **E**(ingabe)**V**(erarbeitung)**A**(usgabe)-Prinzip der Datenverarbeitung.

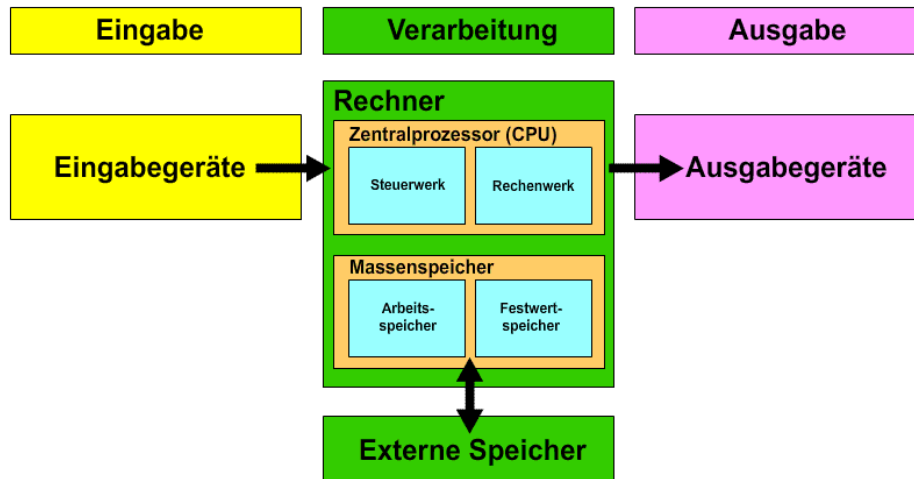


Abb. xx: EVA-Prinzip der Datenverarbeitung (vgl. Stahlknecht Hasenkamp S. 17)

Jedes einzelne Bauteil eines Rechners dient letztlich diesem grundsätzlichen Prinzip.

6.2.4 Die Bestandteile eines Rechners - Rechnerarchitektur

Mikroprozessor (CPU)

Nach der klassischen von-Neumann-Architektur besteht ein Rechner aus dem **Zentralprozessor**, dem **Hauptspeicher** (interner Speicher) und den **Datenwegen**. Der Prozessor ist das Herzstück vieler moderner Geräte, nicht nur eines Rechners. Er wird in Handys, Taschenrechnern, HiFi-Geräten eingesetzt. Bestandteile der **Central-Processing-Unit**, kurz CPU, sind im Allgemeinen das Steuerwerk, das Rechenwerk und das Register. Die Datenwege bei Mikrocomputern folgen dem so genannten „Bus-konzept“, das bedeutet, dass alle Instanzen gleichrangig eine „Sammelleitung“ benutzen.

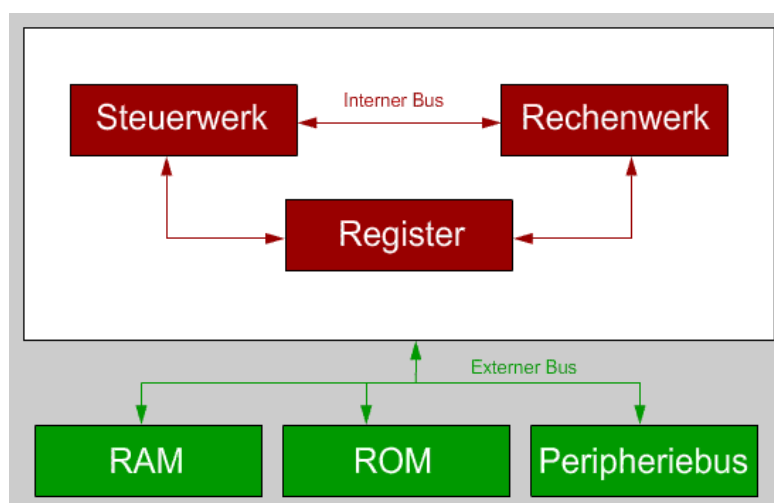


Abb. xx: Prinzip des Buskonzepts bei Mikrocomputern

Steuerwerk (Leitwerk) Control Unit (CU)

Das Steuerwerk hat drei Aufgaben. Über Register steuert es die Reihenfolge, in der die Befehle eines Programms ausgeführt werden, es entschlüsselt die Befehle und modifiziert sie ggf. und gibt die für die Ausführung erforderlichen digitalen Signale ab. Das Steuerwerk veranlasst das Rechenwerk, die Befehle auszuführen.

Rechenwerk Arithmetic Logic Unit (ALU)

Das Rechenwerk übernimmt die vom Steuerwerk entschlüsselten Befehle und führt sie aus. Die Operationen werden dabei entweder durch elektronische Schaltungen oder durch Mikroprogramme, die im Festwertspeicher enthalten sind, ausgeführt. Das Rechenwerk kann neben arithmetischen Operationen (Additionen, Subtraktionen, Multiplikationen etc.) auch logische Funktionen (z.B. Konjunktionen oder Negationen) sowie Verschiebe- und Vergleichoperationen abarbeiten. Die Teilergebnisse, die bei diesen Operationen anfallen, werden in Speicherzellen in verschiedenen Registern aufgenommen.

Interner Speicher

Der Hauptspeicher oder interne Speicher besteht aus zwei Teilen: Dem Arbeitsspeicher und dem Festwertspeicher. Der Arbeitsspeicher, ein Schreib-/Lesespeicher (RAM = Random Access Memory), nimmt die in Aktion befindlichen Programme auf und hält die Befehle für die CPU bereit. Außerdem speichert er die während der Arbeit benötigten Eingabedaten, sowie Zwischenwerte und die als Ergebnisse entstehenden Ausgabedaten. Der Festwertspeicher ist ein unveränderlicher Speicher (ROM = Read Only Memory), dessen Inhalt hauptsächlich aus Mikroprogrammen des Steuer- und Rechenwerks besteht. Weitere interne Speicher sind der Cache Memory mit der Funktion eines Puffers sowie das Register, das als Indexregister oder Instruktionsregister (Befehlszähler) verwendet wird (Stahlknecht/ Hasenkamp 2002, S. 24ff.).

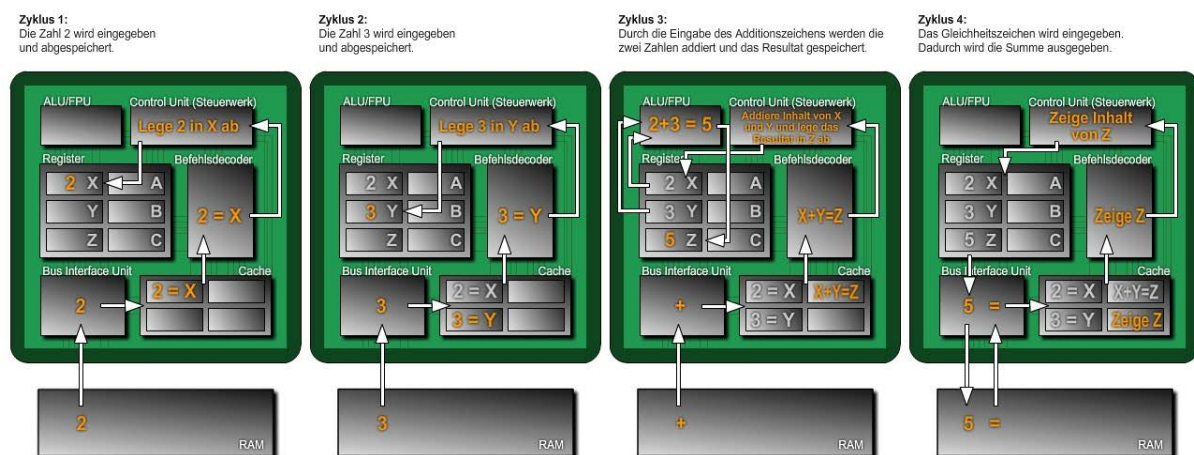


Abb. xx: Die Arbeitsweise der CPU

Ablauf einer Befehlsausführung

Die Verarbeitung eines Befehls wird nach einem ganz bestimmten Zyklus geregelt, dem von-Neumann-Zyklus (s. Tabelle xx).

Tabelle xx: Steuer- und Rechenwerk arbeiten nach dem so genannten von-Neumann-Zyklus (Stahlknecht/Hasenkamp 2002, S. 27):

Befehlsaufbereitung durch das Steuerwerk (Control Unit)	1. Befehl entsprechend dem aktuellen Befehlszähler aus dem Hauptspeicher holen. 2. Befehl decodieren, Operandenadressen oder Sprungziele errechnen. 3. Operanden holen.
Befehlsausführung durch das Rechenwerk (ALU)	4. Befehl ausführen, d.h. Operanden verarbeiten und ggf. das Ergebnis speichern
Steuerwerk (Control Unit)	5. Befehlszähler erhöhen.

6.2.5 Die Kommunikation mit dem Rechner erfolgt über Programme

Egal, ob es sich um ein Smartphone, eine Drohne oder eine computergesteuerte Bearbeitungsstation für Werkstücke handelt, die Kommunikation mit diesen technischen Systemen erfolgt über geeignete **Software (Programme)**.

Vom Problem zum Maschinencode

Alles was ein Rechner tun soll, muss ihm vorher „einprogrammiert“ werden. Dazu müssen **Algorithmen** (Verfahrensvorschriften) definiert werden. Mit ihnen werden die Handlungsschritte formuliert, die für die Lösung eines Problems abgearbeitet werden müssen. Die Algorithmen werden von Entwicklern in verschiedenen **Programmiersprachen** verfasst. Jede Programmiersprache besteht-ähn-

lich wie eine Fremdsprache – aus bestimmten Vokabeln und einer Grammatik. Der daraus resultierende Code entspricht trotz der standardisierten Form jedoch noch nicht den Anforderungen, die das Rechenwerk eines Prozessors zum Abarbeiten von Maschinenbefehlen stellt. Ein Programm wird daher intern in einen für den Rechner verständlichen **Maschinencode** übersetzt, also in binärer Form in den Speicher geschrieben und anschließend vom Prozessor verarbeitet. Die Übersetzung einer Programmiersprache in Maschinensprache übernehmen spezielle Programme wie **Assembler**, **Compiler** oder **Interpreter** (vgl. Stahlknecht/ Hasenkamp 2002, S. 85).

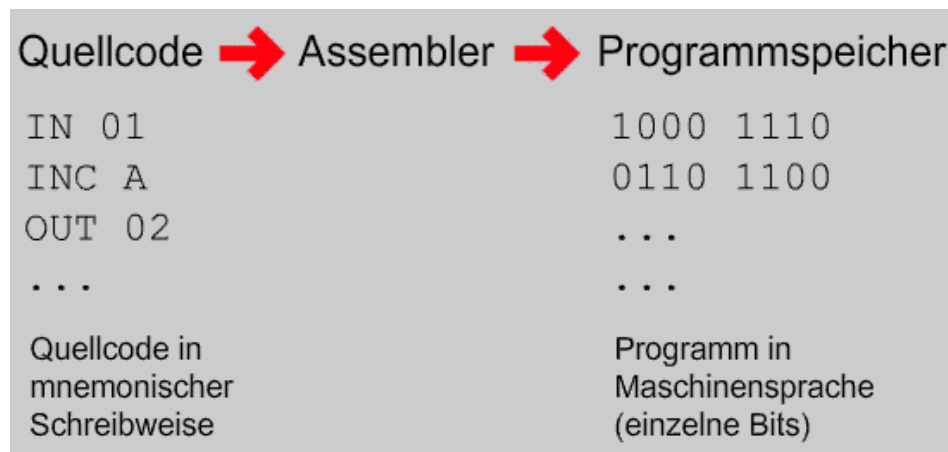


Abb. xx: Übersetzung einer Programmiersprache in Maschinensprache

Programmiersprachen

Bei den Programmiersprachen, die zum Erzeugen von Software verwendet werden, gibt es Unterschiede. Während sich ein Programmierer bei der Nutzung von **Assembler-Sprachen** so ziemlich um alles, was vom Rechner zu erledigen ist, selbst kümmern muss, nehmen ihm die so genannten **Hochsprachen** lästige Arbeiten ab. Zu diesen zählen die **problemorientierten Sprachen**. Sie kommen der menschlichen Sprache etwas näher, als Assembler oder reiner Maschinencode. Der Vorteil ist hier, dass sie unmittelbar die Anwendung von Algorithmen unterstützen, zudem direkt für bestimmte Anwendungsgebiete entwickelt wurden. Noch einen Schritt weiter gehen die **objektorientierten Sprachen**, da hier bereits Sachverhalte, Objekte als Prototypen definiert sind und dann nur mehr angepasst werden müssen.

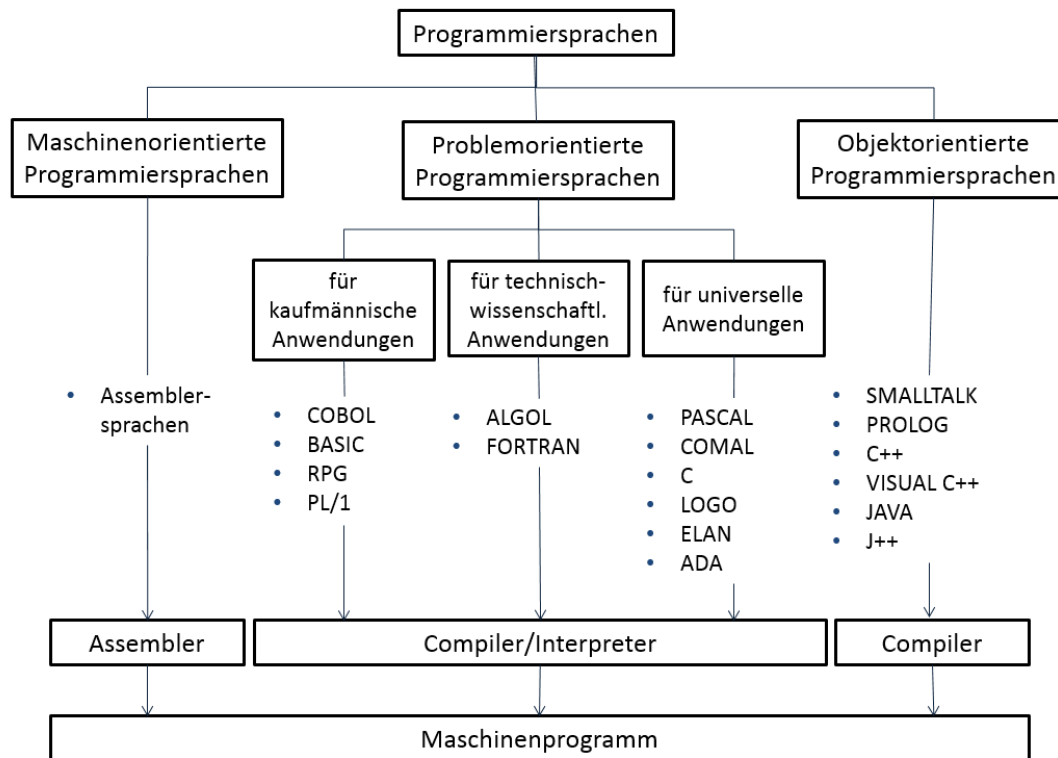


Abb. Xx: Programmiersprachen

6.2.6 Mit Schaltungen können Informationen gewandelt werden

Die grundlegenden Theorien über die notwendigen Bestandteile eines Datenverarbeitungssystems waren bis Mitte des 20sten Jahrhunderts im Wesentlichen erarbeitet und auch die technologischen 149

Bausteine waren vorhanden. Das zentrale technische Element eines Rechnersystems ist der **Schalter**. Mit ihm lässt sich „Information“ wandeln. Genauso wie jeder Lichtschalter kann mit ihm beispielsweise bestimmt werden, ob Strom fließen soll oder nicht. Die Kombination mehrerer Schalter ermöglicht logische oder arithmetische Verknüpfungen einzelner Informationseinheiten (1 oder 0).

Entwicklung der Schaltungen

Da von der Umschaltgeschwindigkeit des Schalters die Geschwindigkeit des Informationsflusses abhängt, bestimmt er die Leistungsfähigkeit des Datenverarbeitungssystems. Folgende Entwicklungsschritte von „Schaltern“ lassen sich hier nennen: Relais, Vakuumröhre, Transistor und integrierte Schaltung (s. Abb. xx).

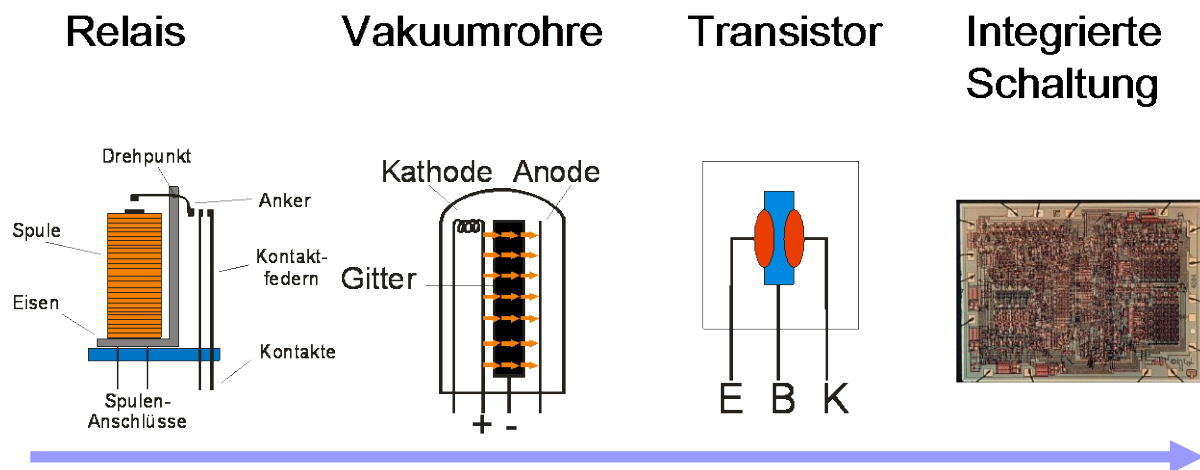


Abb. xx: Schaltungen - grundlegende Bausteine rechnergestützter Datenverarbeitung

Relais

Das Relais arbeitet aufgrund elektromagnetischer Kräfte. Werden verschiedene Relais miteinander kombiniert, können Rechenoperationen ausgeführt werden. Allerdings sind solche mechanischen Rechenwerke sehr langsam.¹

¹ Zuses erster richtiger Computer, die Z3 von 1941 bestand aus 600 Relais für das Rechenwerk und 1400 Relais für den Speicher. Zum Vergleich: ein einfacher 8 Bit Prozessor, wie er später in den ersten PCs eingesetzt wurde, hatte zirka 4500 Transistoren. Dieser Rechner war der erste Computer der Welt. Der Rechner war programmierbar und das Programm wurde auf Lochstreifen gespeichert - eigentlich alte Kinofilme, die Zuse mit einem Bürolocher bearbeitet hatte. Obwohl sicher ein Rechner kriegswichtig war, wurde Zuse nie besonders viel Aufmerksamkeit zuteil und er bastelte bis zum Ende des Krieges weiter bis zur Z4.

Vakuumpipeline

Bei einer Vakuumpipeline ist zwischen einer Kathode, die Strom fñhrt, und einer Anode ein Gitter in einem Vakuum. Durch das Spannungsgefãlle werden Elektronen von der Kathode zur Anode emittiert. Strom fließt, wenn diese an der Anode ankommen. Setzt man das Gitter zwischen den beiden Elektroden allerdings unter Strom, so stößt die negative Ladung die Elektronen ab – es fließt kein Strom. Wie das Relais ist demnach auch die Vakuumpipeline ein Schalter, der jedoch schon wesentlich kleiner ausfãllt und vor allem schneller arbeitet. Eine Elektronenröhre kann 1000mal schneller rechnen als ein Relais, hat jedoch eine relativ kurze Lebensdauer und ist außerdem im Vergleich zur nächsten Schaltergeneration immer noch sehr groß.

Transistor

Erst als in den 50iger Jahren des 20. Jahrhunderts Transistoren mit Silizium als Schaltelemente produziert wurden, waren die Voraussetzungen für billigere Rechner gegeben. Wie die Röhren sind Transistoren Bauteile, bei denen durch Strom der Stromfluss gesteuert wird. Ein Transistor besteht aus 3 Schichten:

Einem **Emitter** aus einem Halbleitermetall (zuerst Germanium, später das billigere Silizium). In das Halbleitermaterial sind Fremdatome eingebaut, die Elektronen zur Verfügung stellen (z.B. Phosphor). Damit wird die Leitfähigkeit des Materials positiv beeinflusst.

Auf der gegenüberliegenden Seite befindet sich ein **Kollektor**, der ebenfalls mit Fremdatomen ausgestattet ist. In der Mitte befindet sich die **Basis**. Sie ist mit Atomen ausgestattet, die Elektronenmangel haben (z.B. Bor).

Aufgrund der Ladungsverteilung nennt man so einen Transistor einen NPN Transistor (Negativ-Positiv-Negativ), es gibt auch das Gegenteil den PNP Transistor.

Egal von welcher Seite man Strom durchleiten will, eine Seite im Transistor ist immer im Sperrbetrieb. Üblicherweise geht der Strom immer vom Emitter (E) zum Kollektor (K) über, wobei die Strecke Emitter-Basis im Sperrbetrieb ist und die Strecke Basis-Kollektor im Durchlassbetrieb. Um einen Transistor leitend zu machen, muss man nun einfach an die Basis eine höhere Spannung anlegen als zwischen Emitter und Kollektor anliegt, dann wird auch die Strecke Emitter-Basis in eine Diode im Durchlassbetrieb umgewandelt und der Transistor ist leitend.

Integrierte Schaltungen

Silizium ist das wichtigste Material, um so genannte „**Integrierte Schaltungen**“ zu bauen. Bei diesen Bauteilen werden Siliziumschichten fotolithografisch zu einer filigranen Maske geätzt, durch deren Aussparungen Fremdatome so in das Silizium einwandern, dass kleine Transistoren und andere elektronische Komponenten entstehen. Auf diese Weise lassen sich Dioden, Widerstände, Kondensatoren auf einem Siliziumkristallstück, dem "Chip", anordnen.

1964 erschienen die ersten Rechner mit integrierten Schaltungen, 1968 dann die ersten Computer, die ganz in dieser neuen Technik hergestellt waren. Die Geschwindigkeitsgewinne beruhten nun vor allem auf den geringen Wegen. Die Computer wurden kleiner und schneller.

Gatter – Schaltungen zur Umsetzung von algebraischen Operationen

Informationen, Zeichen, Daten sind in elektronischen Bauteilen mittels Binärzahlen repräsentiert. Die dafür notwendigen 1en und 0en sind durch Spannung (logisch 1) oder keine Spannung (logisch 0) definiert. Die Verarbeitung von Daten ist ohne die Verknüpfung mit bereits bestehenden Daten, die kurzzeitig oder auch längerfristig in Speichern abgelegt wurden, nicht denkbar. Auch die neuen Daten, die durch die Verknüpfung entstehen, müssen wieder abgelegt werden. Diese Verknüpfung der Daten stellen **logische Schaltungen** sicher.

Durch die Kombination verschiedener Schaltelemente zu einer Schaltung lassen sich auf elektronischem Weg unterschiedliche mathematische Operationen umsetzen. In der Digitaltechnik eine solche Schaltung als Logikgatter bzw. Gatter (engl. gate) bezeichnet. In Abhängigkeit von den Eingangssignalen, die an dem jeweiligen Eingang des Logikbausteins anliegen, geben die einzelnen Gatter spezielle (logische) Ausgangssignale aus. Diese Ausgangssignale werden an weitere Gatter weitergeleitet.

Folgende Typen von Logikgattern lassen sich unterscheiden: XOR-Gatter, NOR-Gatter, NAND-Gatter, XNOR-Gatter, Und-Gatter, Oder-Gatter und Nicht-Gatter. Durch die Verknüpfung mehrerer grundlegender Logikgatter werden alle weiteren logischen Funktionen erzeugt. Nachfolgend sind einige dieser Gatter dargestellt und zwar mit Relais, damit man die Funktionsweise deutlich wird.

UND-Gatter

Ein UND-Gatter ist ein Gatter mit mehreren Eingängen und einem Ausgang, bei dem der Ausgang (A) genau dann eine 1 (Spannung) liefert, wenn an sämtlichen Eingängen (E_1 , E_2) 1 (Spannung) anliegt.

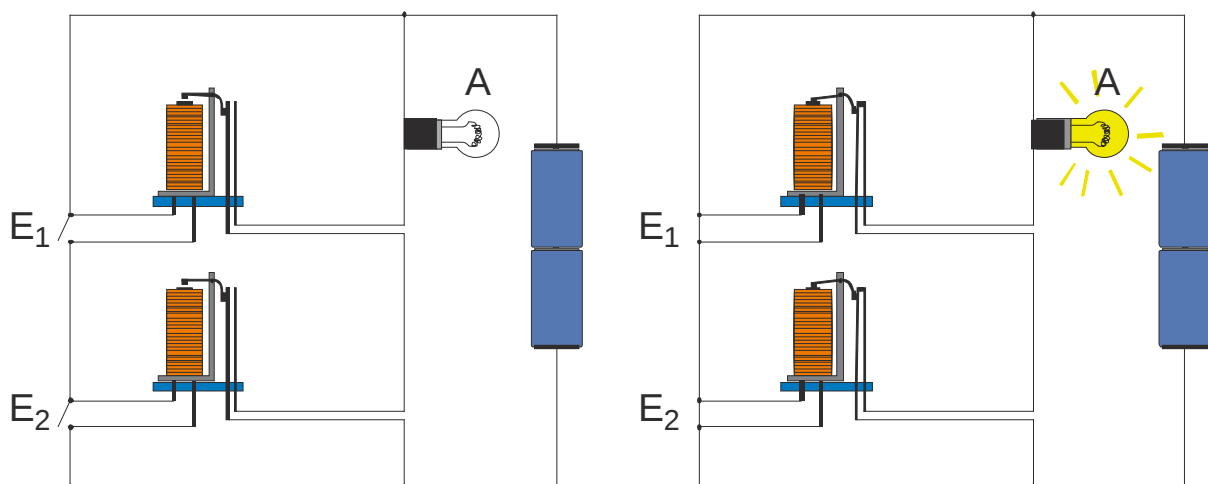


Abb. xx: UND-Gatter, dargestellt mit Relais

ODER-Gatter

Ein Oder-Gatter ist ein Gatter mit mehreren Eingängen und einem Ausgang, bei dem der Ausgang genau dann eine 1 liefert, wenn an mindestens einem Eingang eine 1 anliegt. Es entspricht dem Logischen ODER.

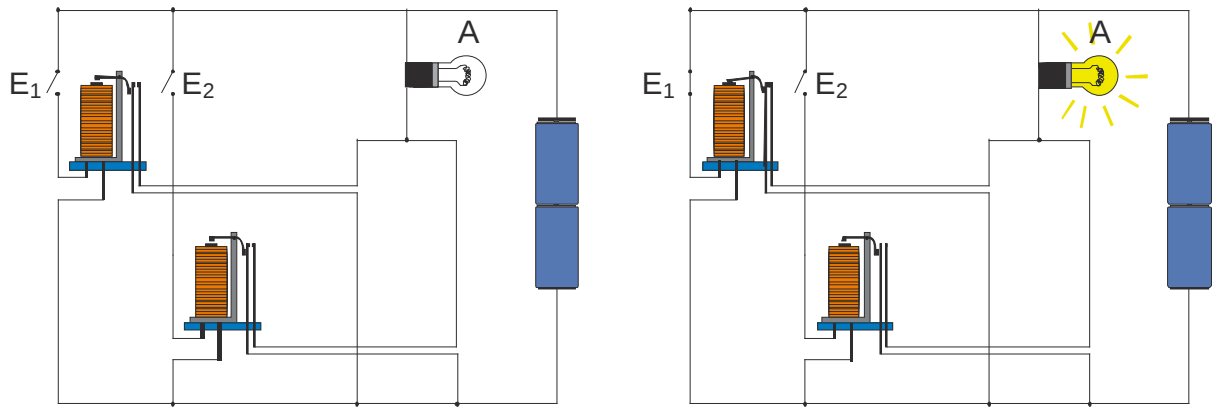


Abb. xx: ODER-Gatter, dargestellt mit Relais

NAND-Gatter

Ein NAND-Gatter (von englisch: not and - nicht und) ist eine logische Grundschialtung (Gatter) mit zwei oder mehr Eingängen E1, E2 und einem Ausgang A, zwischen denen die logische Verknüpfung NICHT UND besteht. Ein NAND-Gatter gibt am Ausgang nur dann 0 aus, wenn alle Eingänge 1 sind, bzw. gibt am Ausgang nur dann 1 aus, wenn mindestens ein Eingang 0 ist.

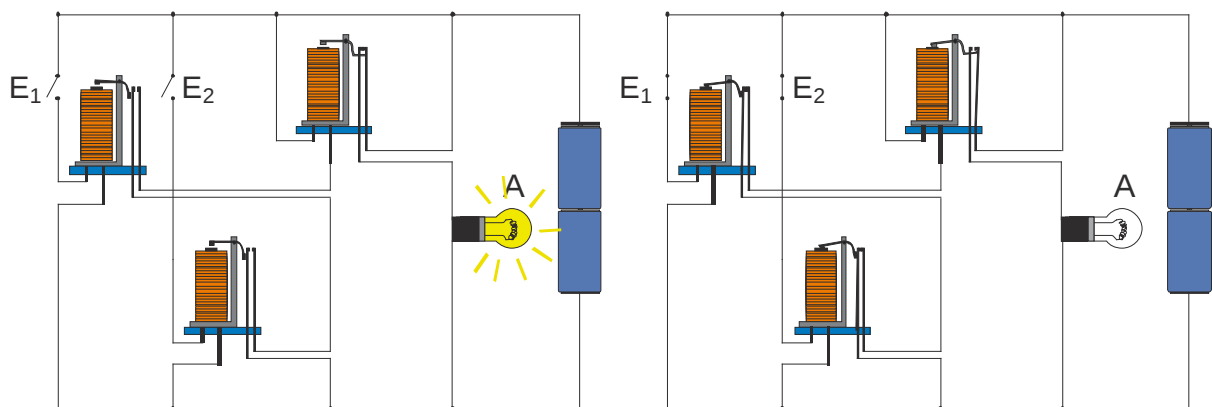


Abb. xx: NAND-Gatter, dargestellt mit Relais

Die Anzahl der Gatteräquivalente dient als Maß für die logische Komplexität einer Schaltung. Technisch realisiert werden diese Gatter heute natürlich nicht mehr mit Relais oder Röhren, sondern mit Halbleiterbauelementen in Chips.

6.3 Datenübertragung und Telekommunikation

Die Datenübertragung von Rechnern, genauso wie die Telekommunikation zwischen Menschen, baut auf der Übertragung von Signalen innerhalb eines Übertragungssystems. Um Daten in Form von Signalen zu übermitteln, braucht man **Datenstationen**, **Übertragungswege** und **Übertragungsverfahren** (s. Stahlknecht/ Hasenkamp 2002, S. 90).

6.3.1 Daten werden auf verschiedenen Signalübertragungswegen geleitet

Meist gliedert sich der gesamte Signalübertragungsweg aus verschiedenen Übertragungsabschnitten, in denen unterschiedliche Übertragungsmedien zum Einsatz kommen (s. Tabelle xx).

Tabelle xx: Signalübertragungsarten und –medien

Weg	Informationssignal	Übertragungsmedien
Draht	Nieder- oder hochfrequenter elektrischer Wechselstrom	Oberirdisch, unterirdisch, Blankdraht, Erdkabel, Luftpipeline, Seekabel
Funk	hochfrequente elektromagnetische Welle	Terrestrischer Funk (Richtfunk, Zellularfunk), Satellitenfunk
Licht	elektromagnetische Welle, überwiegend im Frequenzbereich des sichtbaren Lichts	Lichtwellenleiter, Infrarotverbindung, Laserverbindung,

In Kupferleitungen erfolgt die Weiterleitung von elektrischen Signalen über den Transport von Elektronen. Einfache Kupferkabel sind anfällig gegenüber Störungen, besser geeignet sind hier so genannte Koaxialkabel, bei denen das Signal führende Innenkabel abgeschirmt wird.

In Glasfaserkabeln übernehmen dann Photonen (Lichtteilchen) die Aufgabe der Signalleitung. (vgl. Stahlknecht/ Hasenkamp S. 92). Über die verschiedenen Farben (Frequenzbereiche) des Lichts lassen sich verschiedene Datenkanäle unabhängig voneinander in einer Leitung betreiben. Infrarotverbindungen sind vor allem innerhalb einzelner Räume möglich, Laserverbindungen werden nur selten eingesetzt.

Werden Informationen über Funk transportiert, müssen sie in elektromagnetische Wellen umgewandelt werden.

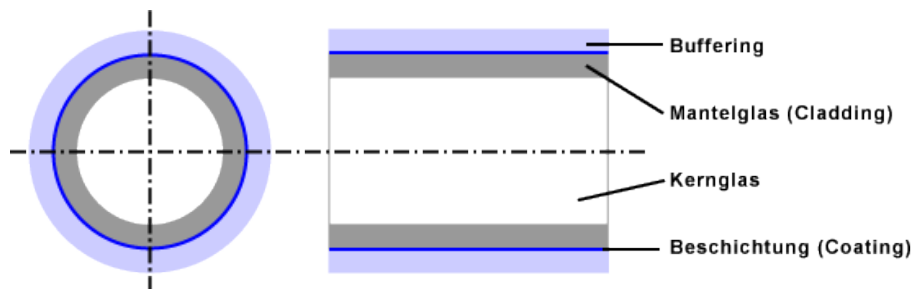


Abb. xx Aufbau des Lichtwellenleiters

Eine besondere Bedeutung hat die Signalübertragung im Bereich der Telekommunikation.

6.3.2 Verschiedene Übertragungsverfahren eignen sich zum Datentransport

Die Datenübertragung zwischen informations- und kommunikationstechnischen Einrichtungen wird mit genau bestimmten Übertragungsverfahren sichergestellt. Sie sind durch die Art der **Zeichenübertragung** (bitparallel oder bitseriell, vgl. dazu Abschnitt 6.2.2), durch die Art des **Gleichlaufverfahrens** (Gleichlauf des Senders und Empfängers, dazu Abschnitt 6.2.2), durch die Wahl zwischen analoger

oder digitaler Datenübermittlung, durch das Modulationsverfahren sowie das jeweilige **Betriebsverfahren** (simplex, halbduplex, voll duplex) gekennzeichnet.

Modulationsverfahren

Während benachbarte Rechner direkt mit einem Kabel (lokal area network = LAN) oder drahtlos, also über Funk (wireless lokal area network = WLAN), verbunden werden können, eignet sich für die Verbindung weit entfernter Rechner das Telefonnetz. Dieses war eigentlich eher für die Weiterleitung analoger Sprachsignale ausgelegt und arbeitete durch eine Übertragung der analogen Sprachsignale über Änderungen der Spannung bzw. des Stroms. Dabei wurde der Schall über ein Mikrofon in Sprechwechselstrom mit gleicher Frequenz wie die Sprache, nämlich 300 bis 3400 Hz übertragen.

Eine bessere Ausnutzung der Leitungen wird dadurch erreicht, dass man die Signale auf elektrische Schwingungen mit einer bestimmten Frequenz (Trägerfrequenz) „aufmoduliert“. Auf **einer** Trägerfrequenz lassen sich ganz unterschiedliche Informationen unabhängig voneinander so aufmodulieren, dass sie sich empfängerseitig dann trennen lassen. Auf diese Weise kann man beispielsweise zu einem bestimmten Rundfunkkanal mit Musik auch noch Hintergrundinformationen übertragen.

Unter **Modulation** versteht man also die Beeinflussung einer Trägerfrequenz zum Zwecke der Übertragung von Informationen auf **Drahtleitungen** oder auf **drahtlosem Weg (Funk oder Licht)**. Für die Modulation kann auf verschiedene Verfahren zurückgegriffen werden.

Die bekanntesten Modulationsverfahren sind die beim Radio verwendeten **Amplitudenmodulation** (AM) und die **Frequenzmodulation** (FM). Ein weiteres Verfahren ist die **Phasenmodulation** (PM).

Frequenzmodulation (FM)

Bei der Frequenzmodulation wird die Frequenz der Trägerschwingungen im Takt der zu übertragenden Signale verändert. Die Frequenzmodulation wird z.B. bei der Übertragung unserer Radiosender (UKW) verwendet.

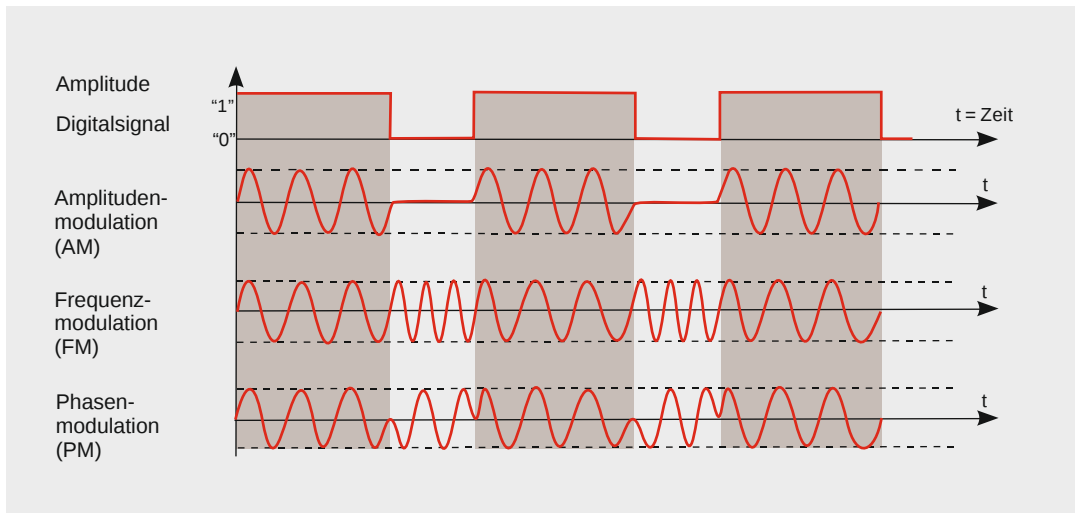
Amplitudenmodulation (AM)

Bei der Amplitudenmodulation, wie sie etwa beim Rundfunk für die „Mittelwelle“ eingesetzt wird, wird die Schwingungsweite der hochfrequenten Trägerschwingungen beeinflusst.

Phasenmodulation (PM)

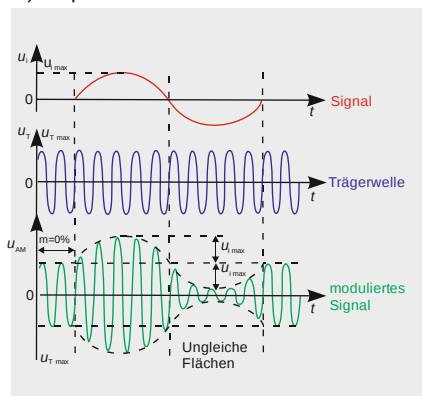
Moderne Hochgeschwindigkeitsmodems arbeiten generell mit der **Phasenmodulation**, die in ähnlicher Weise funktioniert wie die Frequenzmodulation.

Auf eine Trägerfrequenz lassen sich analoge und digitale Signale aufmodellieren.



Modulation von elektromagnetischen Wellen

a) Amplitudenmodulation



b) Frequenzmodulation

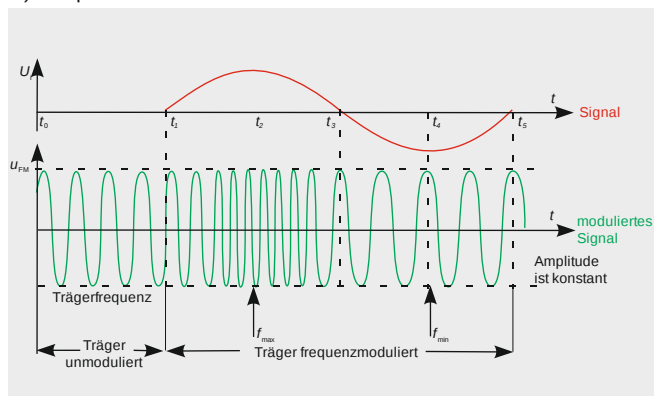


Abb. xx: Modulationsverfahren

Aufbereitung der Daten durch Modems

Signale, die bei der Datenfernübertragung von Computern, aber auch bei der Telefonie anfallen, müssen nachdem sie auf Trägerfrequenzen aufmoduliert wurden, beim Empfänger wieder von der Trägerfrequenz abgetrennt werden. Die Umkehrung zur Modulation ist die Demodulation. Diese Umformung wird durch **Modulatoren** und **Demodulatoren**, kurz Modems, sichergestellt.

Betriebsverfahren

An der Schnittstelle zwischen Dateneneinrichtung und Übertragungsstrecke muss die Richtung des Datenflusses definiert werden. Hier werden drei Betriebsverfahren unterschieden: Der Richtungsbetrieb simplex, nur in einer Richtung, der abwechselnde Übertragung in eine Richtung (halbduplex) sowie der Gegenbetrieb (vollduplex), bei der Senden und Empfangen gleichzeitig möglich ist.

6.3.3 Die Funktechnik ist eine Grundlage für die Mobilkommunikation

Immer mehr Bereiche unseres Lebens werden von der Funktechnik beeinflusst (z.B. Fernsehen, Radio, Telefon oder Netzwerke). Was uns auf den ersten Blick als eine einheitliche Technologie erscheint, ist jedoch in Wirklichkeit ein Bereich mit unterschiedlichsten technischen Aspekten. Nachfolgend sollen nur einige Grundlagen erläutert werden.

Grundprinzip der Funktechnik - Schwingungserzeugung

Die Bezeichnung **Funk** stammt noch aus den Anfangstagen dieser Technik, als Heinrich Hertz 1886 mittels einer **Funkenstrecke** Sendesignale erzeugte. Erst später wurden die Signale mit langen Drähten (Antennen) ausgesendet, was auch die Reichweite der Signale erhöhte.

Das Grundprinzip der Funktechnik basiert darauf, dass ein **Schwingungserzeuger** so genannte Grund- oder **Trägerwellen** erzeugt. Der Schwingungserzeuger beruht auf dem Prinzip des **Schwingkreises**. Ein Schwingkreis besteht aus einem Kondensator und einer Selbstinduktionsspule. Einmal aufgeladen entlädt sich der Kondensator in die Spule, die elektrische Energie wird in magnetische umgesetzt. Bei Zusammenbruch des magnetischen Feldes wiederum wird in die Spule ein **Strom induziert**, der den **Kondensator** umgekehrt auflädt. Diese Pendelung besitzt eine bestimmte Frequenz. Durch Öffnen des Kondensators kommt man zur Antenne. Das elektrische Feld des Kondensators wird hier für die Abstrahlung, aber auch für den Empfang der **elektromagnetischen Wellen** genutzt.

Bei der Pendelung zwischen Kondensator und Induktionsspule treten Dämpfungsverluste auf. Dem Schwingungserzeuger muss daher Energie zugeführt werden. Man spricht in diesem Fall dann von einem Oszillator.

Der Oszillator erzeugt ein Wechselspannungssignal mit einer bestimmten Frequenz. Ab 16000 Schwingungen pro Sekunde ist es möglich, diese Signale im freien Raum aufzuspüren, da der Wellenwiderstand Z des freien Raumes (377 Ohm) dann geringer ist als der Wellenwiderstand der Antenne bzw. der Leitung. Dem elektromagnetischen Feld ist es dabei nicht mehr möglich in den Leiter

zurückzukehren (Weg des geringsten Widerstandes). Dadurch strahlt das elektromagnetische Feld von der Antenne ab.

„Aufmodellierung“ von Information auf eine Trägerwelle

Die elektromagnetische Trägerwelle allein, die Trägerfrequenz, die vom Oszillator erzeugt wird, ist nicht hörbar und stellt auch noch keine Information dar. Diese wird im Hückepackverfahren auf die Trägerwelle aufgesetzt (**Modulation**, s. Abschnitt 6.3.2). Somit können dann unterschiedliche Zustände in codierter Form übertragen werden.

Beim Empfänger wird der Schwingkreis auf die Frequenz der eintreffenden Welle abgestimmt. Die Energie der Welle lässt im Schwingkreis dann einen im Gleichtakt verlaufenden hochfrequenten Wechselstrom entstehen, der nach **Demodulation** (Gleichrichtung) und Verstärkung einem Lautsprecher zugeführt werden kann.

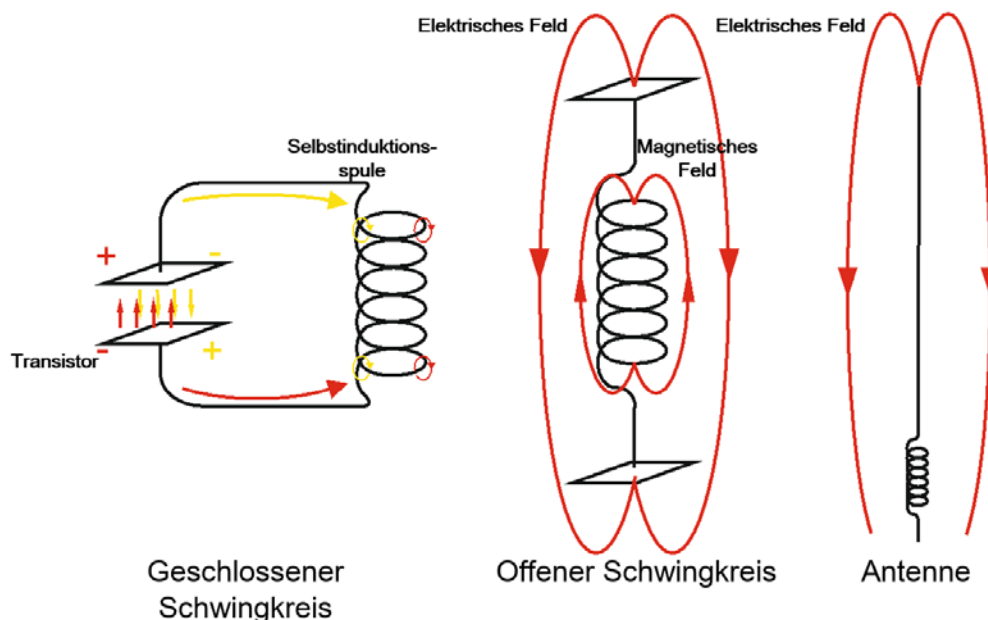


Abb. xx: Schwingkreis als Sender und Empfänger

6.3.4 Der Datenaustausch im Mobilkommunikationsnetz

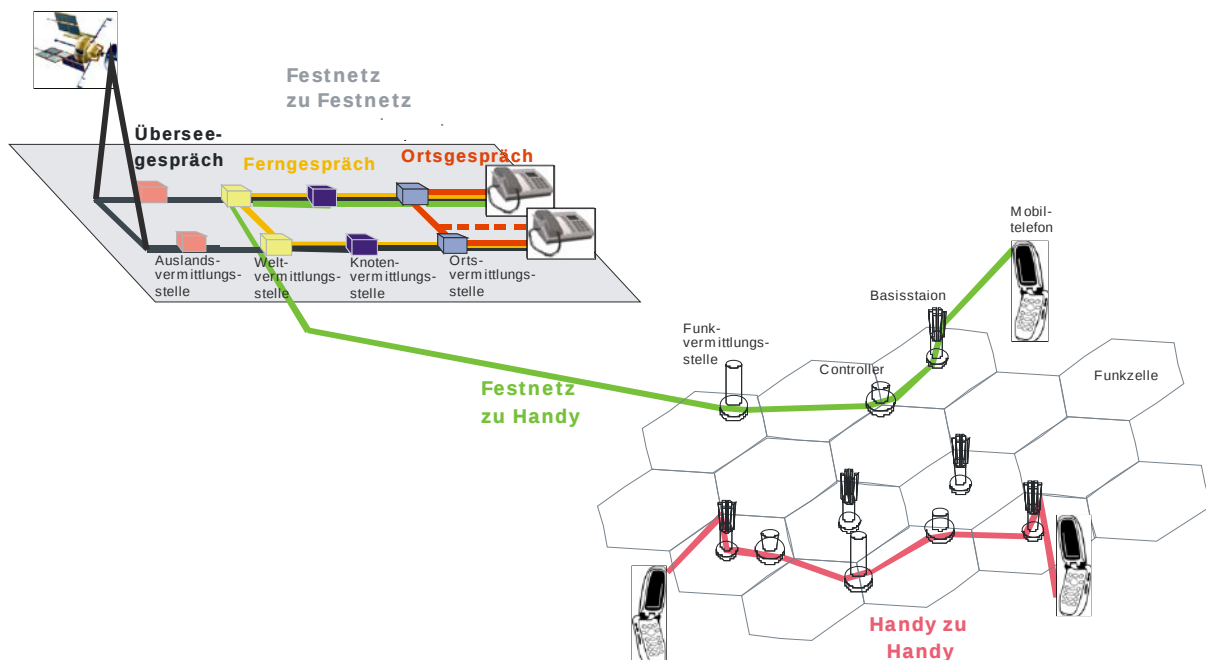
Die drahtlose **Telekommunikation**, auch **Mobilfunk** genannt, hat in den letzten Jahren rasant an Bedeutung gewonnen. Anders als beim klassischen Funken sind Sender und Empfänger hier nicht direkt verbunden, sondern über verschiedene stationäre Einheiten (Basisstationen). Da sich bei der Mobilfunktechnik eine Vielzahl von Teilnehmern einen begrenzten Umfang von **Frequenzen** teilen muss und die „Handys“ aus Gewichtsgründen auch nur kleine Akkus für kleine Reichweiten haben,

wird ein Sende- und Empfangsgebiet in kleine **Zellen** aufgeteilt. Das Handy muss dann grundsätzlich eine Funkverbindung zu dem stationären Sender aufweisen.

Erst durch eine zellulare Aufteilung des geographischen Gebietes ist eine Vervielfältigung des Frequenzbereichs möglich geworden, denn dieselben Frequenzen können so in mehreren Zellen verwendet werden – allerdings nicht in benachbarten Zellen.

Telefon: vom Hausanschluss zum Satelliten

Die Übertragung der Daten zwischen verschiedenen Arten der Telekommunikation zeigt die nachfolgende Grafik. Ein Telefon wandelt Töne in elektrische Schwingungen um. Bei Ortsgesprächen laufen diese als Wellen durch Kupferkabel und werden in kleineren Orten über eine Vermittlungsstelle (rote Linie, teilweise gestrichelt), in größeren über zwei (rot) gelenkt. Bei Ferngesprächen (gelb) gelangen die Signale nach einer Umwandlung in Licht durch Glasfaserkabel und weitere Stationen zum Adressaten. Für Überseegespräche (schwarz) verschickt eine Vermittlungsstelle die Signale durch Kabel oder per Mikrowelle über einen Satelliten ins Ausland, wo sie weitergeleitet werden. Bei Anrufen ins Mobilfunknetz (grün) werden die Signale über eine Funkvermittlungsstelle, einen „Controller“, eine Basisstation und dann per Mikrowelle zum Telefon geschickt. Gespräche im Mobilnetz (rosa) funktionieren ähnlich. Jede Basisstation hat eine bestimmte Reichweite. An den Rändern ihrer „Funkzelle“ werden die Signale schwächer – quert ein Telefon die Grenze der Zelle, sendet es ein Funksignal an die nächste Basisstation.



7. Von der Idee zum Produkt

Welche Schritte sind für die Produktion von Gütern erforderlich? Welche Bedeutung spielt die Technik bei der Produktion von Gütern? Welche Fertigungsverfahren existieren?

Inhalt

Abstract	161
7.1 Der Produktlebenszyklus	164
7.2 Die Produktentstehung	168
7.2.1 Konstruktion.....	168
7.2.2 Produktionsplanung und Arbeitsvorbereitung	172
7.2.3 Produktion.....	175
7.2.3.1 Arbeitsteilung als grundlegendes Organisationsprinzip der Produktion	177
7.2.3.2 Technisierungsgrad und Arbeitsbeziehungen zwischen Mensch und Maschine	180
7.2.3.3 Grundlagen der Produktionstechnik.....	181

Abstract

Unter **Produktion** versteht man im volkswirtschaftlichen Sinn die Erzeugung von Gütern. Dabei kann es sich um Sachgüter, aber auch um die Bereitstellung von Dienstleistungen handeln. Im Rahmen dieser Lerneinheit geht es um die Produktion von **Sachgütern**, wobei der Fokus besonders auf der industriellen Produktion liegt.

Die Produktion industrieller Güter erfolgt heute vor dem Hintergrund sich im globalen Wettbewerb befindlicher Akteure und der Flüchtigkeit der Produktionsfaktoren Arbeit und Kapital sowie sich schnell verändernder Kundenanforderungen und Märkte. Dies führt gerade in Hochlohnländern zu einem beständigen **Zwang zu Rationalisierung, Automatisierung und Qualitätssicherung**. Es gilt, die Zeit zu minimieren, die zwischen der ersten Planung eines Produktes und dem Weg zum Kunden liegt. Dabei spielt die Technik eine entscheidende Rolle.

Die Grundlage für jede Produktion ist die gezielte Kombination verschiedener **Produktionsfaktoren**. Ganz allgemein kann man diese in Arbeit, Boden und Kapital unterscheiden. Die menschliche Arbeit lässt sich wiederum in eine **dispositive** (planerische) oder **direkt objektbezogene** (fertigende)

Komponente unterteilen. Boden und Kapital werden im Rahmen wirtschaftlicher Betrachtungen oft zusammengefasst, zum Beispiel zu Betriebsmitteln oder Werkstoffen. Erst durch das **Zusammenwirken der verschiedenen Produktionsfaktoren** zu einem **Produktionssystem** können Produkte entstehen.

Die Produktion eines Gutes ist Teil des **Produktlebenszyklus**, der sich in verschiedene Phasen aufteilen lässt: In die **Produktplanung**, die **Konstruktion**, die **Arbeitsvorbereitung**, die **Herstellung**, den **Vertrieb**, die **Nutzungsphase** sowie die **Außerbetriebnahme** bzw. die **Entsorgungs-** oder **Recyclingphase**. Die ersten vier Phasen des Produktlebenszyklus können zusammenfassend als **Produktentstehung** bezeichnet werden.

Die **Konstruktionsphase** lebt zwar von der Kreativität und Erfahrung des Konstrukteurs, lässt sich allerdings durch eine feste Abfolge an Arbeitsschritten, der Anwendung geeigneter Methoden und technischer Hilfsmittel unterstützen. In jeder der vier Phasen bzw. Arbeitsschritten der Konstruktion (**Planung**, **Konzeption**, **Entwurf** und **Ausarbeitung**) kommen in der Regel technische Hilfsmittel zum Einsatz, z.B. rechnergestützte Konstruktionskataloge, Datenbanken oder Zeichenwerkzeuge. Eine besondere Bedeutung haben heute die **CAD-Systeme** (Computer Aided Design), mit deren Hilfe besonders die Entwurfs- und Ausarbeitungsphase unterstützt wird.

In der **Planungsphase** geht es im Wesentlichen darum, die Anforderungen an das zu konstruierende Produkt zusammenzutragen, um dann geeignete technische Lösungen zu finden. Anforderungen können sich aus allen Produktlebensphasen ergeben. Aus diesen Anforderungen werden bei der **Konzeption** Haupt- und Teilfunktionen für das Produkt abgeleitet, für die ihrerseits **technische Lösungsprinzipien** gefunden, bewertet und ausgewählt werden müssen. Dabei kann es sich um **physikalische**, **chemische** oder aber auch **biologische Effekte** oder **Gesetze** handeln. Diese Prinzipien beanspruchen ihrerseits einen bestimmten Wirkort und möglicherweise eine bestimmte Wirkrichtung. Damit determinieren sie **Geometrie** und **Werkstoffe**, also die **Baustruktur**, die notwendig ist, um die jeweilige Teilfunktion zu erfüllen.

Beim **Entwerfen** wird das aufgrund der Lösungsprinzipien und der ihnen zugeordneten Bauteile konzipierte technische Gebilde grafisch skizziert und auch rechnerisch ausgelegt. In der **Ausarbeitung** werden nun alle Informationen erstellt, die für die Fertigung notwendig sind. Als Informationsträger kommen Technische Zeichnungen, Stücklisten oder Anweisungen in Frage.

Die **Arbeitsvorbereitung** ist Teil der Organisation für alle in einem Unternehmen ablaufenden Prozesse. Sie resultiert aus der Notwendigkeit, komplexe Vorgänge in einzelne Arbeitsschritte aufzuteilen (**Arbeitsteilung**) und wird auch als **Fertigungsorganisation** bezeichnet. Zusammenfassend lässt sich der Aufgabenbereich der Arbeitsvorbereitung in **Planungs-** (Material-, Informations-, Kapazitäts- und Ablaufplanung) und **Steuerungsaufgaben** (Veranlassen, Überwachen und Sichern der Programm- und Auftragserfüllung) einteilen. Ein wesentlicher Aspekt der Arbeitsvorbereitung ist die **fertigungsnahe Aufbereitung der Produktdaten** in Technischen Zeichnungen, Stücklisten und Arbeitspläne.

Die Produktion von Sachgütern erfolgt in **Produktionssystemen**, die nach unterschiedlichen Merkmalen analysiert werden können. Von Bedeutung sind hier zunächst **Ziel und Zweck des Produktionssystems** und davon ausgehend dann die **grundlegende Technik** zur Realisierung des Produktcharakters (**Verfahrens- oder Fertigungstechnik**), der **Grad der Technisierung** und die im Wesentlichen davon

bestimmte Ausprägung der **Arbeitsbeziehungen** sowie die **Arbeitsteilung** zwischen **Mensch und Maschine**.

Alle genannten Faktoren eines Produktionssystems sind bei der **Fertigungsorganisation** mit zu berücksichtigen. In Abhängigkeit vom Produktcharakter haben sich bestimmte Organisationsprinzipien bewährt. Bei den Organisationsprinzipien unterscheidet man hinsichtlich der Ausrichtung der Bearbeitungsstationen das **Werkbank-, Objekt- und Verrichtungsprinzip** und hinsichtlich der Art der Zuordnung des Arbeitspensums auf die Arbeitspersonen die **Art- und Mengenteilung**.

Setzt man die Funktionen eines Produktionssystems, die vorrangig mit Werkzeugen, Maschinen oder Automaten realisiert werden, ins Verhältnis zur Gesamtzahl der Funktionen einschließlich derer, die durch menschliche Handarbeit verrichtet werden, kann man auf den **Technisierungsgrad** bzw. auf den Grad der Automatisierung schließen.

Die **Automatisierung** bringt generell eine Verschiebung beruflicher Aufgaben mit sich: Es treten solche Aufgaben in den Hintergrund, die vorrangig Krafteinsatz, Motorik oder Reaktion des Menschen fordern. Das Spektrum verschiebt sich hin zu den kombinatorischen und kreativen, namentlich zu Einrichtungs-, Steuerungs-, Überwachungs- und Wartungs- sowie Programmierfähigkeiten.

Der **Technisierungsgrad** eines Produktionssystems ist damit ausschlaggebend für die **Arbeitsbeziehungen** zwischen Mensch und Maschine. Je nachdem welche Rolle der Mensch hier übernimmt, kann man zwischen der **aktiven** oder **passiven Kopplung** oder der **autonomen Kooperation** unterscheiden.

Um den Charakter eines Produktes zu realisieren, kommen Verfahrens- und/oder Fertigungstechnologien zum Einsatz: Die **Stoffwandlungsverfahren** bei der Verfahrenstechnik und die **Gestaltgebungsverfahren** bei der Fertigungstechnik. Die verschiedenen **Gestaltgebungsverfahren** der Fertigungstechnik lassen sich allgemein in sechs Hauptgruppen unterteilen: **Urformen, Umformen, Trennen, Fügen, Beschichten und Stoffeigenschaften ändern**.

Schlüsselwörter	
Produktion	Technische Lösungsprinzipien
Sachgüter	Wirkort- und Wirkrichtung
Rationalisierung	Produktcharakter
Qualitätssicherung	Arbeitsteilung
Produktionsfaktoren	Ablauforganisation
Dispositive (planerische) Arbeit	Fertigungsorganisation
Objektbezogene (fertigungsbezogene) Arbeit	Werkbank-, Objekt- und Verrichtungsprinzip
Hilfsmittel	Werkstattfertigung,
Werkstoffe	Baustellenfertigung
Produktionssystem	Reihenfertigung
Produktlebenszyklus	Fließfertigung
Produktplanung	Art- und Mengenteilung
Konstruktion (Planung, Konzeption, Entwurf, Ausarbeitung)	Technisierungsgrad
Arbeitsvorbereitung	Mechanisierung
Herstellung	Automatisierung
Vertrieb	Aktive, passive und autonome Kopplung zwischen Mensch und Maschine
Nutzungsphase	Verfahrenstechnik

Außerbetriebnahme Entsorgungs- oder Recyclingphase Produktentstehung CAD-System Haupt- und Teilfunktionen	Stoffwandlungsverfahren Fertigungs-/Produktionstechnik Gestaltgebungsverfahren Urformen, Umformen, Trennen, Fügen, Beschichten, Stoffeigenschaften ändern
---	--

7.1 Der Produktlebenszyklus

Die Produktion von Gütern erfolgt heute vor dem Hintergrund sich im **globalen Wettbewerb** befindlicher Akteure und der **Flüchtigkeit der Produktionsfaktoren Arbeit und Kapital** sowie sich schnell verändernden **Kundenanforderungen** und Märkte. Alle diese Entwicklungen erzwingen gerade in Hochlohnländern einen beständigen Zwang zu Rationalisierung, Automatisierung und Qualitätssicherung. Es gilt die Zeit, die zwischen der ersten Planung eines Produktes und dem Weg zum Kunden liegt, zu minimieren. Dabei spielt der Technikeinsatz eine entscheidende Rolle und bestimmt somit Art und Umfang beruflicher Aufgaben. Betroffen sind in erster Linie natürlich die technisch orientierten Berufe wie **Ingenieure** oder **Facharbeiter**. Auswirkungen hat der hohe Technisierungsgrad aber auch auf **betriebswirtschaftliche Arbeitsfelder** wie Beschaffung und Vertrieb.

Produktion, Produktionsfaktoren, Produktionssystem

Unter **Produktion** versteht man im **volkswirtschaftlichen Sinn** die Erzeugung von Gütern. Dabei kann es sich um Sachgüter, aber auch um die Bereitstellung von Dienstleistungen handeln. Im Rahmen dieser Lerneinheit geht es vorrangig um die Produktion von Sachgütern.

Die Grundlage für jegliche Art der Produktion ist die gezielte Kombination verschiedener **Produktionsfaktoren**. Man unterscheidet zwischen den grundsätzlichen Produktionsfaktoren **Boden, Arbeit und Kapital**. Aufgrund der Vielfalt der Produktionsprozesse ist es jedoch sinnvoll, eine genauere Differenzierung für die Produktionsfaktoren vorzunehmen. Allgemeine Akzeptanz findet dabei die Gliederung von Erich Gutenberg (1951). Er unterteilt beispielsweise den Faktor Arbeit in die **dispositive Arbeit** (Planung, Organisation, Kontrollen etc.) und in die **objektbezogene Arbeit** (Arbeit am Erzeugnis). Die volkswirtschaftlichen Faktoren **Boden** und **Kapital** werden zusammengefasst und nach betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten eingeteilt in **Betriebsmittel** (Grundstücke, Gebäude, Anlagen, Maschinen, Einrichtungen und Geldmittel) und **Werkstoffe**. Die Werkstoffe wiederum lassen sich unterscheiden in Bestandteile, die als Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe, Halb- und Fertigerzeugnisse **in die Erzeugnisse eingehen** und solchen, wie Energie und Schmiermittel, die allein zum **Betrieb von Betriebsmitteln** erforderlich sind.

Produktionssysteme dienen der Erzeugung von **Sachgütern** durch Transformation von Produktionsfaktoren (vgl. Ropohl 1997). Das Produktionssystem ist die übergeordnete soziotechnische Einheit, zu der einzelne **soziotechnische Arbeitssysteme** verknüpft sind. Soziotechnische Arbeitssysteme sind dadurch gekennzeichnet, dass **arbeitende Menschen** mit **technischen Sachsystemen** darin zusammenwirken (vgl. Lerneinheit 3, Abschnitt xx).

Systematisch lässt sich die Produktion anhand der frühen Lebensphasen eines Produkts beleuchten.

Produktlebenszyklus – Lebensphasen eines Produkts

Der Lebenszyklus eines Produktes („**product lifecycle**“) umfasst seinen gesamten Lebensweg von der Planung, über die Konstruktion, Arbeitsvorbereitung, Herstellung, Auslieferung, Nutzung bis hin zur Außerbetriebnahme und dem anschließenden Recycling. In der Realität kommt eine exakte chronologische Abfolge nicht immer vor. Besonders in den frühen Phasen des Lebenszyklus müssen manche Prozesse parallel laufen, um die häufig recht eng gesteckten Ziele der Markteinführung zu realisieren. Die einzelnen Phasen werden nun kurz skizziert. Ausführlich auf die Phasen der **Produktentstehung** wird dann im Abschnitt 7.2 eingegangen.

Produktplanung

Märkte und Kundenwünsche wandeln sich heute schnell. Das bedeutet, dass das **Produktprogramm** entweder **modifiziert**, **variiert** oder **erweitert** werden muss. Um diesen Anforderungen bei der Produkt- oder Sortimentgestaltung nicht ausschließlich reaktiv zu begegnen, also den Kundenwünschen hinterherzulaufen, ist die **Produktplanung** in größeren Unternehmen häufig eingebunden in gezielt initiierte **Produktinnovations-Prozesse**. Sind Entscheidungen hinsichtlich des Produktprogramms getroffen, dient die Produktplanungsphase auch dazu, den **Rahmen** für das neue Projekt mit all seinen **Funktionen, Terminen, Kosten, Beteiligten oder Projektteams** festzulegen. Außerdem müssen die **Anforderungen für das Produkt** festgelegt werden. Sind Planung und Produktion auf verschiedene Unternehmen aufgeteilt, werden die Anforderungen vom **Auftraggeber** in einem **Lastenheft** definiert. Ein **Auftragnehmer** kann dann in einem so genannten **Pflichtenheft** auflisten, wie er diese Anforderungen umsetzen will.

Die strategische Planung von Produkten zählt in größeren Unternehmen vor allem zu den Aufgaben von Managern, Betriebswirtschaftlern und Ingenieuren.

Konstruktion

Die Konstruktionsphase dient der **Entwicklung eines technischen Systems** bzw. der hierfür notwendigen **Subsysteme** und ihrer **Integration zu einem Produkt**. Dazu werden **abstrakte Ideen** zu den **Funktionen** des technischen Systems zu **konkreten Konzepten** mit technischen und stofflichen Festlegungen weiterentwickelt. Auch hierbei spielt Technik wieder eine wichtige Rolle, etwa durch den Einsatz von **CAD-Programmen** (rechnergestützte Zeichenprogramme). Mit diesen Anwendungen lassen sich technische Systeme modellieren, und damit Zeichnungen, Stücklisten oder "realistische" Ansichten erzeugen, die später von den Beschäftigten in der Produktion, aber auch im Vertrieb, von Kunden oder bei der Außerbetriebnahme genutzt werden können. Außerdem können mit CAD-Programmen die **Funktionen** des Produkts **simuliert** werden oder einzelne Bauteile im Hinblick auf das Verhalten unter verschiedenen Belastungen **berechnet** werden. Die verschiedenen Aufgaben, die in dieser Phase zu bewältigen sind, werden u.a. von Ingenieuren, Technikern oder technischen Zeichnern umgesetzt.



Abb. xx: CAD-Modell einer verfahrenstechnischen Anlage

Produktionsplanung und Arbeitsvorbereitung

Bei der Produktionsplanung und Arbeitsvorbereitung geht es darum, die für die Produktion der Güter vorgesehenen Betriebsmittel zu planen, zu beschaffen oder herzustellen sowie Zeiten und Rohstoffeinsatz vor auszudenken. Außerdem sind die erforderlichen Arbeiten bis ins kleinste Detail zu planen (**Arbeitsplanung**) und anschließend auch zu steuern (**Arbeitssteuerung**). Auch hier sind wieder verschiedene Berufsinhaber mit im Spiel: Betriebswirte, Ingenieure, Techniker oder auch Arbeitssicherheitsfachleute.

Produktherstellung

In dieser Phase wird das bisher nur in Plänen, Zeichnungen oder Modellen bestehende Produkt tatsächlich hergestellt und getestet. Dafür kommen spezielle **Stoffwandlungs-** oder **Fertigungsverfahren** zum Einsatz. Die fachgerechte Umsetzung dieser Verfahren zählt in Deutschland zu den klassischen Aufgabenfeldern von Facharbeitern, also Arbeitnehmern mit einer beruflichen Ausbildung.

Vertrieb

Die Aufgaben des Vertriebs bestehen aus vielseitigen Aktivitäten, wie **Angebotserstellung**, Koordination der Lagerung und des Transports, **Kalkulation der Kosten** oder auch interne Kommunikation über mögliche Produktverbesserungen. Für alle diese Aufgaben werden auch technische Unterlagen benötigt, die ihre Grundlage in den technischen Dokumentationen aus der Phase der Produktentstehung haben. Obwohl der Vertrieb zu den klassischen Aufgabenfeldern von Kaufleuten oder Betriebswirten zählt, haben hier auch technische Berufsinhaber Chancen, etwa als technische Berater.

Nutzung

Die Produktnutzung ist die so genannte Zielfase aller bisher erläuterten Phasen. Sie beinhaltet nicht nur den Gebrauch oder Verbrauch der Produkte durch den Kunden, sondern auch sämtliche Vorgänge, die für eine problemlose Nutzung der Produkte erforderlich sind. Dazu zählen u.a. Wartung und Pflege, Instandhaltung und Reparatur. Unter Umständen muss dabei auch hier auf technische Dokumentationen zurückgegriffen werden.

Im Gegensatz zu vielen Konsumgütern, die sich oftmals gar nicht mehr reparieren lassen, existiert für die Instandhaltung, Wartung oder Reparatur von sogenannten Investitionsgütern ein breites berufliches Aufgabenfeld, etwa für spezialisierte Facharbeiter und Servicetechniker.

Außerbetriebnahme - Recycling

Nach Ablauf seiner Nutzungsdauer geht es in der letzten Phase des Produktlebenszyklus neben der Außerbetriebnahme entweder darum, das Produkt gemäß den umwelttechnischen Auflagen zu **entsorgen** oder Teile wieder in den **Produktkreislauf zurückzuführen** (Recycling).

In diesem Bereich haben sich in den letzten Jahren zahlreiche Berufe und berufliche Spezialisierungen entwickelt. Ein Beispiel ist etwa die Fachkraft für Kreislauf- und Abfallwirtschaft.

Die ersten Phasen des Produktlebenszyklus können zusammenfassend als **Produktentstehung** bezeichnet werden und sollen nun etwas näher beleuchtet werden.

7.2 Die Produktentstehung

7.2.1 Konstruktion

Unter **Konstruieren** versteht man eine **kreative Tätigkeit** mit dem Ziel, unter Berücksichtigung von wissenschaftlichen Erkenntnissen und Erfahrungswerten, eine **optimale Lösung für ein technisches Gebilde** vorauszudenken, den funktionellen und strukturellen Aufbau zu entwerfen und alle für die Fertigung des Gebildes erforderlichen Informationen auszuarbeiten (vgl. VDI- Definition).

Idealtypische Ablaufstruktur

Der kreative Akt der Konstruktion kann durch eine zielgerichtete Abfolge einzelner Arbeitsschritte und Methoden unterstützt werden. Eine allgemein anwendbare **Methodik zum branchen- oder produktunabhängigen Entwickeln und Konstruieren** technischer Systeme und Produkte stellen die VDI-Richtlinien 2221 und 222 vor. Teile dieser Vorgehensweise wurden bereits in Lerneinheit 3 besprochen. Die einzelnen Arbeitsschritte sind vom Umfang der Konstruktion abhängig, sie lassen sich aber grob unterteilen in die **Planung**, die **Konzeption**, den **Entwurf** und die **Ausarbeitung**.

Wenn die Funktion und der Aufbau der Konstruktion im Wesentlichen schon geklärt wurden, spricht man im Gegensatz zu einer **Neukonstruktion** von einer **Änderungs-** bzw. **Anpassungskonstruktion**. Bei einer Änderungs- bzw. Anpassungskonstruktion entfallen im Gegensatz zur Neukonstruktion unter Umständen einzelne der weiter unten aufgeführten Konstruktionsschritte (s. Abb. xx).

Konstruktionsarten Konstruktionsphasen	Neukonstruktion	Anpassungskonstruktion	Variantenkonstruktion
Planen			
Aufgabenklärung			
Konzipieren			
Funktionsfindung			
Prinzipbearbeitung			
Entwerfen			
Gestaltung			
Berechnung			
Ausarbeitung			
Zeichnungserstellung			
Stücklistenerstellung			

Abb. xx: Zuordnung von Konstruktionsphasen zu den Konstruktionsarten

In jeder der vier Phasen der Konstruktion (**Planung**, **Konzeption**, **Entwurf** und **Ausarbeitung**) können technische Hilfsmittel zum Einsatz kommen (z.B. rechnergestützte Konstruktionskataloge, Datenbanken oder Zeichenwerkzeuge). Eine besondere Bedeutung haben heute die **CAD-Systeme** (Computer Aided Design), mit deren Hilfe besonders die Entwurfs- und Ausarbeitungsphase unterstützt werden kann.

1. Planung

Am Anfang der Planungsphase steht die systematische **Suche und Auswahl zukunftssträchtiger Produkte**. Impulse dafür können aus der **Marktforschung**, aus speziell für das **Auffinden von Produktideen initiierten Prozessen** im Unternehmen oder generell durch **technische Innovationen** kommen. Zwei Suchrichtungen sind auf dem Weg zur Produktidee möglich: Entweder ist die **neue Aufgabenstellung**, also beispielsweise ein Produkt oder eine Produktfunktion, schon bekannt und soll nun mit neuen oder ebenfalls bekannten, aber **noch nicht verwendeten Lösungsprinzipien** verwirklicht werden, oder es sollen mit **neuen oder bereits bekannten Lösungsprinzipien** neue oder **bereits bekannte Aufgabenstellungen** realisiert werden (Grote et al. 2012).

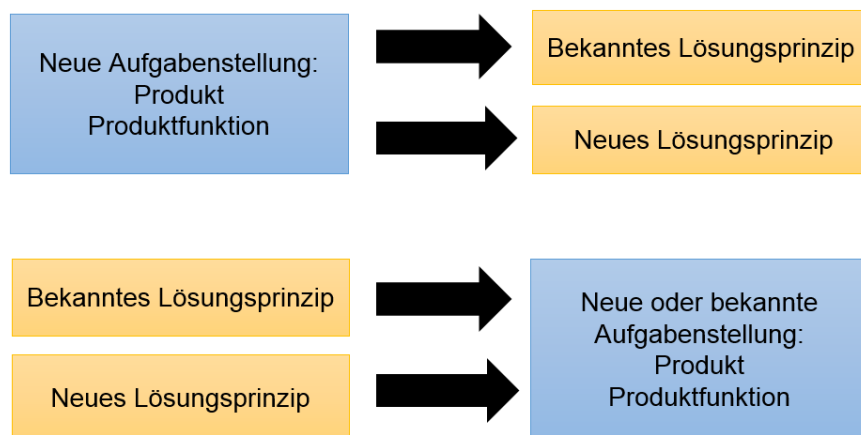


Abb. Xx: Vorgehensrichtungen bei Produktinnovationen

Im Anschluss an die Findung der Produktidee muss dann die **Aufgabenstellung geklärt** und präzisiert werden. Hilfreich ist dabei die Zusammenstellung aller Forderungen und Wünsche, die in Zusammenhang mit dem Produkt auftauchen, in einer **Anforderungsliste**. Die Grundlage für die Sammlung von **Produktanforderungen** ist der Produktlebenszyklus. Aus jeder einzelnen Produktlebensphase lassen sich Produkthanforderungen ableiten. Neben den Anforderungen, die sich etwa aus dem Vertrieb, der Nutzung durch den Kunden oder der Außerbetriebnahme ergeben, sind bei der Konstruktion auch die Anforderungen hinsichtlich der weiteren Produktentstehung also vor allem der Fertigung zu berücksichtigen. Eine frühzeitige **Kommunikation der Konstruktionsabteilung** mit der Arbeitsvorbereitung oder Produktion beugt der Weitergabe von Fehlern vor, die möglicherweise später erst wieder mit viel Aufwand und Zeitverlust behoben werden können. Die nachfolgende Abbildung zeigt eine Reihe von Anforderungen bzw. Kriterien, die für eine Konstruktion berücksichtigt werden müssen.

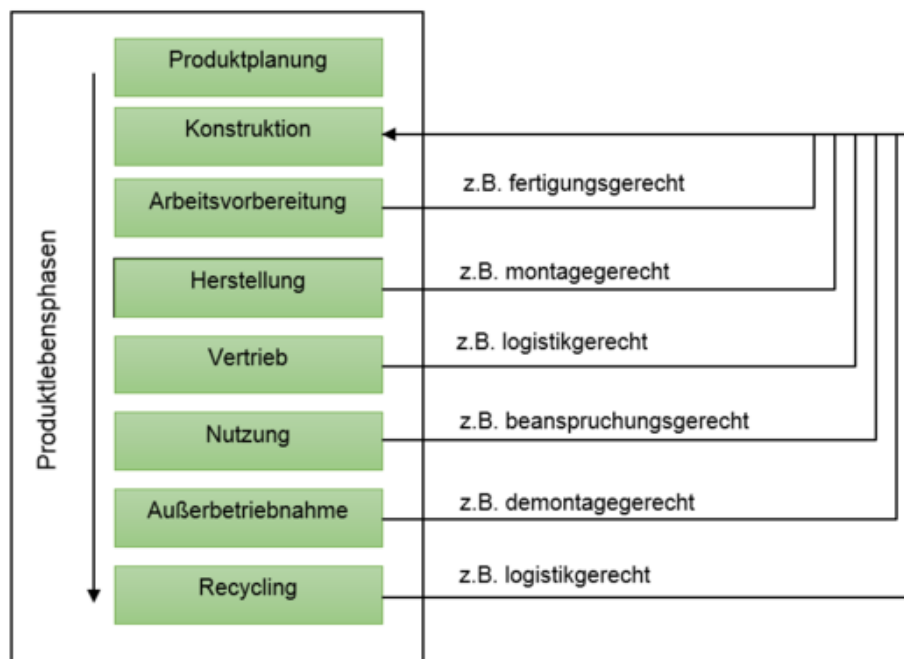


Abb. xx: Anforderungen an die Konstruktion aus den Produktlebensphasen

2. Konzeption

Im zweiten Schritt geht es darum, die **Funktionen des Produktes** aus den Anforderungen abzuleiten und zunächst möglichst lösungsneutral, also noch ohne direkte Bezugnahme auf ihre technische Umsetzung zu beschreiben. Bei dieser **Funktionsanalyse** wird zuerst die Gesamtfunktion und anschließend die einzelnen Teilfunktionen ermittelt (s. dazu Lerneinheit 3 Abschnitt xx). Die Gesamtfunktion (Beispiel: Gesamtfunktion einer Waschmaschine ist Wäsche waschen) lässt sich dabei soweit zerlegen, bis die elementaren Hauptfunktionen eines technischen Systems erreicht sind: Energie-, Stoff- und Informationsumsatz. Die **Grundfunktionen** in Bezug auf den Stoff-, Energie- oder Informationsumsatzes können jeweils folgendermaßen beschrieben werden: Wandeln, Ändern, Verknüpfen, Leiten, Speichern.

Für die im Rahmen der Funktionsanalyse **erhobenen Teilfunktionen** müssen anschließend geeignete technische Lösungsprinzipien gefunden, bewertet und ausgewählt werden. Dabei kann es sich um verschiedene physikalische, chemische oder aber auch biologische Effekte oder Gesetze handeln. Bei Softwareprodukten handelt es sich dagegen um Algorithmen oder Datenstrukturen.

Physikalische, chemische oder aber auch biologische Prinzipien beanspruchen ihrerseits einen bestimmten **Wirkort** und möglicherweise eine bestimmte **Wirkrichtung** (s. dazu Abschnitt 3.1). Damit determinieren sie **Geometrie** und **Werkstoffe**, also die **Baustruktur**, die notwendig ist, um die jeweilige Teilfunktion zu erfüllen. Für die Lösung von Teilfunktionen können unter Umständen verschiedene Varianten gefunden werden, die dann gegeneinander abgewogen, also bewertet werden müssen.

Ausgehend von den gewählten **Wirkprinzipien** (z.B. mechanisch, thermisch, elektrisch, hydraulisch) werden demnach geeignete **Bauteile** ausgesucht und angeordnet. Viele Teilfunktionen können über **standardisierte Baueinheiten** (z.B. Schraubenverbindungen) realisiert werden. Andere müssen neu entworfen werden. Die Zusammenfassung der Teilsysteme ergibt die Baustruktur des gesamten Produkts.

3. Entwerfen

Das Entwerfen ist die dritte Phase des Konstruierens. In ihr wird das aufgrund der Lösungsprinzipien und der ihnen zugeordneten Bauteile konzipierte technische Gebilde **grafisch skizziert** und **rechnerisch ausgelegt**, also zum Beispiel im Hinblick auf Festigkeit geprüft (s. Abschnitt 4.3.2). Im Rahmen dieser Phase kommt es auch zur **Gestaltung des Produktes**, bei der verschiedene Richtlinien und Erfahrungen eine Rolle spielen. Ein Entwurf soll immer eindeutig, einfach, sicher und kostengünstig sein. Insgesamt gesehen muss der Entwurf die Anforderungen widerspiegeln, die in der Planungsphase definiert wurden.

4. Ausarbeiten

Bei der vierten Phase des Konstruktionsprozesses wird der Entwurf zur Ausarbeitung freigegeben, so dass nun alle **Informationen** erstellt werden können, die für die **Fertigung** notwendig sind. Als Informationsträger kommen Technische Zeichnungen, Stücklisten oder Anweisungen zum Bau und Betrieb eines Erzeugnisses in Betracht (Conrad 2005, S. 225).

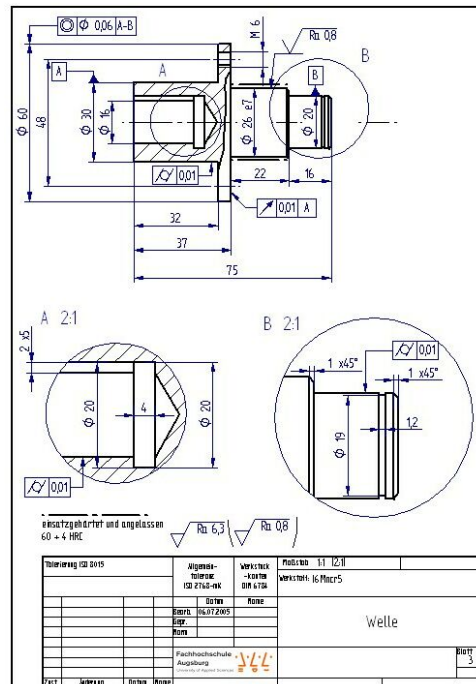


Abb. xx: Beispiel für die Fertigungszeichnung einer Welle

Mit der Ausarbeitung der unterschiedlichen Zeichnungen werden bereits Aufgaben der Arbeitsvorbereitung berührt.

7.2.2 Produktionsplanung und Arbeitsvorbereitung

Kurze **technische Innovationszyklen** und die Notwendigkeit, auf **Marktanforderungen** flexibel zu reagieren, führen dazu, dass oft bereits während der Konstruktionsphase mit der **organisatorischen Vorbereitung der Produktion** begonnen wird. Je nach Produkt sind mehr oder weniger umfangreiche Vorarbeiten erforderlich.

Bei Arbeitsplänen handelt es sich um Dokumente, aus denen Vorgaben zu entnehmen sind, wie die Fertigung der Teile aus den Rohstoffen oder die Montage der Erzeugnisse vorzunehmen ist.

Für die Festlegung der zeitlichen Abfolge bzw. Terminierung einzelner Fertigungsschritte werden **Fristenpläne** benötigt. Sie können u.a. in Form von Balkendiagrammen (Gantt-Charts), Blockdiagrammen nach DIN 66001, Netzplänen oder Ablaufdiagrammen gestaltet werden.

2. Produktions- und Arbeitssteuerung

Als **Produktionssteuerung** oder **Arbeitssteuerung** wird die kurzfristige Realisierung des Produktprogramms unter Berücksichtigung von Abweichungen infolge von Störungen verstanden. Die Arbeitssteuerung kann weiter in die Auftragsveranlassung und Auftragsüberwachung unterschieden werden (Spur 2012, S. 149) und umfasst beispielsweise die während des Ablaufs in der Fertigung periodisch wiederkehrenden Maßnahmen, die zur Realisierung der Aufträge notwendig werden. Dazu zählen beispielsweise die Vervielfältigung und Bereitstellung von Zeichnungen und Stücklisten, das Erstellen von Auftragspapieren oder Arbeitsplänen sowie die Beschaffung und Bereitstellung von Stoffen. Eine Aufgabe der Arbeitssteuerung ist es zudem, für eine gleichmäßige Auslastung der Arbeitsplätze zu sorgen.

7.2.3 Produktion

Geschichte der Produktion – von der Hand- zur Maschinenarbeit

Die Geschichte der Produktion ist die Geschichte der Technik und die zeigt sich als fortwährende Verlagerung der **Zugriffsoptionen auf das werdende Produkt**: Weg von der direkten menschlichen Einwirkung (**Handarbeit**) hin zu der Einwirkung durch Maschinen (**Maschinenarbeit**).

Erforderte der Werkzeuggebrauch am Anfang der Menschheitsgeschichte noch generell den Einsatz von Kraft, Motorik und Kreation, also der ganzen Palette menschlicher Handlungsmöglichkeiten, übernahmen die verschiedenen Kraftmaschinen (Wind-, Wasserräder, Dampfmaschine, Elektro- und Verbrennungsmotor) immer mehr jene Arbeiten, die durch die mangelnde Ausdauer menschlicher Muskelkraft begrenzt wurden. Dennoch hatte der Mensch lange Zeit den entscheidenden Einfluss auf die stoffliche Gestaltung der entstehenden Produkte. Die Werkzeugführung an einer Drehbank oder die Bewegung des Werkstücks unter einem Schmiedehammer prägten dem Material nach wie vor seinen unmittelbaren Willen auf.

Dann lösten Maschinen, ausgestattet mit den Möglichkeiten **mechanischer Informationsverarbeitung** etwa durch Getriebe oder elektrisch betriebener Steuerungs- und Regelungseinheiten, nach und nach auch dispositive Tätigkeiten vom Menschen ab. Die Maschine machte nun das, was ihr vorher über mechanische oder elektrische Bauteile "einprogrammiert" wurde.

Nach der Mechanisierung und Elektrifizierung befinden wir uns nun im Zeitalter der **Informatisierung der Produktion**. Nun sind es nicht mehr nur einzelne Phasen der Produktion, die durch die Einwirkung von Maschinen geprägt werden. Intelligente Maschinen, Lagersysteme und Betriebsmittel, die eigenständig Informationen austauschen und sich gegenseitig selbstständig steuern (**smart factory**), versprechen eine Verknüpfung aller frühen Produktlebensphasen wie Engineering, Produktion und Lieferketten. Mit dem sogenannten **Internet der Dinge** ist sogar eine informationstechnische Verknüpfung von Produkt, Produktionsprozess und Nutzungsphase möglich. Intelligente Produkte, ausgestattet mit dem Wissen ihres Herstellungsprozesses und ihres Einsatzes, können während ihres Lebenszyklus aktiv den Fertigungsprozess unterstützen, indem sie Daten zum Hersteller zurückspielen (vgl. Acatech 2013).

Nach welchen Merkmalen Produktionssysteme generell betrachtet werden können, soll nachfolgend näher erläutert werden.

Merkmale von Produktionssystemen

Die Produktion von Sachgütern erfolgt in **Produktionssystemen**. In Lerneinheit 3 wurde mit der Definition von Arbeitssystemen ein Ansatzpunkt zur Analyse von Arbeitssystemen und damit auch von Produktionssystemen aufgezeigt. Dieser Blick soll nun eine schärfere Profilierung dadurch erfahren, dass gezielt die **Produktion von Sachgütern** betrachtet und den Beziehungen der dafür eingesetzten **Produktionsfaktoren** mehr Aufmerksamkeit geschenkt wird. Das geschieht in Anlehnung an die von Günter Ropohl in seiner Typologie der Produktionssysteme definierten **Merkmale von Produktionssystemen** (Ropohl 1997).

Ziel und **Zweck eines Produktionssystems** ist die Schaffung eines Produktes, das durch **Produktzweck** (Konsum- oder Investitionsgut), **Produktform** (Stückgut, Fließgut) und **Produktvarianz** (Einzelprodukt oder Serienprodukt) näher charakterisiert werden kann.

Die Herstellung von Produkten ist zumeist eine komplexe Angelegenheit, die verschiedene Arbeits- bzw. Produktionsschritte einfordert. Ein grundsätzliches Merkmal aller Produktionssysteme ist daher die **Arbeitsteilung** (s. Abschnitt 7.2.3.1).

Als weitere Kenngröße eines Produktionssystems lässt sich der **Technisierungsgrad** nennen. Um ihn zu bestimmen, setzt man die Funktionen eines Produktionssystems, die vorrangig mit Werkzeugen, Maschinen oder Automaten realisiert werden, ins Verhältnis zur Gesamtzahl aller Funktionen – einschließlich derer, die durch menschliche Handarbeit verrichtet werden. Der Technisierungsgrad beeinflusst die **Arbeitsbeziehungen** zwischen Mensch und Maschine (s. Abschnitt 7.2.3.2).

In Abhängigkeit vom beabsichtigten **Produktcharakter** muss die **Technik** zu seiner Realisierung ausgewählt werden (**Produktionstechnik**): Soll der Produktcharakter vorrangig durch definierte stoffliche Eigenschaften erreicht werden (z.B. fest, flüssig, trocken, kühl), fällt diese Art der Produktion in den Bereich der **Verfahrenstechnik**. Sind dagegen geometrische Eigenschaften, also eine bestimmte Form, zur Sicherstellung des Produktzwecks ausschlaggebend, ist das Produkt das Ergebnis der **Fertigungstechnik**. Innerhalb der Verfahrens- wie Fertigungstechnik lassen sich verschiedene Verfahrensarten unterscheiden: Die **Stoffwandlungsverfahren** bei der Verfahrenstechnik und die **Gestaltgebungsverfahren** bei der Fertigungstechnik.

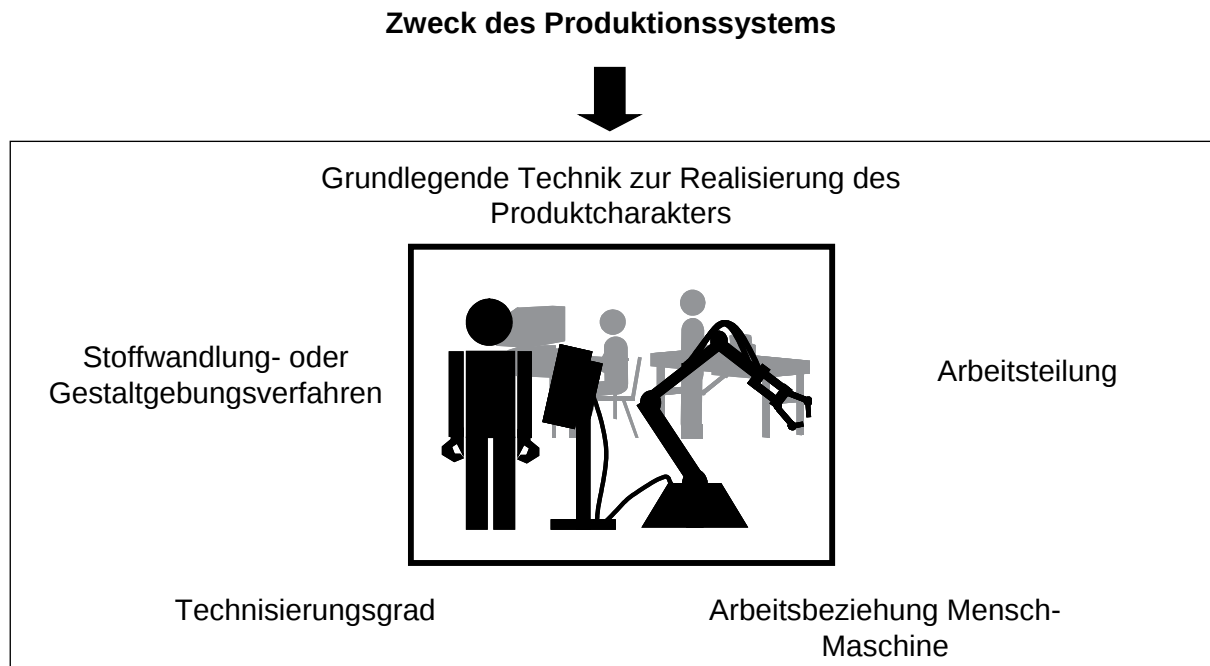


Abb. xx: Merkmale zur Beschreibung eines Produktionssystems

7.2.3.1 Arbeitsteilung als grundlegendes Organisationsprinzip der Produktion

Die **Komplexität der Güterproduktion**, bei der die Roh- und Ausgangsstoffe, das werdende Produkt, verschiedene Arbeits- und Betriebsmittel und die Arbeitspersonen in einen Zusammenhang gebracht werden müssen, kommt ohne eine **Arbeitsteilung** nicht aus. Alle **Arbeitsabläufe und Produktionsprozesse** unterliegen daher einer **raum-zeitlichen Gestaltung, Ordnung und Abstimmung**. In diesem Zusammenhang spricht man auch von **Ablauforganisation**. Je nach Produkt haben sich verschiedene Organisationsformen bewährt. Man unterscheidet hinsichtlich der Ausrichtung der Bearbeitungsstationen das **Werkbank-, Objekt- und Verrichtungsprinzip** und hinsichtlich der Art der Zuordnung des Arbeitspensums auf die Arbeitspersonen die **Art- und Mengenteilung** (s. Luczak 1998, S. 503; Schlick u.a. 2010, S. 446ff.).

Werkbank-, Objekt- oder Verrichtungsprinzip

Erfolgt die Bearbeitung eines Werkstücks allein an einem Ort, wie etwa im Handwerk bei Goldschmieden oder Uhrmachern, spricht man von **Werkbankfertigung**. Der Grad der Arbeitsteilung ist hier üblicherweise sehr gering, die Qualifikation der Mitarbeiter muss dagegen hoch sein. Bezeichnend für eine derartige Fertigung ist zudem, dass Arbeitsmittel und Produktionsfaktoren zum Arbeitsplatz gebracht werden müssen. Die **Baustellenfertigung** lässt sich mit der Werkbankfertigung vergleichen, da auch hier das „Werkstück“ ortsfest bleibt und alle Produktionsmittel und -faktoren zugeführt werden müssen.

Erfolgt die Organisation der Fertigung nach dem **Verrichtungsprinzip**, wird das zu bearbeitende oder zu fertigende Werkstück verschiedenen Bearbeitungsstationen zugeführt, die auf ähnliche Verrichtungen ausgelegt sind. Ein Beispiel dafür ist die **Werkstattfertigung** (vgl. Bullinger 1995, S. 38). Das Verrichtungsprinzip erfordert demnach die räumliche Zusammenfassung von funktionsgleichen Betriebsmitteln, die zur Durchführung identischer Produktionsaufgaben eingesetzt werden wie Fräseerei, Dreherei etc. Eine solche Arbeitsorganisation kann relativ flexibel auf Änderungen in der Nachfrage reagieren, beispielsweise bei unterschiedlichen Kundenaufträgen. Da die Bearbeitungsstationen durchaus räumlich voneinander getrennt sein können, müssen im Ablauf Zeitverluste einkalkuliert werden. Problematisch ist hier unter Umständen auch, zu einer sinnvollen Reihung von Tätigkeiten zu kommen, so dass sowohl eine zeitnahe Erfüllung von Kundenwünschen, als auch eine sinnvolle Auslastung der Werkstatt gewährleistet wird.

Bei der Fertigungsorganisation nach dem **Objektprinzip** sind die Bearbeitungsstationen nach dem Merkmal gleicher oder ähnlicher Objekte zusammengefasst. Ein Objekt kann ein bestimmtes Produkt sein, es kann sich aber auch um eine bestimmte Kundengruppe, einen Prozess oder einen Auftrag handeln. Beim Objektprinzip sind die Arbeitspersonen, sowie die zum Einsatz kommenden Arbeits- und Betriebsmittel, also die Arbeitsplätze, in der Abfolge der an dem zu erzeugenden Produkt vorzunehmenden Arbeitsgänge angeordnet. Eine solche Organisation der Abläufe ist in der Regel hochproduktiv, da die Arbeitsplätze, also Arbeitspersonen, Arbeits- und Betriebsmittel, genau auf die Art der Arbeit und die Menge der Werkstücke ausgelegt sind. Gekoppelt ist eine solche Organisationsform allerdings an eine ausgereifte Produktpalette und an eine hohe Nachfrage, da die spezifische Einrichtung der Arbeitsplätze und Produktionsanlagen ein hohes Maß an Investitionen benötigen. Beispiele für eine Fertigungsorganisation nach dem Objektprinzip sind die **Reihen- und die Fließfertigung**. Im Gegensatz zur Fließfertigung erfolgt bei der Reihenfertigung keine unmittelbare zeitliche Taktung des Arbeitsablaufs und die Bearbeitungsstationen sind auch nicht durch selbsttätige Förderanlagen verbunden (Fließband). Durch die exakte Vorgabe von Arbeitsverrichtung und Arbeitszeit sind die Freiheitsgrade der Arbeitspersonen bei der Fließfertigung stark eingeschränkt.

Natürlich können Verrichtungs- und Objektprinzip auch kombiniert werden. Ein Beispiel ist die Zerlegung größerer Aufgabenkomplexe durch die mehrfache Hintereinanderschaltung von Verrichtungs- und Objektprinzip.

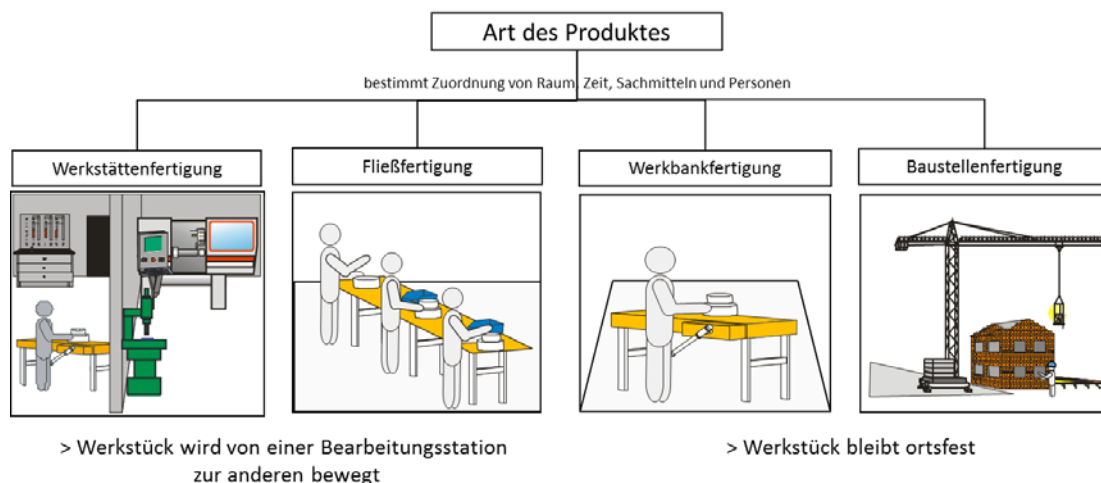


Abb. XX: Möglichkeiten der Arbeitsteilung und Ablauforganisation in der Fertigung

Art- oder Mengenteilung

Während Objekt- und Verrichtungsprinzip vorrangig die Einrichtung der Arbeitsplätze betreffen, fokussiert die Arbeitsteilung nach Art und Menge vorrangig das von der Person zu leistende Arbeitspensum.

Bei der **Artteilung** führt die Arbeitsperson nur wenige Teilverrichtungen mit einem kleinen Zeitanteil an jedem Erzeugnis aus. Jeder Arbeitsperson wird also ein artverschiedenes Arbeitspensum übertragen. Die Arbeitspersonen erledigen hintereinander je einen Arbeitsvorgang an der gesamten Menge (Auftragsstückzahl) Beispiel: Eine Person sägt Fensterholme, eine andere Person fräst die Vertiefungen für die Beschläge. Das Ziel ist es, die Mengenleistung durch Spezialisierung zu erhöhen.

Arbeitsteilung nach **Mengenteilung**: Jeder Arbeitsperson wird ein artgleiches Arbeitspensum übertragen. Mehrere Arbeitspersonen erledigen parallel, d.h. meist gleichzeitig, jeweils die gesamte Arbeit an einer Teilmenge (Teilstückzahl) oder einem Objekt. Beispiel: Person A schneidet, fräst und montiert 150 Fußpedale, Person b montiert ebenfalls 150 Fußpedale. Das Ziel ist hier, dass der Arbeitsauftrag durch Teilung in kürzester Zeit fertiggestellt werden soll.

Grenzen der Arbeitsteilung

Die Automatisierungstechnik hat im industriellen Bereich den **tayloristischen Ansatz** der Arbeitsteilung, also die Taktung überschaubarer Arbeitsverrichtungen, weiter befördert. Eine stark arbeitsteilig ausgerichtete Arbeitsorganisation stößt aber dann an ihre Grenzen, wenn geringe Stückzahlen den Wiederholcharakter der repetitiven Tätigkeiten abschwächen. Außerdem hat sich der Anspruch der Arbeitnehmer an ihre Arbeit gewandelt. Die meisten Menschen wollen ihre Arbeit heute als sinnstiftend und nicht ausschließlich als bloße Existenzsicherung erleben. Mehr Eigenverantwortung fördert zudem die Effizienz. Eine Gegenposition zu einer starken Arbeitsteilung ist die Arbeitsorganisation auf der Grundlage eines **integrativen, dezentralen Konzepts**, das eher an Generalisten als an Spezialisten ausgerichtet ist und damit möglichst Schnittstellen vermeidet (Bullinger 1995, S. 5). Übertragen auf die industrielle Fertigungsorganisation, bietet sich beispielsweise **Gruppenarbeit** an: Jeder Arbeitnehmer in der Gruppe beherrscht alle Arbeiten an einem Montageabschnitt. Durch Selbstorganisation innerhalb der Gruppe wird festgelegt, wer für welche Zeiten welche Arbeitsverrichtungen durchführt. Das hat sich als motivierend erwiesen und gibt dem Mitarbeiter das Gefühl, nicht nur ein Rädchen im Getriebe zu sein.

7.2.3.2 Technisierungsgrad und Arbeitsbeziehungen zwischen Mensch und Maschine

Durch die Produktionsplanung wird eine bestimmte Auswahl an Technologien, Arbeits- und Betriebsmittel getroffen sowie eine Zuordnung von Personen zu Produktionsmitteln vorgenommen. Setzt man die Funktionen eines Produktionssystems, die vorrangig mit Werkzeugen, Maschinen oder Automaten realisiert werden, ins Verhältnis zur Gesamtzahl der Funktionen einschließlich derer, die durch menschliche Handarbeit verrichtet werden, kann man auf den **Technisierungsgrad** bzw. auf den Grad der Automatisierung schließen.

Mechanisierung und Automatisierung führen zur Veränderung beruflicher Aufgaben

Bei einer **Mechanisierung** der Produktion werden menschliche Energieformen durch technische ersetzt, wobei weiterhin eine menschliche Informationsverarbeitung erforderlich ist. Ein Beispiel dafür ist der Einsatz von Bohrmaschinen. **Automatisierung** hebt sich von der Mechanisierung dadurch ab, dass nun auch die Lenkung des Prozesses durch das technische System erfolgt (Luczak 1998, S. 491).

Mechanisierung und Automatisierung führen zu einer Veränderung beruflicher Aufgaben: Es treten solche Aufgaben in den Hintergrund, die vorrangig Krafteinsatz, Motorik oder Reaktionsvermögen des Menschen fordern. Das Spektrum der Verrichtungen verschiebt sich hin zu kombinativen und kreativen Arbeitstätigkeiten, namentlich zu Einrichtungs-, Steuerungs-, Überwachungs-, Wartungs- sowie Programmierfähigkeiten.

Mechanisierung und Automatisierung definieren die Arbeitsbeziehungen zwischen Mensch und Maschine

Mechanisierung oder **Automatisierung** der Produktion legen damit die **Arbeitsbeziehungen zwischen Mensch und Maschine** fest. Aus arbeitswissenschaftlicher Sicht kann hier zwischen drei Ausprägungen unterschieden werden. Von einer **aktiven Koppelung** spricht man, wenn das Arbeitssystem weitestgehend der menschlichen Disposition unterworfen ist. Ein Beispiel dafür ist die handwerkliche Arbeit oder die Maschinenführung in der Industrie. Von **passiver Kopplung** ist die Rede, wenn die Disposition des Arbeitsablaufs bereits maschinell programmiert ist und der arbeitende Mensch vorrangig Hilfsfunktionen im vorgegebenen Maschinenrhythmus ausübt, z.B. Einlegen von Maschinenteile in einen Automaten. Bei der **autonomen Kooperation** führt die Maschine die Arbeitsvorgänge weitestgehend selbstständig aus, so dass der Mensch frei bleibt für dispositive Tätigkeiten der Produktionsgestaltung und -überwachung (Ropohl 1997, S. 265 f.).

7.2.3.3 Grundlagen der Produktionstechnik

Aufgabe der Produktionstechnik ist die Anwendung geeigneter Produktionsverfahren und Produktionsmittel zur Durchführung von Produktionsprozessen bei möglichst hoher Produktivität (Spur 2012, S. L4). Die Produktionstechnik kann unterschieden werden in die **Gewinnungs- und Aufbereitungstechnik von Rohstoffen**, in die **Verfahrenstechnik** und die **Fertigungs- und Montagetechnik**.

7.2.3.3.1 Unterscheidung in Verfahrens- und Fertigungstechnik

Verfahrenstechnik

Für jegliche Art von Produkten werden **Stoffe** benötigt. Diese Stoffe können in den meisten Fällen nicht genau in der Art und mit den Eigenschaften bzw. der Zusammensetzung verwendet werden, wie sie in der Natur als Rohstoffe gewonnen wurden. Sie müssen deshalb nach ihrer Gewinnung **auf-bereitet, umgewandelt** und **nachbearbeitet** werden.

Die Gesamtheit der **Stoffwandlungsverfahren**, mit denen aus einem Rohmaterial ein Produkt geschaffen wird, einschließlich der dazu notwendigen Maschinen und Anlagen wird als **Verfahrenstechnik** bezeichnet (Ropohl 1997, S. 256).

Tabelle xx: Einteilung der Stoffwandlungsverfahren (s. Ropohl 1997, S. 257)

Stoffverteilung ändern		Stoffzustand ändern			
Stoffteile verbinden	Stoffteile trennen	Aggregats-Zustand	Kristall-Struktur	Molekular-Struktur	Atom-Struktur
Mischen Emulgieren Lösen Legieren Beschichten Tränken Verschäumen u.a.	Mahlen Sieben Filtrieren Zentrifugieren Zerstäuben Trocknen Destillieren Rektifizieren Extrahieren u.a.	Schmelzen Sublimieren Verdampfen Erstarren Verflüssigen u.a.	Anlassen Härten Glühen Abschrecken Magnetisieren u.a.	Chemische Reaktionen z.B.: Oxidieren Reduzieren Hydrieren Dehyrieren Polymerisieren Fermentieren u.v.m	Ionisieren Dotieren Galvanisieren Nuklear-chemische Reaktionen u.a.

Verfahrenstechnische Prozesse beruhen auf **chemischen**, **physikalischen** oder **biologischen Vorgängen**. Die Vielfalt der Verfahren zeigt die Tabelle, in der Ropohl, ausgehend von den beiden Hauptmerkmalen Stoffverteilung und Stoffzustand, den Versuch einer Einteilung unternimmt.

Fertigungstechnik

Der Bereich der Produktionstechnik, der sich vorwiegend mit **Gestaltgebungsverfahren** beschäftigt, wird als **Fertigungstechnik** bezeichnet. Ziel der Fertigungstechnik ist es, Werkstoffe, die ihrerseits mit verfahrenstechnischen Produktionssystemen hergestellt wurden, in einfache oder komplexe Produkte zu überführen. Am Anfang des Fertigungsprozesses steht die **Teilfertigung**, also die Gestaltgebung der einzelnen Bauteile. Im Anschluss daran kann dann die **Montage** erfolgen, bei der die Einzelteile zum eigentlichen Endprodukt zusammengesetzt werden.

Die Basis für die meisten Gestaltgebungsverfahren bilden **physikalische Gesetze**. Vorherrschend sind **mechanische Verfahren**. Eine Übersicht über die in der Fertigungstechnik eingesetzten Verfahren erlaubt das Normblatt DIN 8580. Die verschiedenen Fertigungstechniken werden hier allgemein in sechs Hauptgruppen unterteilt. Grundlegende Kriterien für die Einteilung in die Hauptgruppen sind die Behandlung von **Form** und **Zusammenhalt** des Werkstoffes.

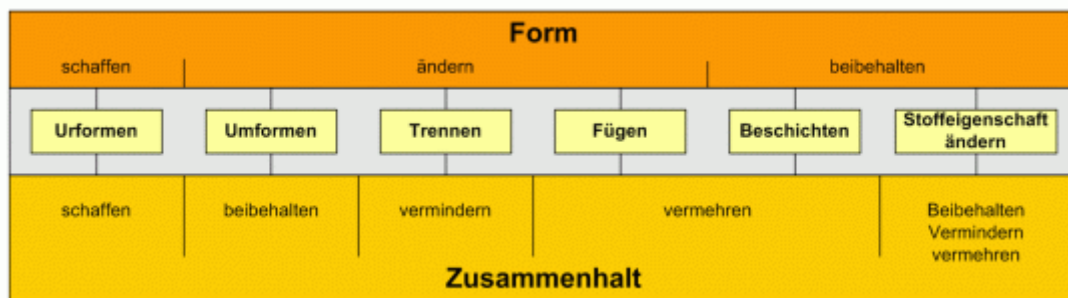


Abb. xx: Hauptgruppen der Fertigungsverfahren

Zusammenhalt schaffen bedeutet, dass formlose Stoffe, z.B. Flüssigkeiten, Pulver, Fasern, Späne, in geometrisch bestimmte, feste Körper urgeformt werden, z.B. durch Gießen.

Zusammenhalt beibehalten heißt, dass ein bereits geformtes Teil oder Werkstück bei der Fertigung umgeformt wird, z.B. durch Tiefziehen.

Zusammenhalt vermindern wird dadurch herbeigeführt, dass durch bestimmte Fertigungsverfahren, z.B. durch Fräsen, Sägen, Abschrauben, Werkstoff oder Werkstückteile getrennt werden.

Zusammenhalt vermehren bedeutet, dass durch die angewandten Fertigungsverfahren, z.B. durch Schweißen, Löten, Schrauben, Werkstoff oder Werkstücke hinzugefügt oder z.B. durch Aufdampfen oder Galvanisieren Werkstücke beschichtet werden.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird im Rahmen dieses Kurses auf eine vollständige Behandlung aller Fertigungsverfahren verzichtet. Im Anschluss werden lediglich die gebräuchlichsten Fertigungsverfahren weiter beleuchtet.

7.2.3.3.2 Ausgewählte Verfahren der Fertigungstechnik

Urformen

Beim Urformen wird aus einem ursprünglich formlosen Stoff ein Produkt mit einer definierten Form geschaffen. Es entsteht ein Körper mit festem Zusammenhalt. Wichtige Techniken sind hier das **Gießen**, das **Sintern** und das **Strangpressen** oder **Stranggießen**. Beim **Gießen** wird die Schmelze in eine Form gegossen, in der sie dann zu einem Gussstück erstarrt, das die Gestalt des Formhohlraumes annimmt.

Ähnlich wie beim Gießen geht man beim **Sintern** vor. Allerdings wird hier der Werkstoff in Pulverform in eine Form gefüllt. Der Zusammenhalt wird dann durch Erwärmung und Druck erreicht.

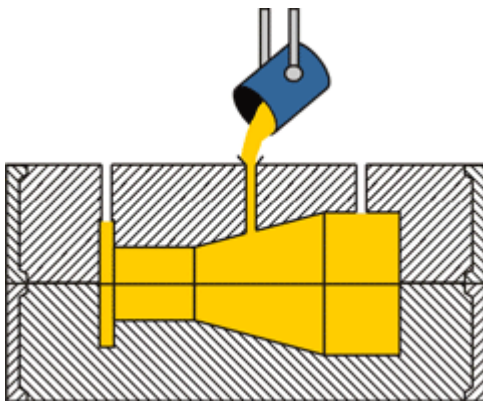


Abb. xx: Urformen – Gießen



Abb. xx: Gussteile¹

Beim **Strangpressen** ist der Werkstoff, z.B. Metall oder Kunststoff, eher in einem plastischen oder teigigen Zustand und wird durch eine Form gepresst. Bei Kunststoffen spricht man von **Extrudieren**. Das Extrudieren ist das vielseitigste Verfahren zur Verarbeitung thermoplastischer Kunststoffe.

¹ www.geocities.com/Viebachstirling/Gussteile.jpg

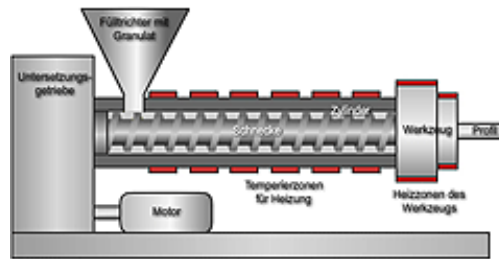


Abb. xx. Extruder

Gearbeitet wird hierbei mit einem so genannten **Extruder** (s. Abb. xx). Dabei handelt es sich um eine stetig arbeitende Schneckenstrangpresse mit einer vorgeheizten Profildüse. Das Kunststoffgranulat wird im beheizten Zylinder durch die sich drehende Plastifizierungsschnecke verdichtet, entgast, erwärmt und damit plastifiziert. Die Schnecke drückt die formbare Kunststoffmasse fortlaufend nach vorne durch die Profildüse, wo sie als Strang austritt. Er wird anschließend gekühlt und nach dem Erstarren in Stücke geschnitten. Typische Extrudererzeugnisse sind Platten, Bänder sowie Stäbe, oder Profile und Rohre.

Umformen

Beim Umformen wird die Form eines festen Körpers dadurch verändert, dass das Material unter Einwirkung beträchtlicher Kräfte und mit Hilfe entsprechender Formen **räumlich umverteilt** wird. Je nach thermischer Behandlung unterscheidet man zwischen Warmumformung und Kaltumformung.

Ein Beispiel für das Umformen ist das **Tiefziehen**. Beim Tiefziehen wird ein Blechzuschnitt ohne beabsichtigte Änderung der Blechdicke in einem oder in mehreren Zügen zu einem Hohlkörper, z.B. einer Dose oder einem Topf geformt.



Abb. xx: Tiefziehteile²

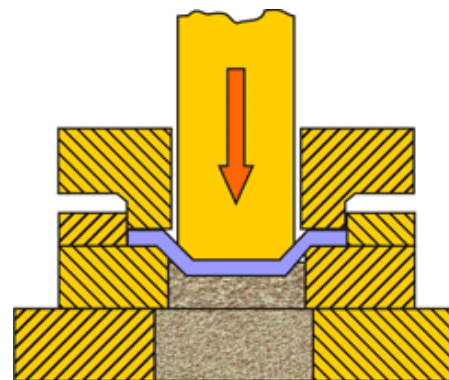


Abb. xx: Tiefziehen

Trennen

Die Form eines festen Körpers wird bei diesem Fertigungsverfahren dadurch geändert, dass man Teile des Rohlings entfernt, bis die gewünschte Gestalt übrig bleibt. Dabei wird der Zusammenhalt örtlich aufgehoben.

Von besonderer Bedeutung in der Fertigungstechnik sind die **spanenden Verfahren**. Dabei werden mit Hilfe keilförmiger und sehr harter **schneidenartiger Werkzeuge** von der Werkstückoberfläche kleine Partikel abgetrennt, die so genannten **Späne**, bis schließlich die definierten Formen der Produktgestalt erreicht sind. Zu den spanenden Verfahren gehören u.a. das Sägen, Bohren, Feilen, Hobeln, Fräsen und Drehen.

Für die Fertigung rotationssymmetrischer Bauteile wie Wellen, Buchsen oder Scheiben spielt das **Drehen** eine große Rolle. Beim Drehen dringt ein Drehmeißel in das rotierende Werkstück ein. Das Werkzeug ist fest eingespannt und wird am Werkstück entlang geführt.



Abb. xx: Werkstück mit angesetztem Drehmeißel

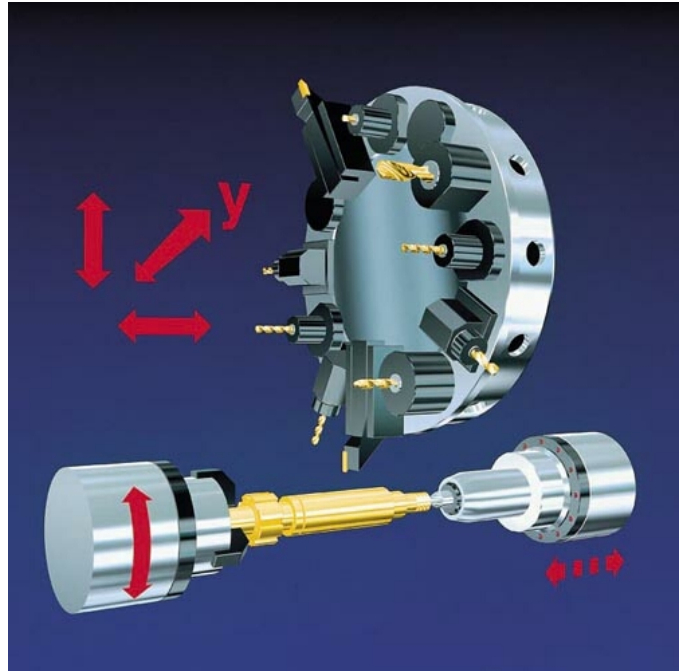


Abb. xx: Eingespanntes Werkstück (gelb) in einer Universal-drehmaschine mit Werkzeugrevolver³

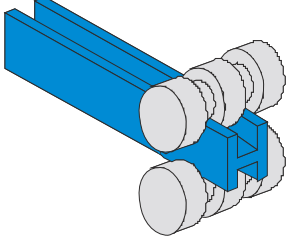
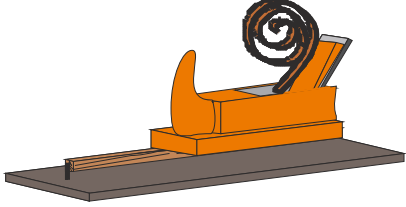
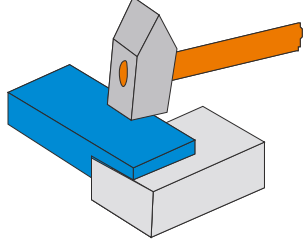
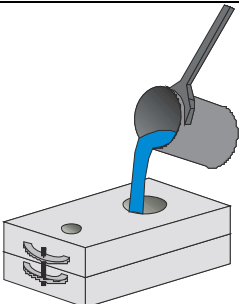
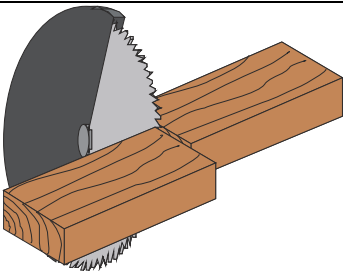
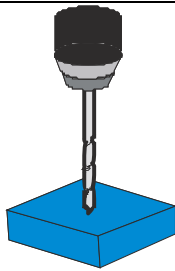
Fügen

Beim Fügen geht es grundsätzlich darum, **Einzelteile** zu einem komplexen Produkt zu **verknüpfen**. Die Anwendung der Fügeverfahren wird oft auch als **Montage** bezeichnet. Ein wichtiges Fügeverfahren ist das Schweißen, bei dem z.B. Profile, Bleche oder Halbzeuge unter Anwendung von Wärme und/oder Kraft zu neuen Bauteilen zusammengefügt werden.

³ Quelle: Traub Drehmaschinen http://www.index-werke.de/de/deutsch/626_DEU_HTML.htm

Aufgabe:

Ordnen Sie die unten aufgeführten Begriffe den entsprechenden Zeichnungen zu.

Trennen: Sägen, Umformen: Walzen, Umformen: Schmieden, Trennen: Hobeln, Urformen: Gießen, Trennen: Bohren

8. Aspekte der Energietechnik

Welche energiewirtschaftlichen Aspekte sind wichtig? Wie wird in Deutschland Energie und vor allem Strom erzeugt? Wie kann die Energieversorgung in der Zukunft sichergestellt werden? Wie kann Energie effizient genutzt werden?

Inhalt

8. Aspekte der Energieerzeugung und -nutzung	4
8.1 Energiewirtschaftliche Aspekte	5
8.1.1 Reichweite und Verfügbarkeit der Energievorräte	5
8.1.2 Energiebilanz und Wirkungsgrad	6
8.1.3 Nachfrageschwankungen bei elektrischer Energie	11
8.1.4 Der Erntefaktor	12
8.1.5 Umweltprobleme durch Energieerzeugung und -verbrauch	13
8.2 Erzeugung elektrischer Energie durch Wärmekraftwerke	15
8.2.1 Kohlekraftwerk	17
8.2.2 Atomkraftwerk	18
8.3 Rationeller Energieeinsatz	20
8.3.1 Senkung des Endenergieverbrauchs	20
8.3.2 Steigerung der Wirkungsgrade bei der Bereitstellung von Energie	22
8.3.3 Speicherung von Energie und Netzausbau	23
8.4 Alternativen und Perspektiven der Energieerzeugung	25
8.4.1 Wasserstoff	26
8.4.2 Kernfusion	27
8.4.3 Treibstoff aus Algen	29

Abstract

Nachdem in Lerneinheit 5 Arten und Formen der Energie im Mittelpunkt standen, werden in dieser Lerneinheit einzelne Aspekte der Energieerzeugung und –nutzung behandelt.

Der erste Teil der Lerneinheit widmet sich verschiedenen **energiewirtschaftlichen Aspekten**. Zunächst wird der Frage der **Verfügbarkeit der Energievorräte** nachgegangen. Die Basis für derartige Berechnungen bilden die heute nachweisbaren Vorkommen, die mit der derzeit verfügbaren Technologie und zu heutigen Marktpreisen genutzt werden können. Dividiert man diese **Reserven** insgesamt durch die aktuelle Förderung bzw. Gewinnung, erhält man die **statistische Reichweite**. Die statistische Reichweite für Erdgas und Erdöl beträgt rund 50 Jahre. Neben den Reserven kann man aber auch **Ressourcen** mit in die Analysen einbeziehen. Dabei handelt es sich um nachgewiesene oder vermutete Vorkommen, deren Förderung aber aus heutiger Sicht unwirtschaftlich oder mit gängiger Technologie derzeit nicht realisierbar ist. Nicht ausgeschlossen ist aber, dass u.a. aufgrund technologischer Entwicklungen **Ressourcen zu Reserven** werden und damit die Reichweite nicht erneuerbarer Energievorräte nach oben korrigiert werden muss. Rein rechnerische Prognosen lassen oft die politischen **technischen, ökonomischen und ökologischen Förderbedingungen** unberücksichtigt.

Energiebilanzen erlauben Aussagen über den Verbrauch von Energieträgern in den einzelnen Sektoren einer Volkswirtschaft und liefern Informationen über den **Energiefluss vom Erzeuger bis zur Verwendung**. Hier zeigt sich, dass nur rund zwei Drittel des Primärenergieverbrauchs beim Endverbraucher ankommen. Das hat mit Verlusten bei der Erzeugung und bei der Leitung der Energie zu tun. Ein Vergleichswert, wie **energieeffizient** ein energieumsetzendes System ist, ist der **Wirkungsgrad η** (sprich „nü“). Er beschreibt das Verhältnis der Nutzenergie zur eingesetzten bzw. zugeführten Energie eines Systems.

Tageszeitliche, wochenendbedingte sowie **saisonale** Schwankungen auf der Nachfrageseite und die **ungleichmäßige Einspeisung** besonders von Strom aus Wind- und Photovoltaikanlagen stellen für Kraftwerks- und Netzbetreiber große Herausforderungen dar, denen durch eine zentrale Regelung der Kraftwerke entgegengewirkt wird. Die Stromleistung, die durchgehend nachgefragt wird, die **Grundlast**, wird in Deutschland vor allem durch Braunkohle- und Kernkraftwerke oder Laufwasserkraftwerke an Flüssen bereitgestellt. Die untertags notwendige **Mittellast** erzeugen hierzulande vor allem Steinkohlekraftwerke. **Spitzenlasten** werden durch **Pumpspeicherkraftwerke** und **Gasturbinenkraftwerke** abgedeckt.

Ein weiterer energiewirtschaftlicher Aspekt, besonders für die Beurteilung einzelner Kraftwerkstypen, ist der **Erntefaktor**. Er drückt das Verhältnis zwischen der für die Erstellung, Betreibung und Entsorgung (**Anlagenlebenszyklus**) aufgewendeten Energie eines **Energieerzeugungssystems** zur **nutzbaren Energie** aus. Der Erntefaktor beantwortet letztendlich die Frage: "Wie oft bekommt man die hineingesteckte Energie wieder heraus?" Um eine **positive Energiebilanz** auszuweisen, muss der Erntefaktor einer Anlage größer 1 sein.

Im letzten Abschnitt der energiewirtschaftlichen Betrachtungen stehen die **Umwelt- und Klimaprobleme**, die durch die **Emissionen** bei der Energieerzeugung entstehen. Sowohl bei der Verbrennung fossiler Energieträger, als auch bei der Verbrennung von Biomasse entstehen pro Jahr Milliarden Tonnen an **Kohlendioxid (CO₂)**. Außerdem gelangen Kohlenmonoxid (CO), **Stickoxide (NO_x)**, **Schwefeldioxid (SO₂)** **Partikel** und andere Stoffe in die Umwelt. Hauptsächlich Verursacher des **Treibhauseffektes** sind das Kohlendioxid (CO₂) und das Methan CH₄. Methan entsteht in der Landwirtschaft. Es trägt zu 20 % am Treibhauseffekt bei.

Durch den Ausstoß an chlor- und bromhaltigen Verbindungen in die Atmosphäre wird die **Ozonschicht geschädigt**. Eine besondere Gefahr geht dabei von den **Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffen (FCKW)** aus, die über lange Jahre in Kühlgeräten oder Spraydosen Verwendung fanden. Eine erhöhte **Ozonkonzentration im bodennahen Bereich** dagegen ist für Lebewesen schädlich. Es reizt die Atemwege,

schädigt die Lunge und trägt auch zu Ernte- und Waldschäden bei. Es entsteht vor allem durch den verkehrsbedingten Ausstoß von Stickstoffoxiden.

Nach wie vor wird elektrische Energie in Deutschland überwiegend in **thermischen Kraftwerken**, also über die Erzeugung von Wärme gewonnen (**Wärmekraftprozess**). Der zweite Abschnitt befasst sich daher mit diesen Kraftwerkstypen. Als Brennstoffe dienen meist fossile Energieträger oder Uran. Technisch lassen sich thermische Kraftwerke weiter unterscheiden in Dampf-, Gasturbinen und Dieselmotorkraftwerke. In den verbreiteten **Dampfkraftwerken** wird mit der durch **Verbrennung** oder **Kernspaltung** freigesetzten Wärmeenergie **Wasserdampf** erzeugt, der mit hohem Druck auf die Schaufeln einer **Turbine** geleitet wird. Die Turbine treibt ihrerseits über eine Welle einen **Generator** an.

Für die in Atomkraftwerken zur Energiegewinnung ablaufende **Kernspaltung (Kettenreaktion)** müssen die Neutronen durch einen **Moderator** abgebremst werden. In Deutschland wird aus Sicherheitsgründen hierfür vor allem **leichtes Wasser** verwendet. Steigt in diesen **Leichtwasserreaktoren** die Leistung eines Reaktors, verdampft der Moderator durch Überhitzung. Die Neutronen werden dann nicht mehr abgebremst und der Reaktor kommt automatisch zum Stillstand. Beim Reaktortyp von Tschernobyl wurde Graphit benutzt, das beim Überhitzen seine Moderatorenfunktion nicht verliert. Die Kernspaltung wird weitergeführt. Regeln lässt sich die Kettenreaktion in einem Reaktor grundsätzlich durch **Steuerstäbe**, deren Aufgabe die Absorption von Neutronen ist.

Primäres energiewirtschaftliches Ziel ist der **rationelle Einsatz von Energie**. Dabei gilt es, den Endenergieverbrauch zu senken, die Wirkungsgrade bei der Bereitstellung von Energie zu steigern sowie das Speicherproblem besonders für Strom zu lösen. Eine Senkung des Endenergieverbrauchs kann grundsätzlich durch eine **Reduzierung der Energieverluste**, also einer **Erhöhung der Wirkungsgrade** erreicht werden. Im **privaten Haushalt** kann durch die Kombination einer ganzen Reihe von Maßnahmen der Endenergieverbrauch deutlich gesenkt werden. Zu nennen sind etwa der Kauf energieeffizienter Geräte, der energiesparende Betrieb von technischen Systemen, die Energieeinsparung durch die bauliche Gestaltung der Gebäude, sowie die Heizenergieeinsparung durch ein adäquates Wohnverhalten. Eine Steigerung des Wirkungsgrades lässt sich zudem durch **Kraft-Wärmekopplung** sowie die Nutzung so genannter **Kombiprozesse** erreichen. Dabei wird die in Kraftmaschinen oder anderen technischen Systemen anfallende Wärmeenergie zumindest teilweise für Heiz- oder Prozesswärme verwendet.

Der **Vorteil** der Sekundärenergie Strom liegt in der Vielfalt der möglichen Anwendungen und in der relativ problemlosen **Verteilung über das Stromnetz**. Der **Nachteil** ist, dass elektrische Energie bisher **nicht** in nennenswertem Umfang **gespeichert** werden kann. Die Menge an Energie, die gerade verbraucht wird, muss im selben Moment in den Kraftwerken zur Verfügung gestellt werden. Durch die Zunahme dezentraler Energieerzeugungssysteme können Schwankungen im Bereich von Angebot und Nachfrage nach Strom nur durch **Speichermöglichkeiten** abgedeckt werden (z.B. über Druckluftspeicher, große Batterie-Anlagen oder durch Speicherung von Wasserstoff). Auch ein Ausbau des Stromnetzes kann die Flexibilität erhöhen. Auch auf der Nachfrageseite wird sich in Zukunft das Nutzerverhalten besser auf das schwankende Stromangebot einstellen müssen. Das kann durch **intelligente Netze** und entsprechende Haustechnik erreicht werden.

Optionen für eine sichere Energieversorgung in der Zukunft bietet der **Wasserstoff**, wenngleich er heute noch überwiegend unter Einsatz fossiler Energie gewonnen wird. Auch die **Kernfusion** verspricht ein ungeheures Energiepotential. Bisher ist eine Nutzung aus technischen Gründen allerdings noch nicht möglich. Als Kraftstoff der Zukunft bzw. Alternative zu fossilen Kraftstoffen wird zudem Biosprit aus Algen betrachtet. Allerdings sind auch hier viele Probleme noch ungelöst.

Peak-Oil-Theorie	Kernspaltung, Kettenreaktion
Reserven, Ressourcen und statistische Reichweite	Leichtwasserreaktor
Politische, technische, ökonomische und ökologische Förderbedingungen	Moderator
Energiebilanz	Steuerstäbe
Primär- und Endenergieverbrauch	Rationeller Energieeinsatz; Reduzierung der Energieverluste und Energieeinsparung
Verluste bei der Energiegewinnung, der Umwandlung und Verteilung der Energie	Kennzeichnung nach Energieverbrauchsklassen
Wirkungsgrad	Jahresprimärenergiebedarf eines Gebäudes
Energieeffizienz	Transmission, Lüftung
Tageszeitliche, wochenendbedingte und saisonale Schwankungen des Stromverbrauchs	Wärmebrücken
Grundlast, Mittellast, Spitzenlast	Kraft-Wärmekopplung
Erntefaktor	Energiespeichermöglichkeiten: Batterie, Pumpspeicherkraftwerk, Druckluftspeicherkraftwerk, Elektrolyse
Emissionen und Immissionen	Netzicherheit: Instabilität des Verbrauchs, Instabilität der Erzeugung
Treibhausgase, klimawirksame Gase	Netzausbau: intelligente Netze, smart grid
Ozonschicht	Gleichstromhochspannungsübertragung
Bodennahes Ozon	Wasserstoffgewinnung über Elektrolyse
Thermische Kraftwerke: Dampf-, Gasturbinen und Dieselmotoren	Brennstoffzelle
Generator	Kernfusion
Wechselstrom, Schwingung, Frequenz	Biosprit aus Algen

8. Aspekte der Energieerzeugung und -nutzung

Die Kulturgeschichte ist immer auch eine Geschichte der Energie: Wärme und Nutzenergien machen das Leben angenehmer und ermöglichen erst die unterschiedlichsten Zivilisationsleistungen. Besonders seit die fossilen Energievorräte in einem bis dahin nie gekannten Ausmaß ausgebeutet werden, haben sich die Lebensbedingungen für viele Menschen verbessert. Woher aber soll die Energie in Zukunft kommen, wenn einerseits bisher genutzte Quellen zur Neige gehen und die atomare Energieerzeugung zu risikobehaftet ist, andererseits Weltbevölkerung und Lebensstandard vieler Menschen aber stetig zunehmen?

Eine eindeutige Antwort darauf ist derzeit nicht in Sicht. Vorerst müssen alle Möglichkeiten zur sicheren Energiegewinnung und effizienten Energienutzung ausgeschöpft werden. Welche Aspekte hierbei eine Rolle spielen, wird nachfolgend im Überblick behandelt.

8.1 Energiewirtschaftliche Aspekte

Über die Zukunft der Energie wird teilweise recht emotional und interessengefärbt diskutiert. Zur Versachlichung der Auseinandersetzung können verschiedene energiewirtschaftliche Aspekte und Faktoren beitragen. Einige davon werden nun vorgestellt. Zunächst geht es um Prognosen zur Endlichkeit von Energievorräten.

8.1.1 Reichweite und Verfügbarkeit der Energievorräte

Von Marion King Hubbert wurde 1956 die **Peak-Oil-Theorie** aufgestellt. Er bezeichnete damit den Zeitpunkt in der Geschichte, an dem die weltweite Ölproduktion ihr Fördermaximum erreichen wird und sich das Ende des Erdölzeitalters abzeichnet. Ob die Weltproduktion ihren Scheitelpunkt schon erreicht hat, darüber wird noch gestritten. Dass die Reichweite verschiedener Primärenergieträger aber begrenzt ist, daran besteht kein Zweifel. Wann das jedoch der Fall sein wird, ist Gegenstand von Spekulationen.

Reserven, Ressourcen und statistische Reichweite

Bei Einschätzungen bezüglich der Verfügbarkeit fossiler oder atomarer Primärenergieträger sind **Reserven** und **Ressourcen** zu unterscheiden. Als **Reserven** werden die derzeit nachweisbaren Vorkommen bezeichnet, die mit heutiger Technologie und zu heutigen Marktpreisen genutzt werden können. Als **Ressourcen** bezeichnet man dagegen nachgewiesene oder vermutete Vorkommen, deren Förderung aber aus heutiger Sicht unwirtschaftlich oder mit gängiger Technologie derzeit nicht realisierbar ist.

Dividiert man die **Reserven** insgesamt durch die aktuelle Förderung bzw. Gewinnung, erhält man die **statistische Reichweite** eines Energieträgers. Eine Übersicht über Reserven und statistische Reichweiten bekannter Energievorräte gibt die nachfolgende Tabelle.

Tabelle xx: Reserven und Reichweite bekannter Energievorräte (verschiedene Quellen)

Art des Vorrats	Reserven [10^9 t SKE]		Statistische Reichweite [Jahre]
	geschätzt	gewinnbar	
Steinkohle	6700	500	150
Braunkohle	800	100	300
Erdöl	200	200	42
Erdgas	300	150	60

Uran		50	70
Brutreaktoren		3000	5000

Unsicherheiten der Prognose

Die in der Tabelle xx dargestellten Werte stellen allerdings nur **Momentaufnahmen** dar. Sie basieren auf der Kenntnis vorhandener Reserven sowie der Extrapolation des gegenwärtigen Verbrauchs in die Zukunft. Unberücksichtigt bleibt hierbei, dass der **technische Fortschritt** zur Energieeinsparung und auch zu Erfolgen bei der Suche nach alternativen Energiequellen führen kann. Der Effekt ist in diesem Fall eine Reduktion des Verbrauchs der derzeit genutzten Energieträger. Aufgrund **verbesserter Explorationstechniken** kann außerdem durchaus mit Neufunden gerechnet werden und – wie das Fracking zeigt – können aus Ressourcen durchaus Reserven werden, wenn Technologien zur Förderung weiterentwickelt werden.

Reichweite fossiler Energieträger ist auch abhängig von den Förderbedingungen

Nach Meinung der Experten wird die **Reichweite** der wichtigen fossilen Energievorräte Erdöl und Erdgas noch etwa 50 Jahre betragen. Nicht mitgerechnet sind beim Öl die noch kaum angezapften Teersand und Ölschiefervorräten. Allein die **quantitative Dimension** der Reichweite ist allerdings nur ein Aspekt energiewirtschaftlicher Unwägbarkeiten. Ein anderer ist die Unsicherheit der **Förderbedingungen**. Die Regionen der Erde, in denen das meiste Öl gefördert wird, zählen zu den Gegenden mit instabilen politischen Verhältnissen. Aber auch Gas wird, das haben jüngste Ereignisse deutlich vor Augen geführt, als politische Waffe eingesetzt. Neben der politischen Seite, sind weiterhin auch die **technischen, ökonomischen und ökologischen Förderbedingungen** zu berücksichtigen. Bei jedem Fund einer neuen Lagerstätte für fossile Energien ist daher zu klären, ob der Abbau wirtschaftlich und umweltfreundlich, der Transport sicher und vor allem auch, ob die Nutzung klimaschonend realisiert werden kann.

Reichweite der Kernbrennstoffe

Als Brennstoff für die Kernenergienutzung wird bei den meisten Atomreaktoren Uran eingesetzt. Der weltweit bekannte Vorrat an **Natururan** ist allerdings ähnlich begrenzt wie bei den fossilen Brennstoffen. Eine Möglichkeit, neben dem Natururan spaltbares Material zu gewinnen besteht beim Betrieb so genannter **Brutreaktoren**. In ihnen wird mehr spaltbares Material gewonnen, als verbraucht wird. Diese Unabhängigkeit von Natururan wird auf der anderen Seite mit einer Erhöhung des Sicherheitsrisikos erkaufte.

8.1.2 Energiebilanz und Wirkungsgrad

Um sich im energiewirtschaftlichen Sektor einen Überblick über Erzeugung und Verbrauch von Energie zu verschaffen, sind **Energiebilanzen** hilfreich. Sie erlauben nicht nur Aussagen über den Verbrauch von Energieträgern in den einzelnen Sektoren, sondern liefern zudem Informationen über

den Energiefluss vom Erzeuger bis zur Verwendung (Information zur politischen Bildung 2013, S. 8). Hier zeigt sich, dass **Primär- und Endenergieverbrauch** nicht gleich sind. Das hängt mit **Verlusten** bei der Energiegewinnung, der Umwandlung und Verteilung der Energie zusammen. Außerdem werden einige energiereiche Stoffe **nichtenergetisch** genutzt, wie zum Beispiel Bitumen für den Straßenbau. Im Endeffekt kommen nur rund zwei Drittel des Primärenergieverbrauchs beim Endverbraucher an. Die Struktur der deutschen Energiebilanz zeigt die Tabelle xx.

Tabelle xx: Struktur der deutschen Energiebilanz, Angaben für das Jahr 2010 (Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V., AGEB)

Aufkommens- und Verwendungssektoren	Energieverbrauch	Anteile am ...	
		Primärenergieverbrauch	Endenergieverbrauch
	in Petajoule	in %	in %
Primärenergieverbrauch	14 217	100,0	-
./. Umwandlungseinsatz insgesamt	-11 458	-80,6	-
+ Umwandlungsausstoß insgesamt	8167	57,4	-
./. Energieverbrauch im Umwandlungsbereich insgesamt	-546	-3,8	-
./. Fackel- und Leistungsverluste	-152	-1,1	-
./. Nichtenergetischer Verbrauch	-1034	-7,3	-
+././. Statische Differenzen	115	0,8	-
= Endenergieverbrauch	9310	65,5	100,0
- Industrie	2592	-	27,8
- Verkehr	2559	-	27,5
- Haushalte	2676	-	28,7
- Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	1483	-	15,9

Um mögliche Einsparpotenziale in der Volkswirtschaft ausfindig zu machen, lohnt außerdem ein genauerer Blick auf den **sektoralen Endenergieverbrauch** (s. Tabelle xx). Hier zeigt sich beispielsweise, dass Wärmeanwendungen den Endenergieverbrauch der privaten Haushalte dominieren und besonders die Raumwärme einen großen Posten einnimmt.

Tabelle xx: Sektoraler Endenergieverbrauch nach Anwendungszwecken, Deutschland 2010 (Quellen: AGEB; FfE; Geiger; ISI; RWI, 2012)

Anteile in %	Industrie	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	Verkehr	Private Haushalte	Endenergieverbrauch insgesamt
Raumwärme	7,6	48,4	0,5	71,0	30,4
Warmwasser	0,9	5,1	0,0	14,0	5,1

sonst. Prozess- wärme	65,8	7,5	0,0	5,4	21,1
Wärmean- wendungen gesamt	74,3	60,9	0,5	90,4	56,5
Kälteanwendungen	1,3	3,5	0,1	4,0	2,1
Mechanische Ener- gie	21,6	15,0	98,5	0,6	35,7
Information und Kommunikation	1,2	5,6	0,4	3,4	2,3
Beleuchtung	1,5	15,0	0,5	1,7	3,4
Endenergie- verbrauch insgesamt	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Energieverluste und Wirkungsgrad

Da Energie in Form von Energieträgern bereits vorliegt, kann man eigentlich nicht von Energieerzeugung sprechen, sondern nur von **Energiewandlung** und zwar in eine Form, die dem Transport, der Lagerung oder der Nutzung zweckdienlicher ist. In einem Wasserkraftwerk wird z.B. die durch die Höhenlage gespeicherte Energie des Wassers in elektrische Energie umgewandelt, bei einer Kochplatte wird elektrische Energie in Wärmeenergie umgewandelt. Der Betrag der bei dem Vorgang umgesetzten **Gesamtenergie bleibt konstant**. Allerdings ist die Höhe der jeweils beabsichtigten umgewandelten Energieform, der Nutz- oder Endenergie, nie gleich der Ausgangsenergie. Es treten demnach ungewollte **Energieverluste** auf, und zwar bei allen technischen Systemen. Die Tabelle xx weiter oben gibt Aufschluss über die Höhe der Energieverluste, die auf dem Weg von der Primärenergie zur Endenergie verloren gehen. Ein Maß für die Effizienz von Energiewandlungen und Energieübertragungen ist der Wirkungsgrad.

Berechnung des Wirkungsgrades

Das Verhältnis der Nutzenergie (**Nutzleistung**) zur eingesetzten bzw. zugeführten Energie (**zugeführten Leistung**) eines Systems wird als **Wirkungsgrad η** (sprich „nü“) bezeichnet. Der Wirkungsgrad eines energieumsetzenden Systems lässt erkennen, wie **effizient** die Energiewandlung erfolgt, also welcher Teil der zugeführten Energie tatsächlich genutzt wird. Als Wert ist η immer kleiner 1.

Nutzleistung (erzeugte Energie)	
Größengleichung:	Wirkungsgrad = $\frac{\text{Nutzleistung}}{\text{zugeführte L. (aufgewendete Energie)}}$
	$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$
Formelzeichen:	
Einheit:	keine Einheit, dimensionslos!

Verfolgt man den Energieumsatz über mehrere Stationen bzw. Übertragungssysteme, ergibt sich der Gesamtwirkungsgrad (η_{gesamt}) aus dem Produkt der einzelnen Wirkungsgrade:

$$\eta_{\text{gesamt}} = \eta_1 * \eta_2 * \dots * \eta_n$$

Energieeffizienz von Wärmekraftwerken

Ein nachhaltiger Umgang mit Energie bedeutet die Verluste bei ihrer Erzeugung, Umwandlung oder Leitung zu minimieren. Dazu muss die Effizienz der ganzen Prozesskette analysiert werden. Sie beginnt bereits beim Kraftwerk.

Die einem thermischen Kraftwerk zugeführte Energie (**Bruttolleistung**) lässt sich nach folgender Formel berechnen:

$H * D$	kcal	kg	kWh
$P_b = \frac{H * D}{860}$	[	-----	----- = kW]
860	kg h	kcal	

Mit: H = Heizwert des Brennstoffes [kcal/kg]

D = Brennstoffdurchsatz [kg/h]

860 = Umrechnungsfaktor von kcal auf kWh

Die Bruttolleistung eines Kraftwerks ist um verschiedene Energieverluste, die auch den Eigenbedarf für den werkseigenen Betrieb von Aggregaten oder Anlagen beinhalten, zu reduzieren. Die **Kraftwerksnettolleistung** ergibt sich dann aus dem Produkt der Wirkungsgrade mit der Bruttolleistung:

$$P_n = \eta_K * \eta_{th} * \eta_i * \eta_e * P_b$$

Im Einzelnen berücksichtigen die Wirkungsgrade folgende Verluste (Crastan 2009, S. 75):

- η_K Verluste in der Brennkammer und im Kessel (Reaktor) bzw. im Spiegelfeld und Receiver eines Solarkraftwerkes sowie im Kreislauf (Wärmetauscher, Leitungen, Kesselpumpe usw.)
- η_{th} Wirkungsgrad des idealisierten thermodynamischen Kreisprozesses
- η_i Verluste der Turbine („innerer“ Wirkungsgrad, mechanische Verluste)
- η_e Elektrische Verluste (Generator, Transformator, Eigenbedarf)

Der *maximal* zu erreichende Wirkungsgrad, der sich mit einer Wärmekraftmaschine, also bei der Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische oder elektrische Energie erreichen lässt, wird als **Carnot-Faktor** η_{th} bezeichnet und berechnet sich folgendermaßen:

$$\eta_{th} = 1 - (T_u / T_o)$$

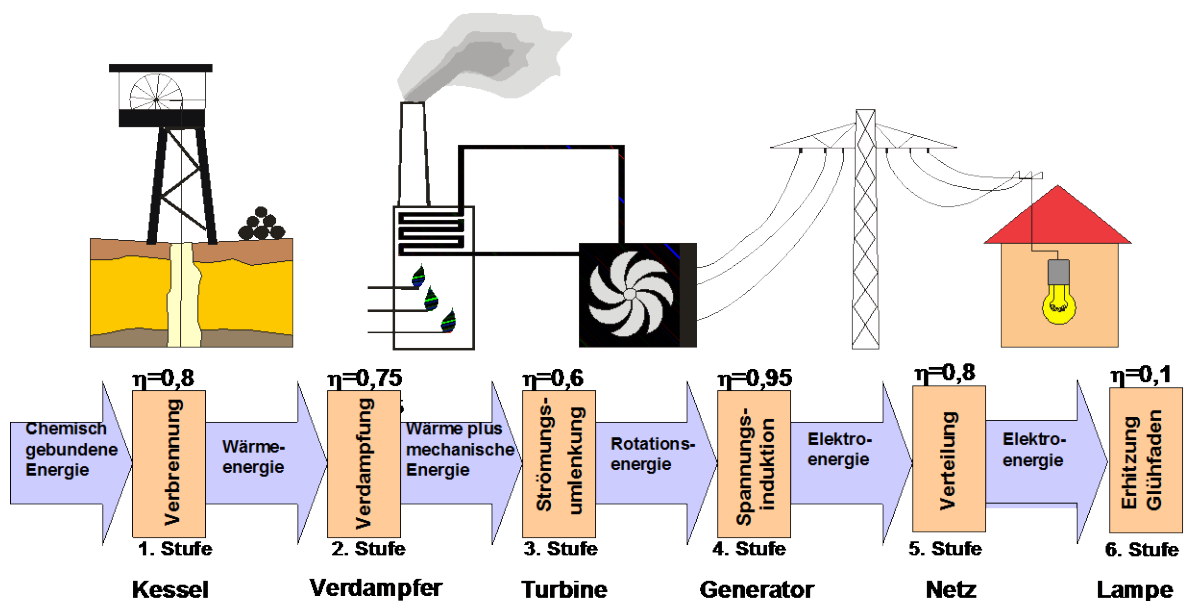
Mit T_u als untere und T_o als obere Prozesstemperatur

Der Carnot-Wirkungsgrad ist umso höher, je größer das **Temperaturgefälle zwischen oberer und unterer Prozesstemperatur** ist. Tatsächlich wird dieser Wirkungsgrad in der Praxis jedoch nie erreicht und liegt etwa bei einem Drittel bis etwa zwei Drittel des Carnot-Wirkungsgrades.

Ein modernes Wärmekraftwerk kommt lediglich auf einen maximalen Wirkungsgrad von $\eta = 42\%$. Das bedeutet, dass nicht einmal die Hälfte der Bruttoenergie in elektrischen Strom umgewandelt wird. Um die Energieausbeute zu erhöhen, versucht man, die entstehende Wärme zu nutzen (z.B. bei der Technik der Kraft-Wärme-Kopplung).

Beispiel: Energiewandlung und Wirkungsgrade bei einem Kohlekraftwerk

In der Kohle ist Energie gebunden, die bei der Verbrennung in thermische Energie (Wärmeenergie) umgewandelt wird. Mittels des im Kohlekraftwerk erhitzten Dampfes wird die thermische Energie in der Dampfturbine in mechanische Energie umgesetzt. Diese wird im Generator in Elektrizität umgewandelt, die über Leitungen dorthin transportiert wird, wo sie benötigt wird. Beim Abnehmer erfolgt letztendlich die Umwandlung in die gewünschte Nutzenergie. Bei jeder Umwandlung treten Verluste auf. Die Effizienz jedes Umwandlungsprozesses lässt sich über einen Wirkungsgrad ausdrücken. Der Gesamtwirkungsgrad ergibt sich der Summe der Teilwirkungsgrade (s. Abb. xx).



Gesamtwirkungsgrad

$$\eta_{gesamt} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \dots \cdot \eta_n = 0,8 \cdot 0,75 \cdot 0,6 \cdot 0,95 \cdot 0,8 = 0,2736$$

Abb. Xx: Energieumwandlung und Wirkungsgrad

8.1.3 Nachfrageschwankungen bei elektrischer Energie

Elektrische Energie hat den Vorzug, dass es mittels **Stromnetze** weit verbreitet und in unterschiedlichster Weise eingesetzt werden kann. Mit elektrischer Energie wird heute eine Vielzahl technischer Systeme betrieben. Der Nachteil ist, dass elektrische Energie bisher nicht in nennenswertem Umfang gespeichert werden kann (s. Abschnitt 8.3.3). Die Menge an Energie, die gerade verbraucht wird, muss im selben Moment in den Kraftwerken zur Verfügung gestellt werden. Die **tageszeitlichen, wochenendbedingten** sowie **saisonalen** Schwankungen auf der Nachfrageseite und die **ungleichmäßige Einspeisung** besonders von Strom aus Wind- und Photovoltaikanlagen stellt die Kraftwerks- und Netzbetreiber vor große Herausforderungen. Um diese Schwankungen auszugleichen und die Netzfrequenz bei 50 Hertz zu halten, muss der Einsatz der Kraftwerke je nach Strombedarf zentral geregelt werden.

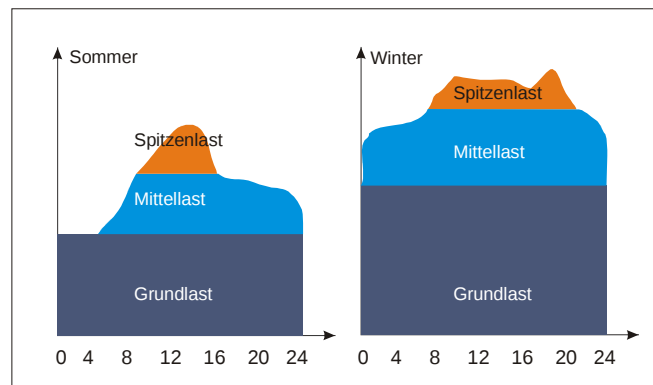


Abb. xx: Stromnachfrage in Abhängigkeit von der Tages- und Jahreszeit (Quelle RWE)

Analysiert man die Stromnachfrage im Tagesablauf, stellt man fest, dass eine bestimmte Leistung rund um die Uhr nachgefragt wird. Diese Last bezeichnet man als **Grundlast**. Die dafür eingesetzten Kraftwerke, die so genannten Grundlastkraftwerke, sind ständig in Betrieb. Zu diesen Dauerläufern gehören in Deutschland vor allem die Braunkohle- und Kernkraftwerke, aber auch Laufwasserkraftwerke.

Zur Mittagszeit oder auch am frühen Abend sind Phasen mit besonders hoher Netzbelastung festzustellen, die meist nur kurz andauern. Zur Deckung dieser **Spitzenlast** werden Kraftwerke eingesetzt, die bei plötzlichem Bedarf in wenigen Minuten ihre volle Leistung bringen. Zu den Spitzenlasterzeugern zählen zum Beispiel die **Pumpspeicherkraftwerke** und **Gasturbinenkraftwerke**.

Zwischen der kurzfristig auftretenden Spitzenlast und der andauernden Grundlast liegt im Tagesbelastungsdiagramm der Bereich der **Mittellast**. Die dafür arbeitenden Mittleistungskraftwerke werden in Zeiten besonders geringer Belastung, also in der Regel nachts, abgeschaltet oder zumindest auf eine deutlich geringere Leistungsabgabe heruntergefahren. Die stundenweise Belastung des

Stromnetzes ist vorhersehbar und wird vor allem von Steinkohle-Kraftwerke abgedeckt (Quelle Amprion¹).

8.1.4 Der Erntefaktor

Neben Aspekten, wie lange die Energien noch reichen, welche wann zur Verfügung gestellt werden muss oder wie hoch der Wirkungsgrad einzelner Systeme ist, ist energiewirtschaftlich eine weitere Frage von Bedeutung: "Wie oft bekommt man die in ein Energiesystem hineingesteckte Energie wieder heraus?" Der entscheidende Wert dafür ist der so genannte **Erntefaktor**. Er drückt das Verhältnis zwischen der für die Erstellung, den Betrieb und die Entsorgung (**Anlagenlebenszyklus**) aufgewendete Energie eines **Energieerzeugungssystems** zur **nutzbaren Energie** aus.

Damit ist der Erntefaktor ein **quantitatives Bewertungskriterium**, das als wirtschaftliches Beurteilungsmaß für regenerative wie auch für nicht-regenerative Energiesysteme herangezogen werden kann. Die Berechnung des Erntefaktors (englisch „energy returned on energy invested“, kurz EROEI) zeigt das nachfolgende Schaubild.

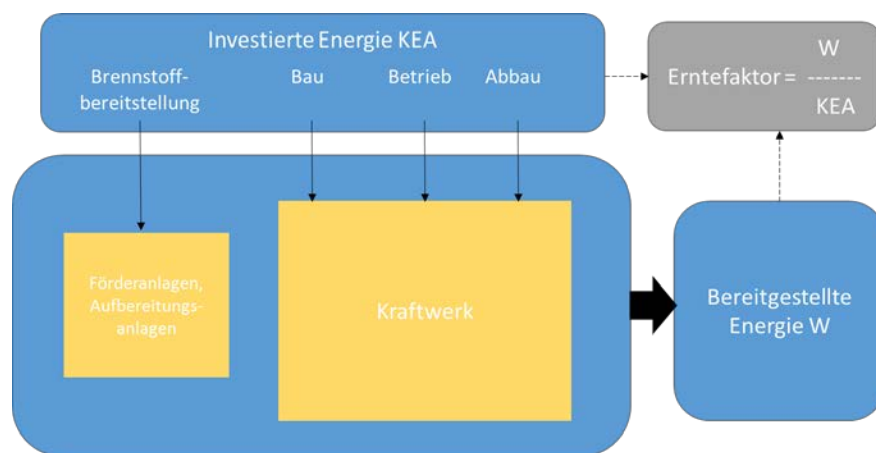


Abb. XX: Berechnung des Erntefaktors eines Kraftwerkstyps

In der nachfolgenden Tabelle sind Anhaltswerte für den Erntefaktor aufgeführt, die sich aus der Analyse verschiedener Quellen ergeben. Die Zahlen sind mit Vorsicht zu verwenden, weil nicht bei allen Quellen exakt nachvollzogen werden kann, wie die Werte berechnet wurden. So ist nicht überall klar zu entnehmen, ob notwendige Speichermöglichkeiten mit einberechnet wurden. In diesem Fall reduziert sich nämlich der Erntefaktor. Unklar bleibt zum Teil auch, inwieweit der Energieeinsatz für Infrastruktur berücksichtigt wurde (auch hier kommt es zu einer Absenkung des Erntefaktors) oder ob der Energieeinsatz im laufenden Betrieb berücksichtigt wird, was besonders bei den thermischen Kraftwerkstypen zur Verwertung fossiler Energie natürlich zur Reduzierung des Erntefaktors führt.

Tabelle xx: Beispiele für den Erntefaktor (verschiedene Quellen)

¹ <http://www.amprion.net/grundlast-mittellast-spitzenlast>

Typ der Energieerzeugungsanlage	Erntefaktor
Kernkraftwerk	60-100
Steinkohlekraftwerk	50-100
Wasserkraft	10-30
Windkraftanlage	100
Photovoltaik	2-8

8.1.5 Umweltprobleme durch Energieerzeugung und -verbrauch

Emissionen und Immissionen

Die fossilen Energieträger decken mit über 90 % den weitaus größten Teil des **Weltenergiebedarfs** für Stromerzeugung, Wärmebereitstellung und Kraftstoffe ab. Durch ihre Verbrennung, sowie die Verbrennung von Biomasse entstehen pro Jahr Milliarden Tonnen des Treibhausgases Kohlendioxid (CO_2). Außerdem gelangen Kohlenmonoxid (CO), Stickoxide (NO_x), Schwefeldioxid (SO_2) Partikel und andere Stoffe in die Umwelt. Diese **Emissionen** verursachen Umweltprobleme entweder als Schadstoffe in der Luft, oder als **Immissionen**, die wieder auf die Erde zurückkehren.

Welche Umweltbelastungen durch Energieerzeugung und –verbrauch entstehen wird nachfolgend aufgezeigt.

Treibhauseffekt und Folgen

Wie mittlerweile eine Fülle von wissenschaftlicher Untersuchungen belegen, ist der seit Mitte des 20. Jahrhunderts feststellbare Anstieg der Erderwärmung auf die Zunahme von so genannten **Treibhausgasen** zurückzuführen, die der Mensch in die Atmosphäre einleitet. Der Treibhauseffekt ist an sich eine notwendige Voraussetzung für das Leben auf der Erde: Die Troposphäre ist die unterste, bis zu einer Höhe von 12 km reichende, wetterwirksame Luftschicht der Erdatmosphäre. An die Troposphäre schließt sich nach oben bis zu einer Höhe von 80 km die Stratosphäre an. Troposphäre und Stratosphäre bilden zusammen die Atmosphäre der Erde. Am Rande der Troposphäre gibt es einen schmalen Bereich von **Spurengasen**. Diese bewirken neben dem Wasserdampf in der Atmosphäre, dass das auf die Erde treffende Sonnenlicht teils wieder ins All durchgelassen, teils aber reflektiert wird und dann wieder auf die Erde trifft. Erst dadurch können sich höhere Temperaturen auf der Erdoberfläche einstellen.

Wegen der von Menschen verursachten Energieumwandlungen kommen zu den natürlichen Spurengasen in der Atmosphäre zusätzlich **klimawirksame Gase** wie Methan, Stickoxide, Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) sowie Kohlendioxid (CO_2) hinzu. Mit der Erhöhung des Anteils der Treibhausgase in der Atmosphäre geht ein **Anstieg der Durchschnittstemperatur** einher. Hauptsächlich Verursacher des Treibhauseffektes sind das Kohlendioxid (CO_2) und das Methan CH_4 . Kohlendioxid entsteht

beim Verbrennen von fossilen Energievorräten und trägt zu 50 % zum Treibhauseffekt bei. Methan entsteht in der Landwirtschaft. Es trägt zu 20 % zum Treibhauseffekt bei.

Die Folgen dieser Klimaveränderung sind vielfältig: Es kommt zu einem Rückzug der Gletscher sowie zu einem teilweisen Abschmelzen der eisbedeckten Polkappen mit einem gleichzeitigen Anstieg des Meeresspiegels um ca. 10 cm in hundert Jahren. Eine weitere Folge ist die Ausbreitung der Wüstengürtel sowie eine Veränderung regionaler klimatischer Bedingungen. Mittlerweile gehört es zum erklärten Ziel vieler Staaten, den Anstieg der Erderwärmung zumindest zu begrenzen, was einen schrittweisen Ausstieg aus fossilen Energieträgern wie Kohle, Öl und Gas bedeutet.

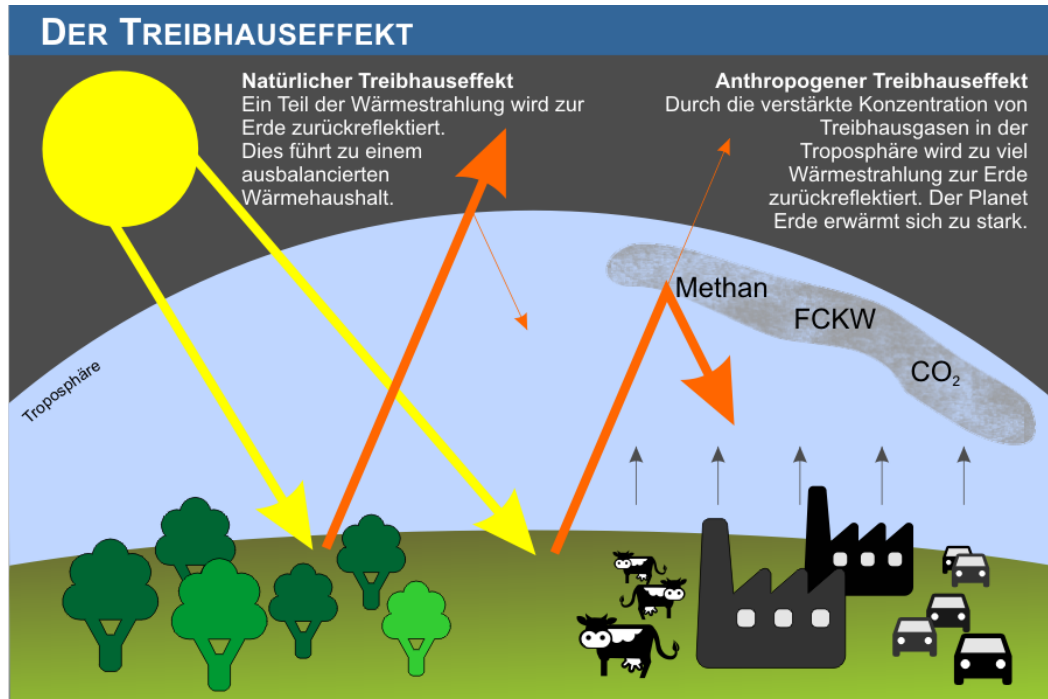


Abb. xx: Ursachen und Folgen des Treibhauseffekts

Ozon in der Troposphäre

In einer Höhe von 12-40 Kilometer über der Erde in der Stratosphäre befindet sich die **Ozonschicht**. Ozon ist eine besondere Form des Sauerstoffs (O_3), nämlich ein aus drei Sauerstoffatomen bestehendes Molekül. Der Ozongürtel wandelt kurzwellige UV-Strahlung in langwellige Lichtstrahlung um. Deshalb wird der Ozongürtel gerne auch als die „Sonnenbrille“ der Erde bezeichnet. Ohne die Ozonschicht wäre ein Leben auf der Erde, wie wir es kennen, gar nicht möglich, weil eine erhöhte UV-Strahlung wichtige Grundbausteine des Lebens schädigen würde.

Während das Ozon in der Stratosphäre vor gefährlicher UV-Einstrahlung schützt, verursacht es im **bodennahen Bereich** zahlreiche gesundheitliche Probleme wie Atemwegsstörungen, Lungenreizung, Augenreizungen und Kopfschmerzen.

Eine **erhöhte Ozonkonzentration** in der Troposphäre entsteht vor allem durch den Straßenverkehr. Bei der Verbrennung von Benzin im Automotor entstehen Stickstoffoxide (NO , NO_2). Die Stickstoffdioxidmoleküle zerfallen unter dem Einfluss von UV-Licht in Stickstoffoxid und ein Sauerstoffatom. Das Sauerstoffatom verbindet sich mit einem Sauerstoffmolekül zu einem Ozonmolekül.

8.2 Erzeugung elektrischer Energie durch Wärmekraftwerke

Bezogen auf den Endenergieverbrauch belegt Strom in Deutschland als Energieträger hinter Mineralölprodukten und Gas mit etwa 20 Prozent den dritten Platz. Am meisten Strom verbraucht die Industrie, danach folgen mit etwa einem Viertel des Nettostromverbrauch (s. Abschnitt 8.1.2) die privaten Haushalte. Ein typischer Drei-Personen-Haushalt in Deutschland verbraucht im Jahr durchschnittlich rund 3.500 kWh Strom.

Trotz des Ausbaus der Kapazitäten bei den erneuerbaren Energien stammt ein Großteil des Stroms auch in Deutschland nach wie vor aus **thermischen Kraftwerken**. Als Brennstoffe werden Stein-, Braunkohle oder Gas sowie Nuklearbrennstoff verwendet.

Stromerzeugung durch Wärmekraftwerke

Die meisten **Wärmekraftwerke** arbeiten mit fossilen Brennstoffen oder Uran. Thermische Kraftwerke lassen sich unterscheiden in **Dampf-, Gasturbinen und Dieselkraftwerke**. Um 1 kWh Strom zu erzeugen, benötigt man:

Erdgas	0,27 m ³
Heizöl	220 g
Steinkohle	320 g
Braunkohle	1300 g
Müll	1500 g
Uran	0,0067 g
Wasser	410 m ³ /1m Fallhöhe

(Quelle VBEW)

Dampfkraftwerke werden mit fossilen oder nuklearen Brennstoffen betrieben. Mit der durch Verbrennung oder Kernspaltung freigesetzten **Wärmeenergie** wird **Wasserdampf** erzeugt, der mit hohem Druck auf die Schaufeln einer **Turbine** geleitet wird (s. Abb. xx). Die Turbine wird dadurch in Gang gesetzt und treibt ihrerseits über eine Welle einen **Generator** an. In ihm wird Bewegungsenergie (mechanische Energie) in elektrische Energie umgewandelt. Der drucklose Wasserdampf verlässt die Turbine und kondensiert wieder zu Wasser. Damit kann erneut Energie aufgenommen werden. Der Kreislauf beginnt von vorne.

Prinzip der Stromerzeugung in Generatoren

Für die Energiewandlung in thermischen Kraftwerken werden **Generatoren** benötigt. Das Prinzip eines Generators ist nachfolgend dargestellt (Abb. xx): Wenn eine **Leiterschleife** in einem **Magnetfeld** gedreht wird, beginnen die Elektronen im Draht zu wandern, es fließt ein Strom. Diesen Strom nennt man **Induktionsstrom**. In dem dargestellten Beispiel wird der Strom über die schwarzen Schleifkontakte abgenommen. Dadurch, dass sich die Leiterschleifen einmal nach oben und auf der gegenüberliegenden Seite nach unten bewegen, wechselt die Elektronenbewegung die Richtung. Die Elektronen bewegen sich also einmal hin und her. Das nennt man eine Schwingung. Es entsteht ein **Wechselstrom** mit einer bestimmten Schwingungszahl pro Sekunde (Frequenz), die durch die Drehzahl des Generators bestimmt wird. Die Schwingungszahl im europäischen Verbundsystem beträgt 50 Hertz, also 50 Richtungswechsel pro Sekunde.

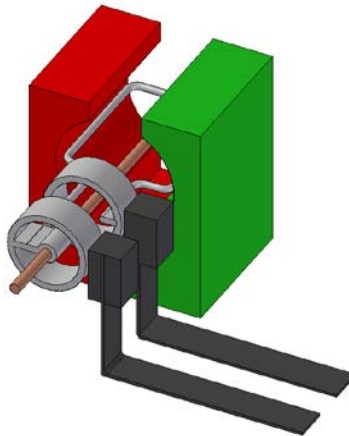


Abb. xx: Entstehung von Wechselstrom

Der Strom wird dann stärker, wenn der Leiter schneller bewegt wird, das Magnetfeld verstärkt wird oder wenn man anstatt eines Leiters mehrere Leiter, zum Beispiel eine **Spule** verwendet.

Bei den heute zur Stromerzeugung eingesetzten Generatoren rotiert nicht die Leiterschleife, sondern der Magnet. Die Spulen sind hier im so genannten Ständer oder **Stator** angeordnet, in ihm rotiert der mehrpolige Magnet (**Rotor**).

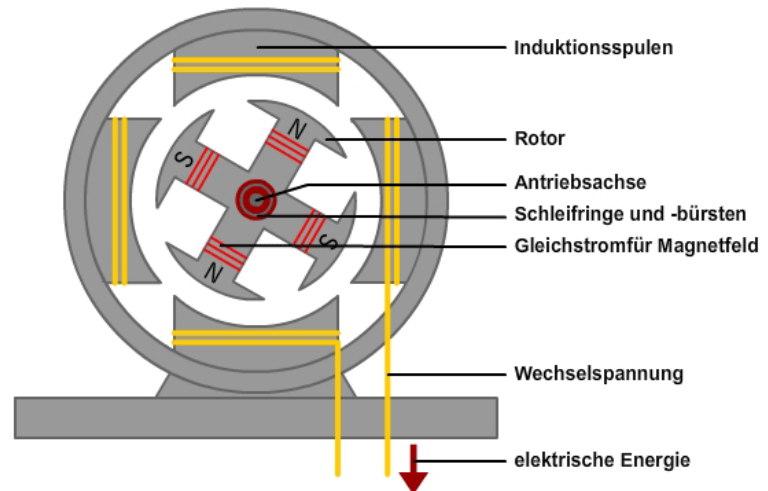


Abb. Xx: Schematischer Aufbau eines vierpoligen Wechselstromgenerators

8.2.1 Kohlekraftwerk

Nach wie vor kommt der Kohle weltweit eine wichtige Rolle bei der Stromerzeugung zu. In Deutschland deckt sie über die Hälfte des für die Stromerzeugung erforderlichen Primärenergieverbrauchs ab. Zur Grundlastversorgung werden vor allem Braunkohlekraftwerke eingesetzt, deren Brennstoff ist der wichtigste heimische Energieträger und kann relativ billig im Tagebergbau gewonnen werden. Die folgende Abbildung zeigt ein Kohlekraftwerk im Überblick.

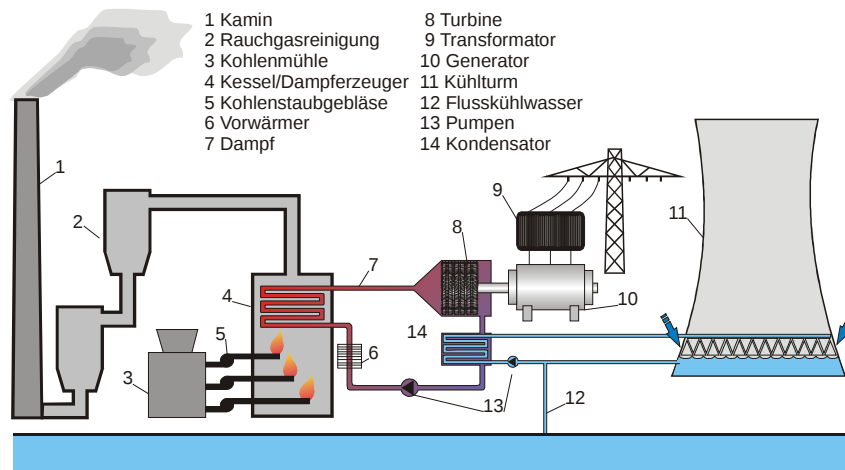


Abb. xx: Funktionsweise eines Wärmekraftwerks am Beispiel eines Kohlekraftwerks

Bei der Verbrennung von Kohle entstehen in größeren Mengen Schadstoffe, deren Einleitung in die Umwelt durch geeignete Maßnahmen wie die Rauchgasreinigung verhindert werden kann. Das gilt jedoch nicht für das klimaschädliche Kohlendioxid. Andere Stoffe wie z.B. Gips können weiter verarbeitet werden.

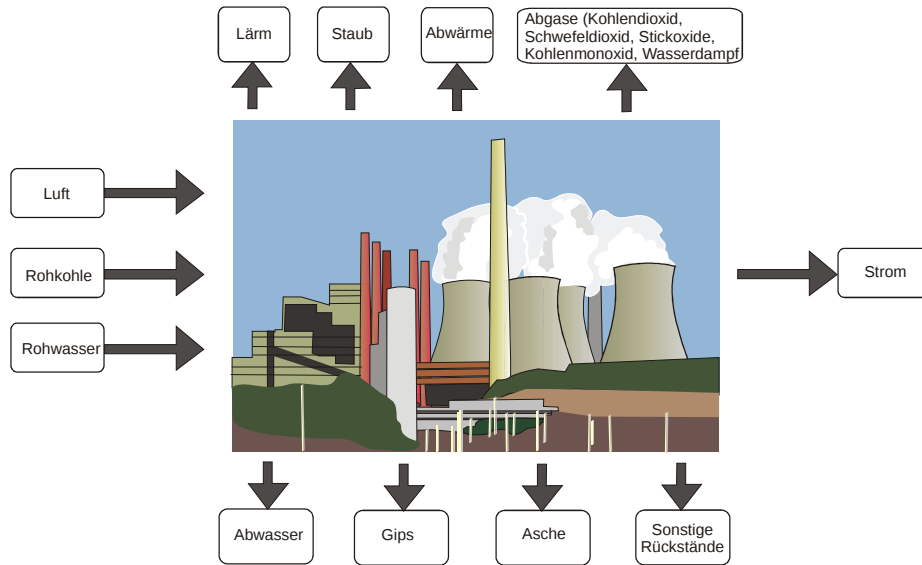


Abb. xx: Stoffumsätze im Kohlekraftwerk

8.2.2 Atomkraftwerk

Durch den Ausstiegsbeschluss aus der Kernkraft nach dem Reaktorunfall von Fukushima wird die Bedeutung dieser Art der Energiegewinnung in Deutschland abnehmen. Weltweit entstehen jedoch viele neue Kraftwerke.

Auch bei den Kernkraftwerken handelt es sich um thermische Kraftwerke. Der Unterschied liegt im verwendeten Brennstoff.

Kontrollierte Kernspaltung - Eigenschaften

Wie die Kernspaltung grundsätzlich genau funktioniert, wird in Lerneinheit 5 näher beschrieben. Um die energetischen Möglichkeiten der **Kernspaltung** zu nutzen, ist ein kontrollierter Ablauf der **Kettenreaktion** erforderlich, bei der Neutronen die Kerne des Uranisotops 235 spalten. Verschiedene Bedingungen müssen erfüllt sein:

- Es muss eine ausreichende Menge an spaltbarem Material vorhanden sein (kritische Masse).
- Es wird ein Stoff benötigt, der die Neutronen abbremst, da nur langsame Neutronen die Kettenreaktion am Laufen halten.
- Man benötigt Vorrichtungen, mit denen die Neutronen dosiert werden können.
- Die entstehende Wärme muss abgeführt werden.
- Außerdem sind umfangreiche Sicherheits- und Strahlenschutzeinrichtungen erforderlich.

Funktion und Aufbau eines Reaktors

Die Wahrscheinlichkeit einer Kernspaltung nimmt mit langsamen Neutronen zu. Die Verringerung ihrer Geschwindigkeit wird durch einen so genannten **Moderator** (Bremsmittel) erreicht. Als Moderator kann schweres Wasser, Graphit oder leichtes Wasser verwendet werden.

In Deutschland wurde aus Sicherheitsgründen vor allem leichtes Wasser verwendet. Es wurden so genannte **Leichtwasserreaktoren** gebaut. Steigt nämlich hier die Leistung eines Reaktors, verdampft der Moderator durch Überhitzung. Die Neutronen werden dann nicht mehr abgebremst und der

Reaktor kommt automatisch zum Stillstand (s. Abb. Xx). Beim Reaktortyp von Tschernobyl wurde Graphit benutzt, das beim Überhitzen seine Moderatorenfunktion nicht verliert. Die Kernspaltung wird weitergeführt.

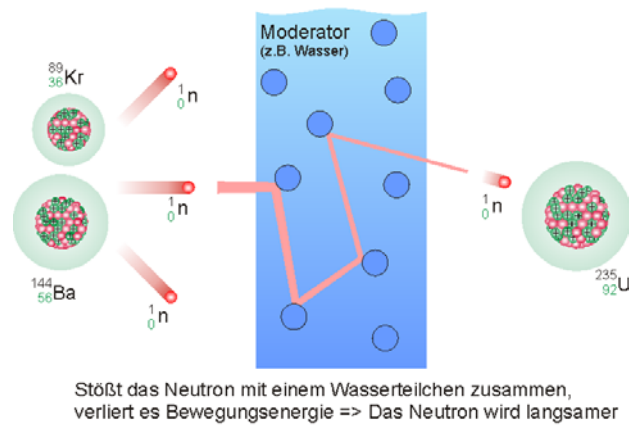


Abb. xx: Abbremsen von schnellen Neutronen durch einen Moderator, hier Wasser

Geregelt wird die Kettenreaktion in Kernreaktoren mittels **Steuerstäben**. Ihre Aufgabe ist es – anders als beim Moderator – Neutronen zu absorbieren. Je weiter die Steuerstäbe zu den Kernstäben (= Brennelementen) eintauchen, desto mehr Neutronen werden absorbiert. Die von den Reaktoren abgeführte Wärme wird zur Erzeugung von Dampf genutzt, der die Turbine und damit den Generator antreibt. Die Steuerstäbe bestehen aus Bor oder Cadmium.

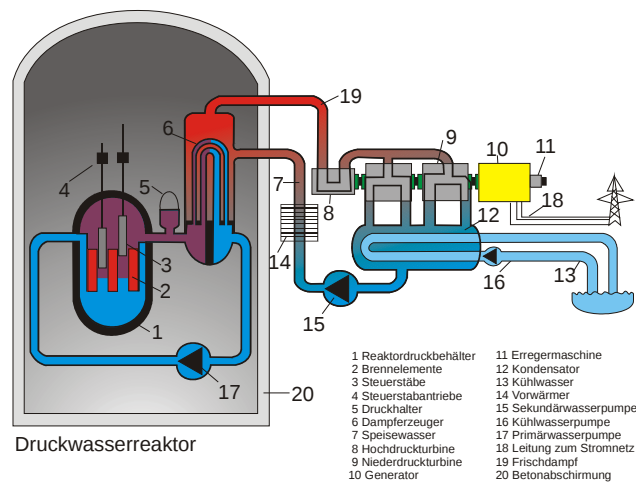


Abb. Xx: Druckwasserreaktor

Probleme der Kernenergie

Mit der Kernenergie sind zahlreiche Probleme verbunden. Schon der Abbau des Urans, die Urananreicherung oder die Herstellung der Brennelemente bergen Risiken für die Umwelt. Reaktorunfälle mit der Möglichkeit des Austritts radioaktiven Materials, Unfälle beim Transport des Brennmaterials sowie der Abfälle oder die Gefahr terroristischer Anschläge sind weitere Gefahren, die auftreten können.

Ein großes Problem stellt des Weiteren die Wiederaufbereitung und Entsorgung von ausgedienten Brennstoffen oder anderem radioaktivem Abfall aus den Kernkraftwerken dar. Wegen der tödlichen Strahlungsintensität der Abfälle müssen speziell präparierte Endlager geschaffen werden. Einrichtung und Betrieb sind gesellschaftlich höchst umstritten, ihr Standort in Deutschland daher noch nicht geklärt.

8.3 Rationeller Energieeinsatz

Der weltweit steigende Energieverbrauch, die dadurch verursachten Umwelt- und Klimaschäden, die Endlichkeit fossiler Energievorräte und andere drängende Probleme bei der Versorgungssicherheit fordern den einzelnen Bürger genauso wie die internationale Staatengemeinschaft. Das primäre Ziel aller Bemühungen muss dabei der rationelle Einsatz von Energie sein. Dabei gilt es, den Endenergieverbrauch zu senken, die Wirkungsgrade bei der Bereitstellung von Energie zu steigern sowie das Speicherproblem besonders für Strom zu lösen.

8.3.1 Senkung des Endenergieverbrauchs

Eine Senkung des Endenergieverbrauchs kann grundsätzlich durch eine **Reduzierung der Energieverluste** sowie eine **Erhöhung der Wirkungsgrade** erreicht werden. Im **privaten Haushalt** kann durch die Kombination einer ganzen Reihe von Maßnahmen der Endenergieverbrauch deutlich gesenkt werden. Die Maßnahmen im Einzelnen.

Kauf energieeffizienter Geräte

Haushaltsgeräte sind nach dem **Energieverbrauchskennzeichnungsgesetz (EnVKG)** mit einem Etikett auszustatten, das Angaben über den Verbrauch an Energie und andere wichtige Ressourcen macht. Die Kennzeichnung umfasst im Wesentlichen eine Nennung des Energieverbrauches (zum Beispiel Kilowattstunden je Kilogramm Wäsche im Standardwaschprogramm bei Waschmaschinen) sowie eine Zuordnung des jeweiligen Gerätes in eine von sieben **Energieverbrauchsklassen** (A bis G). Trotzdem die meisten Geräte die sehr gute Klasse A erreichen, sind noch energetische Unterschiede möglich. Daher kann die Klasse A in die Klassen A, A+, A++ und A+++ unterschieden werden.

Energiesparender Betrieb von technischen Systemen

Jeder Haushalt verfügt heute über eine Fülle an Haushaltsgeräten, bei deren Betrieb Energie eingespart werden kann. Beispiel Kühlschrank: Je tiefer die Kühl- oder Gefriertemperatur ist, umso mehr Energie muss aufgewendet werden. So reicht eine Lagertemperatur von 7 °C im Kühlschrank und minus 18 °C im Gefriergerät meist völlig aus. Als Aufstellraum für Kühl- und Gefriergeräte sollten möglichst ungeheizte Räume genutzt werden. Auch das regelmäßige Abtauen hilft Energie zu sparen.

Gasherde kochen wesentlich umweltfreundlicher als Elektroherde, da bei Elektroherden nur etwa 34 % der im Kraftwerk eingesetzten Energie in Strom umgewandelt werden. Beim Kochen sollten Töpfe und Pfannen mit geeigneten Deckeln abgedeckt werden. Mit Schnellkochtöpfen (Dampfdrucktöpfen)

können bis zu 50 % Energie und Zeit gespart werden. Waschmaschinen sollten grundsätzlich möglichst immer voll beladen werden. Für normal verschmutzte Wäsche reichen in aller Regel 60 °C. Das bringt etwa 30 % Energieeinsparung gegenüber dem Waschprogramm mit 95 °C.

Elektrische Geräte mit Bereitschaftsfunktion (englisch: „Stand-by“) verbrauchen auch dann Strom, obwohl sie mit dem Hauptschalter scheinbar ausgeschaltet wurden (das trifft beispielsweise auf Computer und deren Zubehörgeräte ebenso zu wie auf viele Geräte der Unterhaltungselektronik). Am besten betreibt man solche Geräte über eine Steckerleiste, die eine vollständige Trennung vom Stromnetz ermöglicht.

Energieeinsparung durch bauliche Gestaltung der Gebäude

Der größte Teil der im Haushalt verbrauchten Energie (etwa 70 %) fließt in die Heizung. Ein Teil der dem Heizsystem zugeführten Energie wird bereits durch Abgas-, Aufstell- oder Leitungsverluste reduziert. Die den Räumen eines Gebäudes zugeführte Wärme geht dann entweder durch Wärmeleitung der Bauteile (**Transmission**) oder durch **Lüftung** verloren.

Für neue Gebäude oder für bauliche Veränderungen von Gebäuden gilt in Deutschland die **Energieeinsparverordnung (EnEV)** vom 1. Mai 2014. Sie begrenzt in Abhängigkeit von einem durch die EnEV definierten Referenzhaus den spezifischen Transmissionswärmeverlust des Gebäudes und den Primärenergiebedarf. Der **Jahresprimärenergiebedarf** ist der Energieaufwand, der für Heizung, Warmwasserbereitung und Lüftung anfällt. Der größte Faktor in dieser Berechnung ist der **Jahresheizwärmebedarf**. Er resultiert aus den Wärmeverlusten über **Transmission** (Wärmedurchgang durch Bauteile) und **Lüftung**, wird aber durch **interne Wärmequellen** etwa durch Lampen oder Elektrogeräte und **solare Gewinne** reduziert (s. Abb. xx). Solare Gewinne ergeben sich durch Fensterflächen oder Solarthermische - und Photovoltaikanlagen.

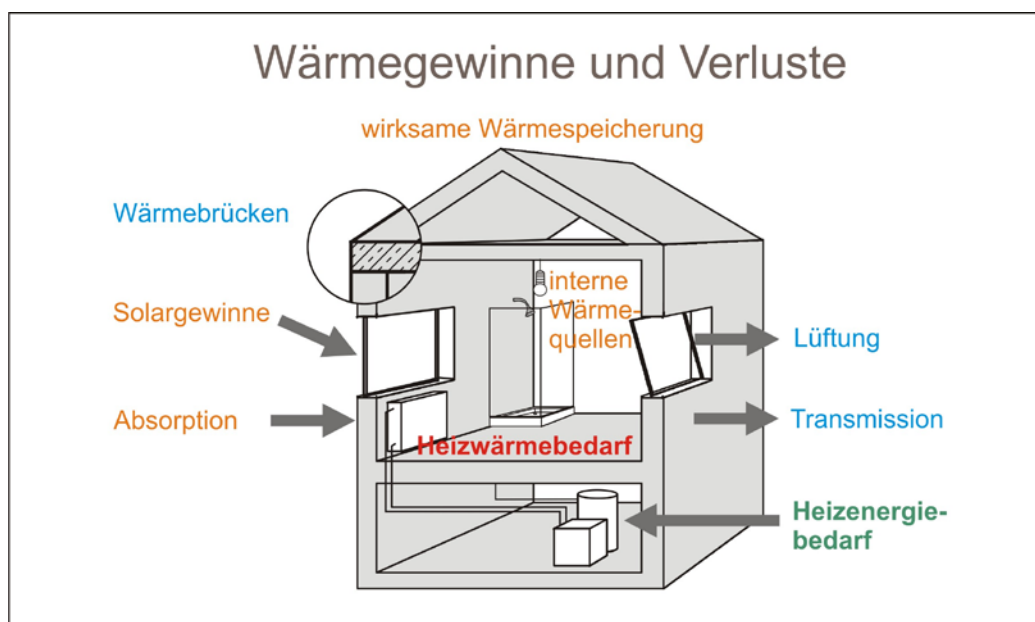


Abb. xx: Heizenergiebedarf in Abhängigkeit von Heizwärmebedarf, Wärmegewinnen und Verlusten

Um Neu- oder Altbauten energetisch zu optimieren sind grundsätzlich folgende Maßnahmen bedeutsam:

- Optimierung der Gebäudehülle (Wärme- und Sonnenschutz, Luftdichtigkeit, thermische Speicherkapazität).
- Effiziente technische Gebäudeausrüstung (Wärmerückgewinnung, Niedrig-Energie-Systeme).
- Integration erneuerbarer Energien (Solarenergie, oberflächennahe Geothermie).
- Betriebsoptimierung der eingebauten Systeme in Abstimmung mit dem Nutzungskonzept.

Heizenergieeinsparung durch Wohnverhalten

Neben den baulichen Möglichkeiten wird eine Einsparung der zu Heizzwecken aufgewendeten Energie auch über das Wohn- und Lüftungsverhalten erreicht. Ein wirksames Mittel ist die Absenkung der Raumtemperaturen. Für Wohn- und Arbeitsräume sind beispielsweise 20 °C völlig ausreichend. Niedriger sollten die Raumtemperaturen in der Küche (ca. 18 °C), im Schlafzimmer (ca. 17 °C) und in der Toilette (ca. 16 °C) sein.

8.3.2 Steigerung der Wirkungsgrade bei der Bereitstellung von Energie

Die Grundlage für eine Verbesserung der Energiebilanz ist eine Reduzierung der Energieverluste in der Energiewirtschaft, aber bei der dezentralen Energieerzeugung. Lösungen bieten hier zum Beispiel die **Kraft-Wärmekopplung** sowie die Nutzung so genannter **Kombiprozesse** in Industrie und Gewerbe. Beides zielt darauf ab, die in Kraftmaschinen oder anderen technischen Systemen anfallende Wärmeenergie zumindest teilweise für Heiz- oder Prozesswärme zu verwenden, insgesamt also den **Wirkungsgrad** zu erhöhen.

So lässt sich beispielsweise der **zentral in Wärmekraftwerken** erzeugte Dampf bzw. das Heißwasser in Gebieten mit einer adäquaten Abnehmerdichte in ein **Fernwärmeverteilnetz** einspeisen. Über Wärmetauscher wird die Wärmeenergie dann Heizsystemen zugeführt. Für den gewerblichen oder privaten Bereich lässt sich eine solche **Kraft-Wärmekopplung** auch über **dezentrale Gas- oder Dampfturbinen** sowie Diesel- oder Ottomotoren realisieren. Bei derartigen **Blockheizkraftwerken** wird einerseits elektrische Energie und andererseits Prozessdampf bzw. Heißwasser gewonnen.

Neben den für Blockheizkraftwerke gebräuchlichen Verbrennungsmotoren, deren Kühlkreislauf zur Aufheizung von Wasser für Heizzwecke verwendet wurde, werden inzwischen auch andere Systeme wie Stirling-Motor, Brennstoffzelle oder Mikrogasturbinen eingesetzt.

8.3.3 Speicherung von Energie und Netzausbau

Der Ausbau der Kapazitäten für Wind- und Sonnenstrom führt bisweilen dazu, dass mehr Strom erzeugt wird, als gerade verbraucht wird. Dieser **überschüssige Strom** lässt sich nur begrenzt unmittelbar oder über eine Energiewandlung speichern. Hinzu kommt, dass Windstrom vor allem in Norddeutschland erzeugt wird, viele Solaranlagen aber in Süddeutschland stehen. Ein weiterer Ausbau der erneuerbaren Energien macht daher sowohl einen Ausbau der **Speicherkapazitäten** als auch der **Netzstrukturen** erforderlich.

Energiespeichermöglichkeiten

Derzeit existieren verschiedene **Speichertechnologien**, die sich zum Teil bereits bewährt haben. Andere müssen den Nachweis der Effektivität und Effizienz erst noch erbringen. Im Einzelnen lassen sich mechanische, thermische, chemische und elektrochemische Speichertechnologien unterscheiden.

Technisch ist die Stromspeicherung natürlich eng mit der Idee der wieder aufladbaren **Batterie** verknüpft. Was im kleineren Maßstab, etwa im Handy, im Auto oder zur Aufnahme des mit einer Solaranlage produzierten Stroms im Hausnetz bereits relativ ausgereift ist, stößt bei einer Übertragung auf größere Anlagen auf verschiedene Schwierigkeiten. Die heute vielfach verwendeten Lithium-Ionen-Batterien sind für die großvolumige Speicherung von Strom wenig geeignet, weil sie lange Ladezeiten haben und zu teuer wären. Auch bei den für die Speicherung im großen Stil derzeit fokussierten **Redox-Flow-Batterien** ist die Energiedichte noch sehr gering. Die Kosten sprechen hier gegen eine zügige Verbreitung der Technologie. Alternativen zur Speicherung von Strom bieten sich an, wenn man die Energieart wechselt, etwa durch Umwandlung des Stroms in Lageenergie des Wassers in Stauseen. Da in Deutschland die geographischen Optionen für neue **Pumpspeicherkraftwerke** beschränkt sind, wird der hier mit Windkraft erzeugte Strom nach Österreich oder Norwegen transportiert, um dort Wasserpumpen zu betreiben. Das ist zwar durchaus sinnvoll, bringt aber auch Probleme mit sich, etwa weil der Strom über weite Strecken transportiert werden muss. Eine weitere Option ist es, mit dem überschüssigen Strom **Wärmepumpen** zu betreiben und die Wärmeenergie in Fernwärmenetze einzuspeisen.

Fortschritte für das Speicherproblem erwartet man sich auch durch den Betrieb von **Druckluftspeicherkraftwerken**. Dabei wird zuerst Luft komprimiert und beispielsweise in unterirdischen Kavernen eingeleitet. Bei Bedarf treibt die verdichtete Luft Turbinen an und erzeugt wiederum Strom. Das bisher einzige europäische Kraftwerk steht seit 1978 im niedersächsischen Huntorf. Da bei der Verdichtung von Luft etwa die Hälfte der Energie in Wärme umgewandelt wird, muss diese dem Prozess in einer geeigneten Form wieder zugeführt werden. Daran wird derzeit noch gearbeitet.

Als weiterer Schlüssel zur Lösung des Speicherproblems wird seit Jahren Wasserstoff betrachtet. Die Idee ist auf den ersten Blick bestechend: Durch **Elektrolyse**, für die beispielsweise der überschüssige Strom verwendet werden kann, wird aus Wasser **Wasserstoff** und Sauerstoff gewonnen. Der Wasserstoff wird gespeichert und bei Bedarf dann entweder in einem Verbrennungsmotor in Bewegungsenergie oder mittels einer Brennstoffzelle zurück in Strom verwandelt. Allerdings ist Wasserstoff sehr reaktionsfreudig, sprich auch gefährlich, außerdem flüchtig und muss für den Gebrauch komprimiert werden – alles Bedingungen, die einfache Lösungen verbieten. Sicherer erscheint der Vorschlag, den Wasserstoff teilweise in das Erdgasnetz einzuspeisen. Bis zu 10 Prozent Beimengung sind angeblich möglich.

Viel Phantasie in Sachen Stromspeicherung erlaubt auch die Tatsache, dass **Elektroautos** ja über eine **Batterie** verfügen, viele Elektroautos also durchaus große Mengen Strom aufnehmen und evtl. auch wieder abgeben könnten – vorausgesetzt natürlich, die Batterien werden leistungsfähiger und die Stromnetze spielen mit.

Netzausbau

Mit dem Begriff „Stromnetz“ werden in der Regel alle elektrotechnischen Anlagen bezeichnet, die der Erzeugung, Leitung und Abnahme des elektrischen Stroms beim Verbraucher dienen (s. Abb. Xx). Die derzeitigen Umwälzungen in der Energiewirtschaft führen zwangsläufig zu einer Umgestaltung des Netzes: Der Vorteil der über viele Jahre eher zentral organisierten Stromerzeugung war ja, dass sich mit wenigen großen Kraftwerken das Stromnetz relativ stabil versorgen ließ. Freilich mussten auch hier Schwankungen ausgeglichen werden, mit der zunehmenden Einspeisung von Strom durch dezentrale Stromquellen sind die Netze aber neuen Anforderungen ausgesetzt. Sie lassen sich sowohl mit der **Instabilität des Verbrauchs** als auch mit der **Instabilität der Erzeugung** beschreiben (Winterhagen 2012, S.143f.). Das ist deswegen ein Problem, weil sich Stromerzeugung und Abnahmekapazität stets die Waage halten müssen. Besonders der Ausbau der Windkraft hat aber die Berechenbarkeit im Netz gefährdet: Einmal weht ein schwaches Lüftchen, gleich darauf eine ordentliche Brise.

Neben der Gefahr der Überproduktion besteht das Problem der **Versorgungssicherheit**. Besonders die tages- und jahreszeitlich bedingten Verbrauchsspitzen am Morgen oder abends im Winter müssen abgedeckt werden. Das ließe sich kurzzeitig zumindest mit den oben beschriebenen Energiereserven aus der Speicherung realisieren.

Stabile Stromnetze sind also solche, die schwankende Strommengen in das System integrieren können. Dabei hilft auch eine stärkere Berechenbarkeit der Abnahmeseite (Winterhagen 2012, S. 149). Alle Überlegungen und Entwicklungen in diesem Zusammenhang lassen sich derzeit unter dem Begriff **intelligente Netze** oder **smart grid** bündeln. Die Grundidee ist hier, den Stromverbrauch stärker auf das jeweilige Angebot auszurichten. Das funktioniert beispielsweise dann, wenn Geräte im Haushalt, deren Gebrauch innerhalb einer bestimmten Zeitspanne erfolgen kann, dann erst eingeschaltet werden, wenn viel Strom zur Verfügung steht und er daher auch billiger ist. Für so einen angebotsorientierten Stromverbrauch muss das Stromnetz allerdings Informationen transportieren und es müssen „intelligente“ Stromzähler in den Haushalten die Steuerung übernehmen, damit die stromabnehmenden Geräte angesprochen werden können. Die ersten Geräte, die smart-grid-ready sind, sind mittlerweile schon auf dem Markt. Ähnlich wie bei Telefonanbietern wird es dafür aber in Zukunft wohl auch verschiedene Tarifsysteme geben: Wer zu jeder Tageszeit so viel Strom verbrauchen will, wie er gerade braucht, wird tiefer in die Tasche greifen müssen.

Stabile Netze sind darüber hinaus auch solche, die die dezentralen Anlagen verknüpfen und den Strom überhaupt erst zum Abnehmer bringen. Um dies zu gewährleisten, ist unter anderem ein **Ausbau der Hoch- und Höchstspannungsleitungen** erforderlich. Zumindest ist das die Meinung einiger Experten.

Besonders die kostengünstigste Lösung, nämlich der Bau neuer Trassen mit Hochspannungsmasten, ist jedoch öffentlich sehr umstritten. Neben dem Akzeptanzproblem gilt es zudem technische Herausforderungen zu meistern. Der Transport des Stroms über weite Strecken möglichst verlustfrei gelingt nämlich am besten mit **Gleichstromhochspannungsübertragung**. Solche Leitungen sind jedoch bisher rar.

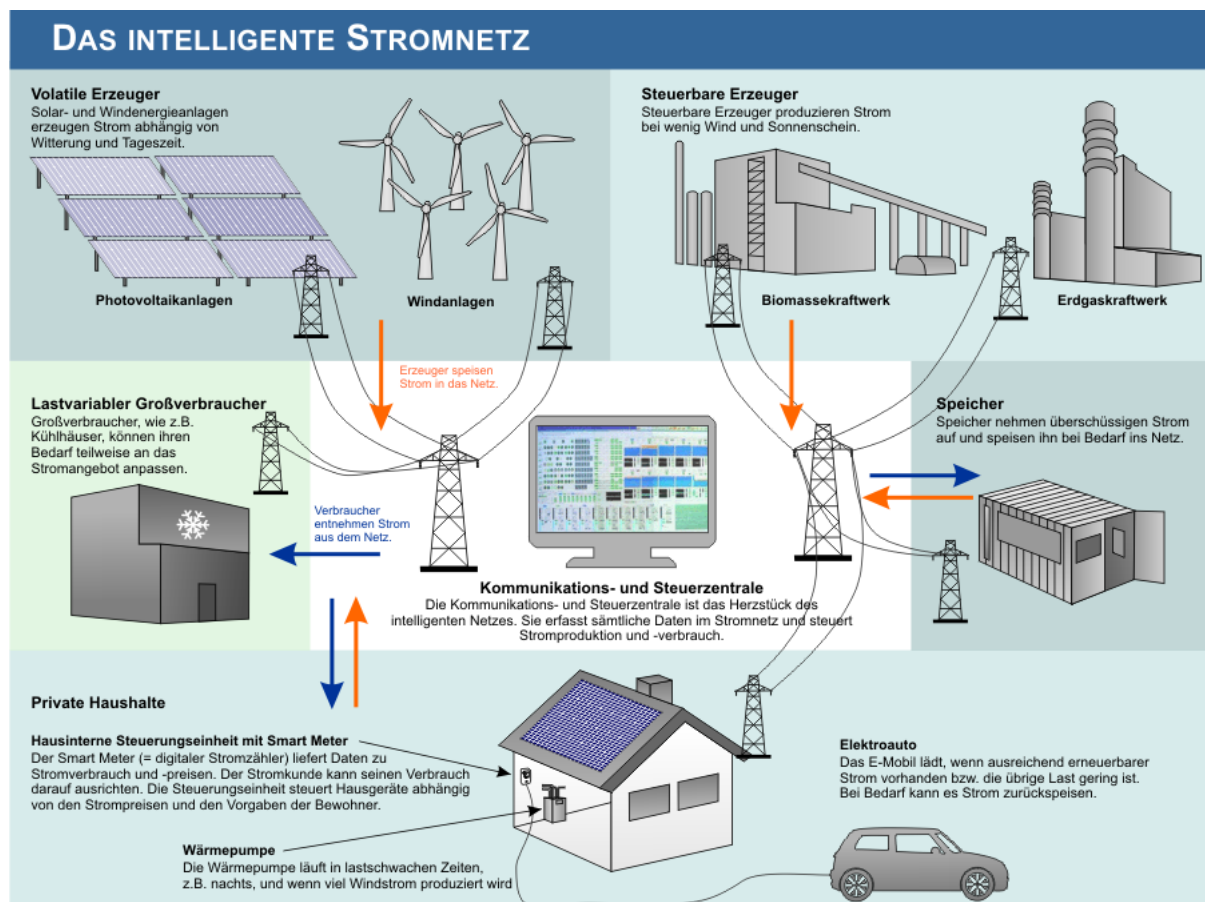


Abb. Xx: Intelligentes Stromnetz

8.4 Alternativen und Perspektiven der Energieerzeugung

Die Suche nach der „sauberen“ Energie wird noch einige Zeit andauern. Aussichtsreiche Kandidaten sind auf alle Fälle weiterhin der Wasserstoff und die Stromerzeugung mittels Kernfusion. Der Durchbruch lässt aus verschiedenen Gründen noch auf sich warten. Seit einiger Zeit ist zudem ein Neuling in das Zukunftsgeschäft um Energie eingestiegen: Die Biospritgewinnung aus Algen. Die einzelnen Energieoptionen werden nun kurz vorgestellt.

8.4.1 Wasserstoff

Ein Hoffnungsträger für eine sichere und umweltfreundliche Energiezukunft ist der durch Elektrolyse erzeugte Wasserstoff. Wegen seiner Transport- und Speicherfähigkeit wird der Wasserstoff vor allem mit dem schadstoffarmen Betrieb von Elektroautos und mit der dezentralen Stromversorgung in Verbindung gebracht. Außerdem bietet er sich für die Speicherung von Energie an.

Derzeit wird allerdings der größte Teil des Wasserstoffs noch mit fossilen Energien erzeugt. Da auf diese Weise Kohlendioxid produziert wird, hebt sich der Effekt der Emissionsersparnis praktisch auf. Eine positive Energiebilanz wäre nur dann gegeben, wenn der Wasserstoff mit Hilfe regenerativer Energien wie Sonne, Wind oder Wasserkraft erzeugt werden würde.

Brennstoffzelle

Eine Brennstoffzelle ist eine galvanische Zelle, die die im Wasserstoff gespeicherte chemische Energie in elektrischen Strom verwandelt. Dazu wird der Wasserstoff in die Zelle eingeleitet. An der Anode „zerfällt“ er in positive **Protonen** und negative **Elektronen**. Protonen und Elektronen fließen nun auf verschiedenen Wegen zur Kathodenseite: Die Protonen gelangen durch den Elektrolyten, im abgebildeten Beispiel durch eine Protonen-Austausch-Membran (engl.: Proton-Exchange-Membrane; kurz: PEM) in die Kammer mit dem Oxidationsmittel. Die Elektronen fließen über einen elektrischen Verbraucher, zum Beispiel eine Glühlampe, zur Kathode. An der Kathode wird das Oxidationsmittel, hier Sauerstoff, durch Aufnahme der Elektronen zu Anionen reduziert und reagiert gleichzeitig mit den durch den Elektrolyt zur Kathode gewanderten Protonen zu Wasserdampf H_2O .

Brennstoffzellen mit einem derart beschriebenen Aufbau heißen Polymermembran-Brennstoffzellen.

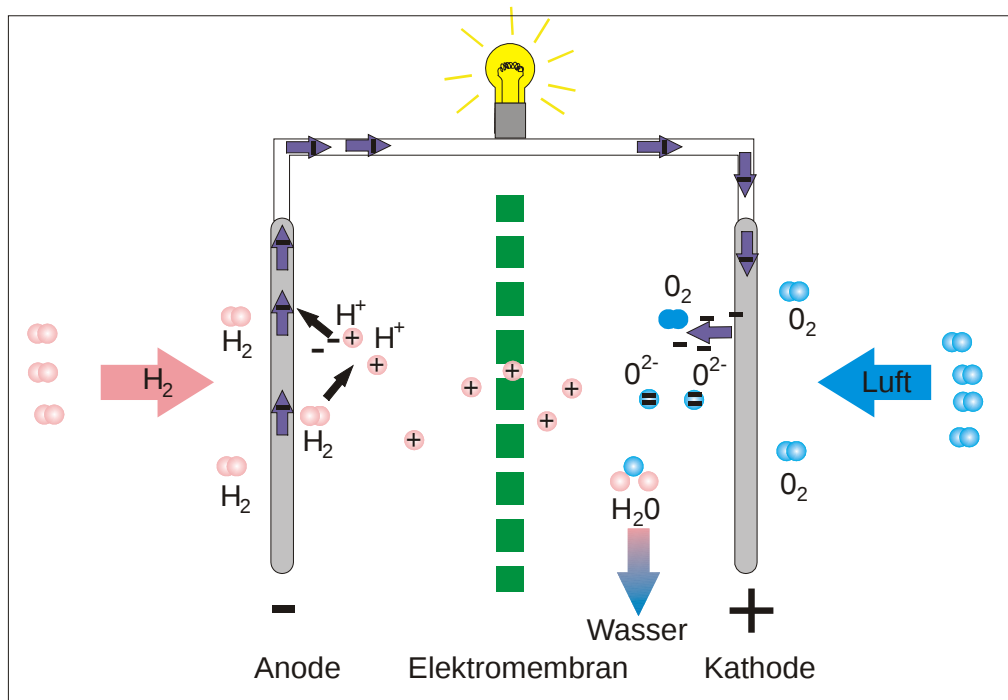


Abb. Xx: Energiewandlung – Brennstoffzelle

Perspektive

Wasserstoff ist zwar für sich genommen nicht explosiv, selbstentzündlich oder giftig, allerdings brennbar und im Gemisch mit Luft explosiv. Wasserstofftanks unterliegen daher hohen Sicherheitsanforderungen, die den Einbau in Fahrzeugen nicht gerade befördern. Auch die für einen flächendeckenden Einsatz im Verkehrsbereich notwendige Versorgung mit Zapfstellen ist noch nicht gewährleistet.

8.4.2 Kernfusion

Alle Energieprobleme der Erde wären gelöst, wenn es gelänge, die Prozesse nachzuahmen, die im Inneren der Sterne, also auch im Plasma der Sonne ablaufen: Dort verschmelzen bei ca. 15 Mill. °C über verschiedene **Zwischenschritte** ständig **Kerne von Wasserstoffatomen** zu **Helium**.

Eigentlich verhindern die Abstoßungskräfte der geladenen Protonen im Atomkern eine **Verschmelzung**. Bei sehr **hohen Temperaturen** bewegen sich die Kernteilchen allerdings mit so hoher Geschwindigkeit, dass sie sich dadurch sehr nahe kommen. Dabei wirken Kräfte, die Physiker die **starke Wechselwirkung** nennen und mit der die eigentliche Abstoßung überwunden wird.

Der Grund, warum bei diesem Vorgang Energie frei wird, liegt in dem so genannten **Massedefekt** begründet: Die bei der Reaktion beteiligten Wasserstoffatome sind zusammen um etwa ein Prozent schwerer als das Heliumatom. Es bleibt demnach bei jeder Kernfusion etwas Masse übrig. Diese verwandelt sich in Energie. Wie Einstein es in der berühmten Formel $E = mc^2$ zum Ausdruck gebracht hat, wird die verlorene Masse in Energie umgesetzt.

Bedingungen für eine künstliche Kernfusion

Während man mit Wasserstoffbomben bereits einen Weg gefunden hat, die leider zerstörerischen Energien freizusetzen, ist man bei der „friedlichen“, weil kontrollierten Kernfusion bis heute noch im Forschungsstadium. Die verschiedensten Probleme sind noch nicht gelöst, zum Beispiel das Temperaturproblem.

Bei der künstlichen Kernfusion bringt man Wasserstoffatome dazu, miteinander zu verschmelzen. Um den Prozess zu beschleunigen verwendet man die **Wasserstoffisotope Deuterium und Tritium** (Isotope sind Atome unterschiedlicher Masse). Die Kerne verschmelzen zu einem Heliumkern, wobei ein Neutron freigesetzt wird (s. Abb. Xx). Beide Reaktionsprodukte besitzen eine hohe **Bewegungsenergie**. Der Heliumkern heizt über Teilchenstöße das Plasma auf, das Neutron kann seine Bewegungsenergie an der Reaktorwand in Form von Wärme abgeben.

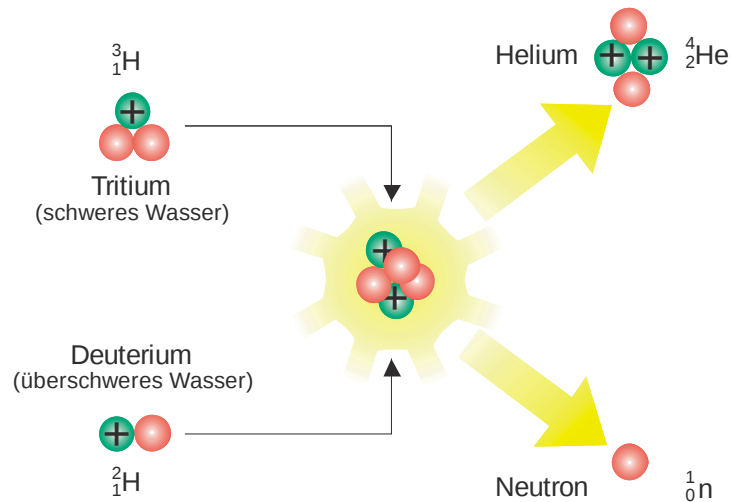


Abb. xx: Prinzip der Kernfusion

Allerdings sind die Temperaturen, die in der Sonne zu der Reaktion führen, für eine Verschmelzung in einem Reaktor zu niedrig. Bei einer kontrollierten Kernfusion will man schnell zu Ergebnissen kommen. Dazu braucht man weitaus höhere Temperaturen, etwa 100 Mill. °C. Technisch lassen sich solche Temperaturen erreichen, aber kein Material kann das aushalten. Das Plasma muss daher über elektromagnetische Kräfte in der Schwebe gehalten werden. Dabei ist es sehr empfindlich, bei der geringsten Störung bricht es zusammen.

Forschungsprojekte Fusionsreaktoren

Zu Forschungszwecken wurden bisher zwei verschiedene **Fusionsreaktor-Typen** entwickelt: Der Stellerator und der Tokamak. Beide funktionieren nach dem gleichen Prinzip: Magnetspulen bilden einen Käfig aus Magnetfeldern um das Plasma, um es so in einer stabilen Form zu halten. Beim Tokamak wird auch im Inneren des Plasmas Strom angelegt. Das ist zwar aufwändiger, gibt dem Plasma jedoch mehr Stabilität. Im Max-Planck-Institut in Garching bei München wird seit 1990 am Reaktor "Tokamak ASDEX Upgrade" geforscht. Inzwischen gelingt es, bei Temperaturen bis zu 400 Millionen Grad Celsius das Plasma zum Brennen zu bringen und in Form zu halten. Doch das große Ziel ist noch nicht erreicht: ein selbstständig brennendes Plasma zu erreichen. Der vom Max-Planck-Institut errichtete Forschungsreaktor Wendelstein 7-X in Greifswald arbeitet nach dem Stellerator-Prinzip. Das Magnetfeld wird hier vollständig von äußeren stromdurchflossenen Spulen erzeugt. Im südfranzösischen Cadarache soll 2018 der von der EU und Vertretern sechs weiterer Staaten finanzierte Kernfusionsreaktor ITER in Betrieb genommen werden. Auch dabei handelt es sich um einen Forschungsreaktor, der Wissenschaftlern, Ingenieuren und Technikern die Möglichkeit geben soll, das Potenzial der Kernfusion unter realistischen Bedingungen zu testen.

8.4.3 Treibstoff aus Algen

Während der Anbau von Energiepflanzen und der damit erzeugte Biosprit aufgrund der Konkurrenz mit der Nahrungsmittelproduktion mittlerweile kritisch betrachtet wird, hat eine andere pflanzliche Produktion durchaus das Zeug dazu, in der Zukunft einen Beitrag zur Energiesicherheit zu leisten. Die Rede ist von **Biosprit aus Algen**. Was man dazu braucht ist Sonne, Salzwasser, Dünger und Kohlendioxid.

Die Gewinnung von Biosprit auf diese Weise hat verschiedene Vorteile: Dadurch dass die Algen bei der Photosynthese so viel CO₂ binden, wie sie später beim Verbrennen freisetzen, sind sie klimaneutral. Auch der Flächenverbrauch kann sich im Vergleich sehen lassen: Auf einem Hektar sonniger Wüstenfläche gewinnt man in einem Algenbecken nach einem Jahr achtmal so viel Biosprit wie ein Bauer mit Mais. Andererseits: Um Kraftstoff in größeren Mengen herzustellen, braucht man viele Becken, hat also wieder einen hohen Flächenverbrauch. Zudem benötigen die Pflanzen erhebliche Mengen an CO₂. Die können eigentlich nur aus naheliegenden Kraftwerken kommen. Ein weiteres Problem ist zudem der erforderliche Dünger.

Den Vorgang der Biospritzgewinnung durch Algen zeigt das nachfolgende Schaubild.

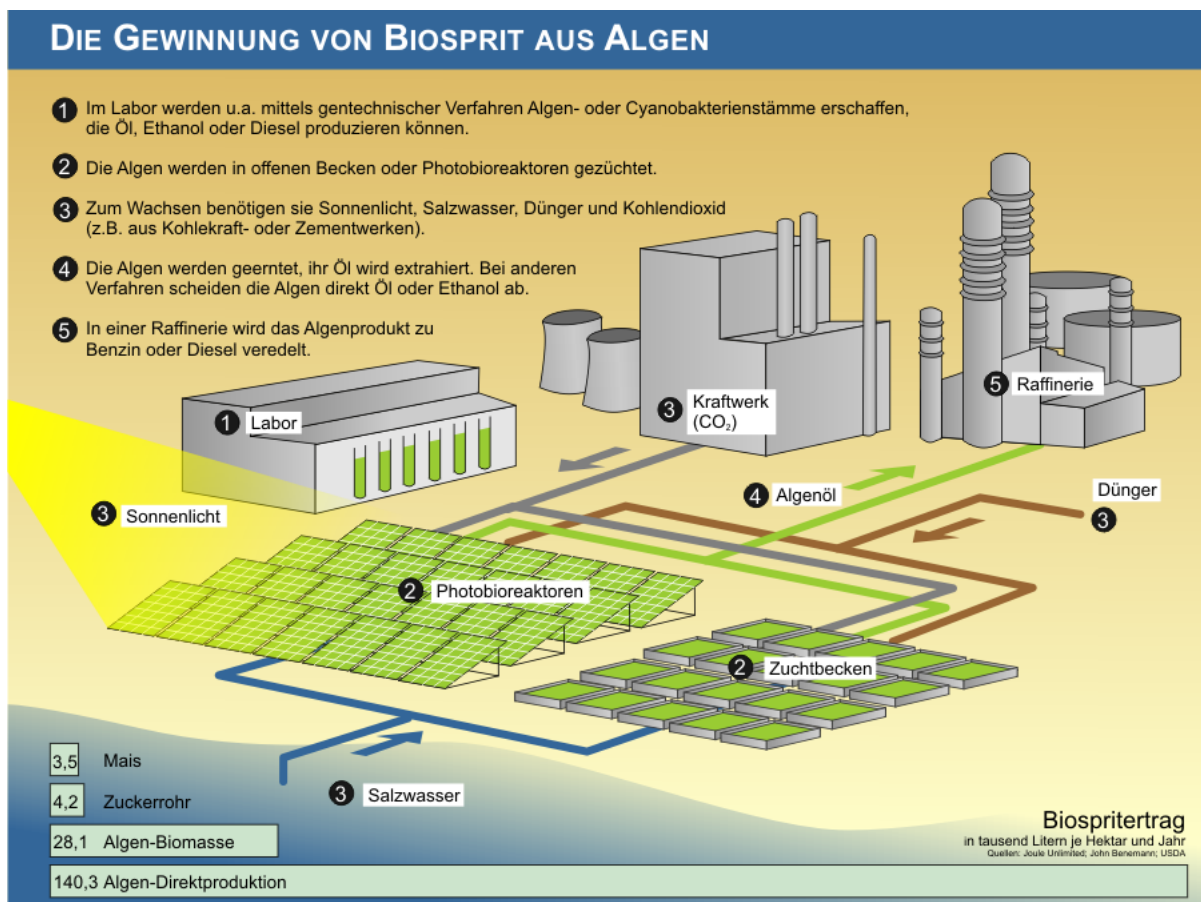


Abb. Xx: Biospit aus Algen

9. Aspekte der Produktionstechnik

Welche Rolle spielen Informations- und Kommunikationstechniken bei der Produktion von Gütern? Was bedeuten Digitalisierung, Digitale Fabrik oder Industrie 4.0 für den Produktionsbereich und für die Arbeitsplätze dort? Welche Trends gibt es in der Produktionstechnik? Welche Chancen und Risiken eröffnet die Technik in der Arbeitswelt?

9. Aspekte der Produktionstechnik	1
Abstract	1
9.1. Digitalisierung der Produktentstehung – CAX-Techniken	3
9.1.1 CAD (Rechnerunterstütztes Konstruieren).....	4
9.1.2 CAP (Rechnerunterstützte Arbeitsplanung)	6
9.1.3 CAM (Rechnerunterstütztes Fertigen)	7
9.1.4 CAQ (Rechnerunterstützte Qualitätssicherung).....	9
9.1.5 PPS (Produktionsplanung und –steuerung).....	9
9.1.6 CIM (Rechnerintegrierte Produktherstellung)	10
9.2. Von der digitalen Fabrik zur Industrie 4.0	10
9.2.1 Virtualisierung des Produktentstehungsprozesses – die digitale Fabrik.....	10
9.2.2 Digitalisierung der Daten – Datenmanagement.....	12
9.2.3 Digitale Produktion und Datenaustausch mit fertigen Produkten - Industrie 4.0	13
9.3 Neue Produktionsverfahren	14
9.3.1 3D-Druck.....	14
9.3.2 Raus aus dem Käfig – Roboter und Mensch im Verbund	16

Abstract

In Lerneinheit 7 wurden die Phasen der Produktentstehung beschrieben. Dabei wurde gezeigt, welche Bedeutung der Technik bei den dispositiven Arbeiten rund um das Produkt und bei den direkten Arbeiten am Produkt zukommt. In dieser Lerneinheit liegt der Fokus vor allem auf der Digitalisierung der Produktentstehung sowie auf neuen Produktionsverfahren.

*Die **Entwicklungen in der Informations- und Kommunikationstechnik** lassen kaum einen Geschäfts- oder Arbeitsprozess im Unternehmen unberührt. Die **Digitalisierung** soll dabei helfen, **Entwicklungs- und Durchlaufzeiten zu verkürzen** und **Kunden schnell**, zielgruppenspezifisch und kostenoptimiert zu*

bedienen. Außerdem eröffnen sich **neue Geschäftsfelder.** Bei der Integration der Informations- und Kommunikationstechnik in den Bereich der Produktion lassen sich **verschiedene Entwicklungsschritte** bzw. Leitideen voneinander abgrenzen: Die Digitalisierung der Produktentstehung, die Idee der „Digitalen Fabrik“ und neuerdings das Konzept der „Industrie 4.0“:

Die **Digitalisierung** führte in den verschiedenen Phasen der Produktentstehung zu einer Unterstützung dispositiver und kreativer Tätigkeiten durch Computer. Die **rechnerintegrierte Produktion** lässt sich daher untergliedern in die rechnerunterstützte Konstruktion und Entwicklung (**CAD und CAE**), die rechnerunterstützte Arbeitsplanung (**CAP**), die rechnerunterstützte Fertigung (**CAM**) und die rechnerunterstützte Qualitätssicherung (**CAQ**). Die entsprechenden Anwendungen fokussieren vor allem die technische Seite der Produktentstehung. Die eher betriebswirtschaftlich ausgerichteten **PPS-Systeme** dienen der Planung, Steuerung und Überwachung der Produktionsabläufe von der Angebotsbearbeitung bis zum Versand unter Mengen-, Termin- und Kapazitätsaspekten.

Der Einsatz von integrierten DV-Systemen in allen mit der Produktherstellung direkt befassten Unternehmensbereichen wird mit **CIM** (Computer Integrated Manufacturing) bezeichnet. Grundlage für CIM-Konzepte ist die Absicht, eine informationstechnische Vernetzung der technischen und organisatorischen Funktionen einzelner Bereiche zu erreichen. CIM umfasst daher das Zusammenwirken von CAD, CAP, CAM, CAQ und PPS.

Eine **virtuelle Modellierung** ist nicht nur für Produkte zweckmäßig, sondern auch für die bei der Fertigung oder Montage eingesetzten Arbeitsprozesse und Betriebsmittel. Durch virtuelle Probeläufe oder eine virtuelle Inbetriebnahme von Betriebsmitteln können nämlich **Planungsprozesse verkürzt** und die **Qualität der Produktion** insgesamt verbessert werden. Zudem kann die Digitalisierung zu einer verbesserten Kommunikation mit Kunden oder Geschäftspartnern beitragen. Die durchgängige Virtualisierung von Produkten, Betriebsmitteln oder Geschäfts- und Arbeitsprozessen ist mit der Chiffre „Digitale Fabrik“ belegt.

Die Integration der verschiedenen Daten vom Entwurf eines Produktes über die Herstellung bis hin zum Versand in ein einheitliches System ist eine wesentliche Voraussetzung für die koordinierte Bearbeitung von Aufgaben im gesamten Produktentstehungsprozess. Die Grundlage für ein effizientes Datenmanagement bildet eine gut strukturierte Ablage und Dokumentation von Arbeitsprozessen und Arbeitsergebnissen. Im Sinne eines solchen **Datenmanagements** arbeiten heute viele Firmen mit so genannten **Product Data Management (PDM)** oder **Engineering Data Management Systemen (EDM)**.

Die nächste Stufe der digitalen Produktion wird derzeit unter dem Stichwort **Industrie 4.0** diskutiert. Hinter dem Begriff verbergen sich etliche Neuerungen. Ein wichtiges Kennzeichen dieser Art der Industrieproduktion ist die **Individualisierung der Produkte** durch die Ausstattung mit QR-Codes, RFID-Chips oder Rechenkapazitäten. Dies erlaubt eine **Kommunikation von Maschinen und Produkten** und verspricht eine weitere Flexibilisierung der Produktion, weil nun das Produkt der Maschine sagen kann, wie es zu bearbeiten ist. Außerdem können Daten aus der Nutzungsphase eines Produktes wieder in die Produktion zurückgespiegelt werden und dabei helfen, die **Qualitätssicherung** zu verbessern. Eine solche hoch flexibilisierte Produktion macht außerdem eine **frühzeitige Einbeziehung von Kunden und Geschäftspartnern in Design und Wertschöpfungsprozesse** möglich. So ist es durchaus denkbar, dass sich – ähnlich wie heute bereits mit Müsli, Kleidung oder anderen weniger aufwändigen Produkten möglich – in Zukunft auch komplexere Produkte, wie Automobile oder Möbel, am Tablet-Computer auswählen und konfigurieren lassen. Eine weitere Neuerung des Konzepts Industrie 4.0 stellt die **Kopplung von Produktion und hochwertigen Dienstleistungen** dar. Eine solche Verknüpfung von Produkten und Dienstleistungen (**Smart Services**) ergibt sich beispielsweise, wenn eine Maschine im Betriebszustand Meldungen über notwendige Reparaturen an einen Vertragspartner sendet.

Auch bei den Fertigungsverfahren gibt es Neuerungen: Bis vor kurzem wurden die verschiedenen Arten des 3D-Drucks als reine Rapid Prototyping-Verfahren betrachtet, also als Verfahren zur schnellen Herstellung von Modellen, Formen und Werkzeugen im Vorfeld der eigentlichen Produktion. Generell besitzen diese Verfahren jedoch auch das Potenzial für eine Serienfertigung. Aus **Rapid Prototyping** wird so **Rapid Manufacturing** und zwar ohne komplizierte Produktionsprozesse oder großen Maschinenpark.

Ein weiterer Trend in der Produktion ist, dass Mensch und Maschinen in der Produktion immer enger zusammenrücken. Ein direktes **Zusammenwirken** verhinderte bisher allerdings die eingeschränkte Arbeitssicherheit. Das soll in Zukunft anders werden. Damit Mensch und Roboter zusammen arbeiten können, werden **Kollisionsvermeidungssysteme** eingesetzt. Dabei definieren Laserscanner, Laserschranken oder Sensoren virtuelle Grenzen. Erst wenn der Mensch diese überschreitet, wird die Maschine abgeschaltet.

Produktentstehungsprozess	Digitale Fabrik
Digitalisierung der Produktion	Koppelung virtueller Prozesse mit realen Ablägen oder Maschinen
Rechnerintegrierte Produktion	Datenmanagement, Product Data Management (PDM)
CAX-Techniken	Industrie 4.0
Rechnerunterstützte Konstruktion (CAD)	Kommunikation von Maschinen und Produkten
Technische Kommunikation	Qualitätssicherung
Rechnergestützte Simulation und Analyse von Produkten	Frühzeitige Einbeziehung von Kunden und Geschäftspartnern in Design und Wertschöpfungsprozesse
Bewegungssimulation	Kopplung von Produktion und hochwertigen Dienstleistungen
Rechnerunterstützte Entwicklung (CAE)	Rapid Prototyping
Rechnerunterstützte Arbeitsplanung (CAP)	3D-Druck
Rechnerunterstützte Fertigung (CAM)	Rapid Manufacturing
CNC- Maschinen (Computerized Numerical Control)	Kollisionsvermeidungssysteme für die Zusammenarbeit von Mensch und Roboter
Roboterprogrammierung: online, offline oder intuitiv	
Rechnerunterstützte Qualitätssicherung (CAQ)	

9.1. Digitalisierung der Produktentstehung – CAX-Techniken

Der **Produktentstehungsprozess** in Unternehmen umfasst verschiedene betriebliche Abläufe in den Bereichen Entwicklung und Konstruktion, Arbeitsplanung, Fertigung, Montage und Qualitätssicherung. In allen diesen Bereichen verrichten die Beschäftigten entweder kreative oder dispositive, also

planende oder steuernde Tätigkeiten. Dabei werden sie heute durch eine Vielzahl von **Computeranwendungen** unterstützt. Mit ihnen lassen sich textuelle, kaufmännische, organisationelle sowie geometrische bzw. konstruktions- oder fertigungsbezogene Daten generieren und verarbeiten.

Die Entwicklungen in der Informations- und Kommunikationstechnik lassen kaum einen Geschäfts- oder Arbeitsprozess im Unternehmen unberührt. Die Digitalisierung soll dabei helfen, Entwicklungs- und Durchlaufzeiten zu verkürzen und Kunden schnell, zielgruppenspezifisch und kostenoptimiert zu bedienen.

Eine koordinierte Bearbeitung von Aufgaben im gesamten Produktentstehungsprozess setzt eine Integration der verschiedenen Daten in ein einheitliches System voraus. Geliefert werden die Daten aus verschiedenen Teilsystemen. Eine solche rechnerintegrierte Produktion lässt sich untergliedern in

- die rechnerunterstützte Konstruktion und Entwicklung (CAD und CAE),
- die rechnerunterstützte Arbeitsplanung (CAP), die rechnerunterstützte Fertigung (CAM) und
- die rechnerunterstützte Qualitätssicherung (CAQ) (vgl. Czichos/ Hennecke 2012, S. L53).

Durch das Zusammenwirken der einzelnen Systeme entsteht eine CAx-Prozesskette, die in Abb. xx dargestellt ist und deren einzelne Technologien nachfolgend näher erläutert werden sollen.

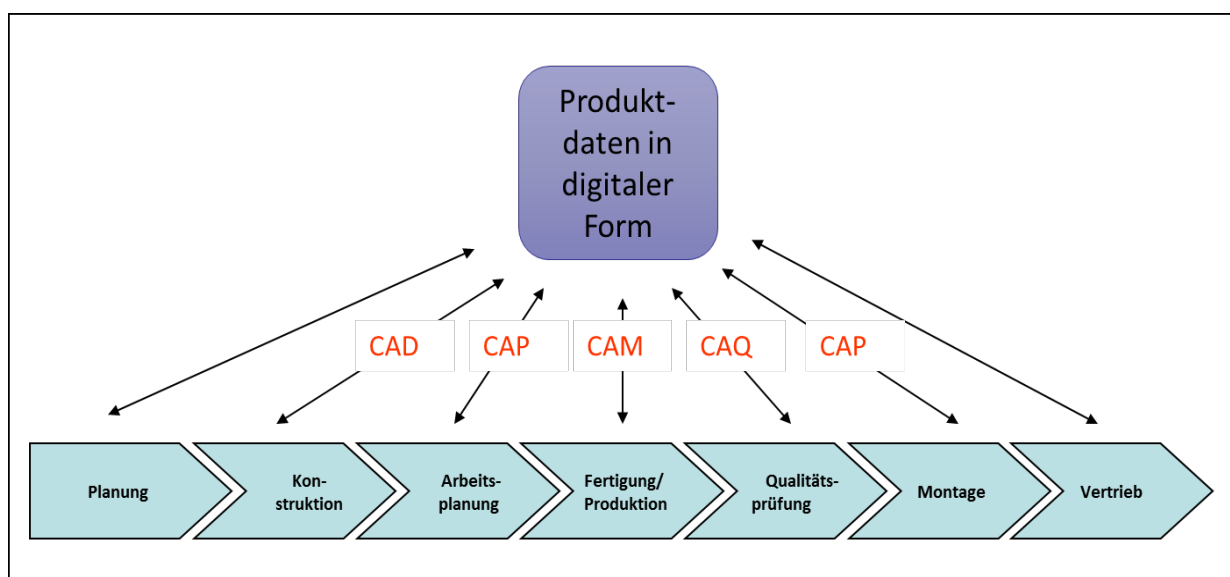


Abb. 1 CAx-Prozesskette

9.1.1 CAD (Rechnerunterstütztes Konstruieren)

Datenverarbeitungs-Systeme, die bei der Entwicklung und Konstruktion eines Produktes einschließlich der zugehörigen technischen Berechnungen zum Einsatz kommen, werden als **CAD-Systeme (Computer Aided Design)** bezeichnet. Mit diesen Anwendungen werden zunächst virtuelle, also nur als Datenmodelle im Rechner existierende Bauteile erzeugt (s. Abb. Xx). Die dabei generierten Daten lassen sich unterschiedlich nutzen.

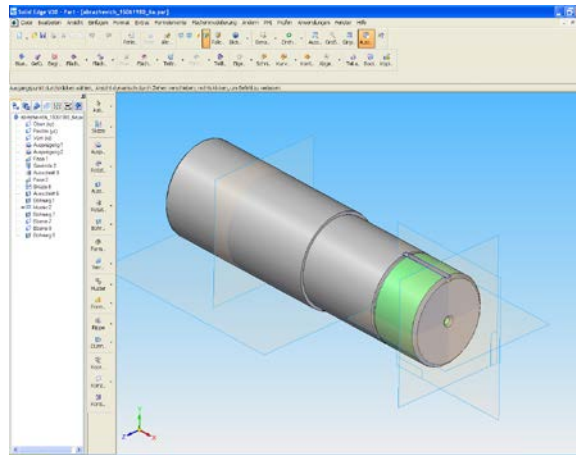


Abb. xx: Modellierung eines Werkstücks in einem CAD-Programm

Computerunterstütztes Zeichnen (CAD) – Teil der technischen Kommunikation

Die Zeichnungserstellung mit CAD-Systemen ist ein Teilbereich der technischen Kommunikation. Die **technische Kommunikation** umfasst einerseits alle unternehmensinternen Informations- und Kommunikationsprozesse bei der Produktentstehung, andererseits aber auch solche Informations- und Kommunikationsprozesse, die im weiteren Verlauf der Produktnutzung anfallen.

Technische Zeichnungen werden also nicht nur als **Fertigungsunterlagen** verwendet, sondern sind Bestandteile unterschiedlichster Unterlagen wie **Bedienungsanleitungen, Wartungs- oder Reparaturhandbücher, Schulungsunterlagen oder Produktkataloge**.

Bis in die 60er Jahre des letzten Jahrhunderts wurde von Hand gezeichnet, zuletzt mit Tusche oder Bleistift auf Transparentpapier. Mit dem Aufkommen von **2D-CAD-Systemen** wurde die Zeichnungserstellung auf den Computer verlagert. Allerdings musste weiterhin jede Ansicht eines Objekts einzeln gezeichnet werden, während das räumliche Modell nur im Kopf des Konstrukteurs existierte. Dies änderte sich schlagartig mit dem Aufkommen der **3D-CAD-Systeme**. Mit ihnen ist es möglich, dreidimensionale Datenmodelle zu erzeugen. Aus dem dreidimensionalen Modell lassen sich dann die benötigten Ansichten für die technische Zeichnung ableiten und ausgeben.

Simulationen und Berechnungen

Mit den einmal im Rechner erstellten Datenmodellen lassen sich allerdings nicht nur **Zeichnungen** generieren sondern auch **Simulationen** erstellen oder chemisch, physikalisch-technische **Berechnungen** durchführen.

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit von CAD-Systemen ist beispielsweise die **Bewegungssimulation** zusammengefüger Bauteile, mit der sich die Funktionsfähigkeit eines Systems überprüfen lässt (s. Abb. Xx).

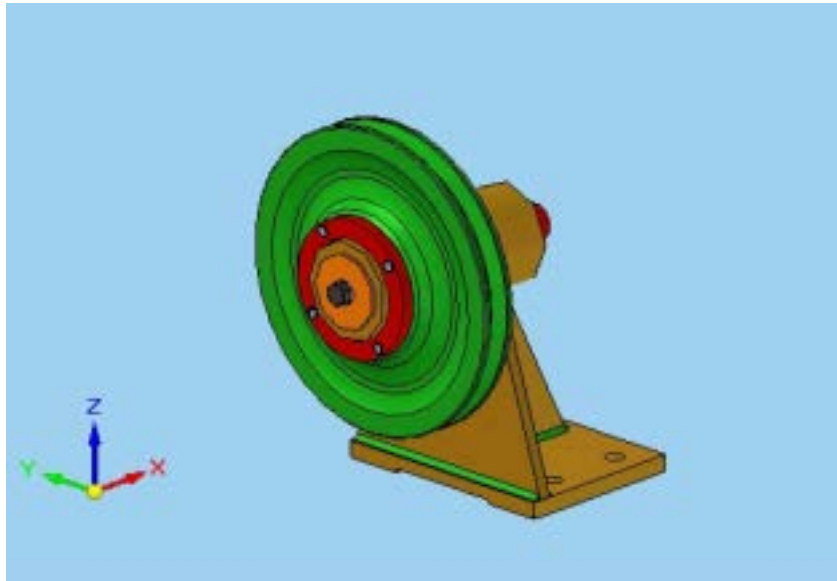


Abb. xx: Animation einer Seilrolle

Bedingt durch die immer leistungsfähigeren Rechner, ist es heute sogar möglich, die mittels CAD modellierten technischen Bauteile und Systeme **virtuell zu untersuchen**. Über zerstörungsfreie Tests an dem (virtuellen) Produkt können so Aussagen hinsichtlich der geplanten Fertigungsverfahren oder des späteren Gebrauchs gemacht werden. Derartige Tests bzw. Berechnungen können entweder durch in CAD-Systeme integrierte Programmteile durchgeführt werden oder es kommen eigene **CAE-Systeme (Computer Aided Engineering)** zur Anwendung.

Die Palette der Einsatzbereiche solcher Untersuchungen erstreckt sich von statischen und dynamischen Festigkeitsanalysen über Betrachtungen zur Strömungsmechanik, chemischen Reaktionen, Wärme und Stofftransport oder elektronischen Faktoren.

9.1.2 CAP (Rechnerunterstützte Arbeitsplanung)

Die Aufgabe der Produktionsvorbereitung oder Arbeitsplanung ist es, anhand von Arbeitsplänen, technischen Zeichnungen, Materialbeschreibungen, Konstruktionsdaten usw. den technischen Fertigungsablauf der Werkstücke vom Roh- zum Endzustand in detaillierter Form festzulegen. Dabei kommen Systeme zum Einsatz, die auf die bei der Konstruktion generierten Daten zurückgreifen. Der Einsatz von Programmen zur computergestützten Arbeitsplanung wird mit **CAP (Computer Aided Planning)** bezeichnet. Folgende Aufgaben werden hierbei unterstützt: Die Planung der Arbeitsvorgänge und deren Reihenfolge, die Auswahl geeigneter Verfahren und Betriebsmittel zur Erzeugung der Produkte sowie die rechnerunterstützte Erstellung von Daten für die Steuerung von Betriebsmitteln.

Die Programmierung von Werkzeugmaschinen und Robotern kann ebenfalls unter Verwendung der CAD-Datenmodelle erfolgen, es entfällt in diesem Fall also die erneute Beschreibung der Objektgeometrie für eine Maschine. Rechnergestützte Systeme für die Arbeitsplanung erlauben es zudem, Arbeitsabläufe virtuell zu definieren und damit vor ihrer realen Umsetzung zu simulieren (s. Abb. xx).

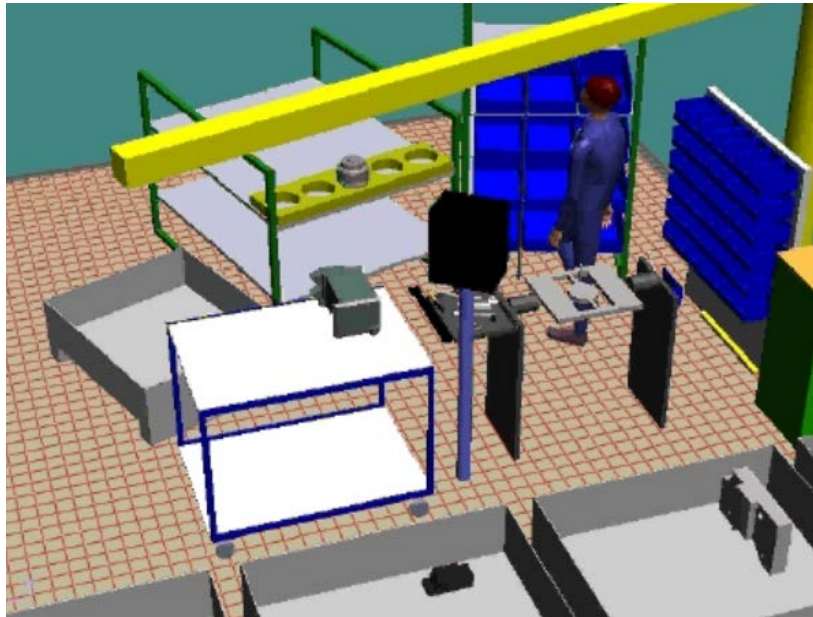


Abb. xx: Wenn Sie das Bild anklicken, sehen Sie die Simulation eines Montagevorganges als Grundlage für die Planung eines Arbeitsplatzes

9.1.3 CAM (Rechnerunterstütztes Fertigen)

Der Einsatz von DV-Systemen zur **technischen Steuerung und Überwachung der Betriebsmittel** bei der Herstellung von Bauteilen und Baugruppen im Fertigungsprozess wird mit **CAM (Computer Aided Manufacturing)** bezeichnet. Typische Funktionen der technischen Steuerung und Überwachung sind das Fertigen, Handhaben, Transportieren und Lagern der Bauteile. **CAM** bezieht sich daher auf die direkte Steuerung von Arbeitsmaschinen, Handhabungsgeräten sowie Transport- und Lagersystemen und umfasst alle computergestützten Fertigungsverfahren (NC-gesteuerte Maschinen) sowie die Systeme der innerbetrieblichen Logistik.

NC-gesteuerte Werkzeugmaschinen

Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen gibt es seit Mitte der 60er Jahre. Sie führen sämtliche Arbeitsgänge ohne Eingriff des Maschinenbedieners aus und übernehmen hauptsächlich Bearbeitungsvorgänge wie Bohren, Drehen, Fräsen und Schleifen. Früher musste jede Maschine in einer eigenen Maschinensprache programmiert werden. Die Eingabe erfolgte indirekt über Lochstreifen. Im Gegensatz dazu lassen sich CNC- Maschinen (**Computerized Numerical Control**) mit Hilfe von Makro-Sprachen steuern, wobei die Programmierung entweder unmittelbar an der Maschine oder über ein Simulationsprogramm erfolgt. Auch die Steuerung von Robotern zählt zum **Computer Aided Manufacturing**.



Abb. xx: CNC-Drehmaschine



Abb. xx: CNC-Fräsmaschine

Logistiksysteme

Damit Bau- und Maschinenteile an Bearbeitungsstationen gefertigt werden können, müssen sie erst dorthin transportiert werden, auch das lässt sich heute computergestützt einrichten. Wichtige Systeme der innerbetrieblichen Logistik in diesem Zusammenhang sind Materialflusssysteme, flexible Fertigungszellen und Fertigungssysteme.

Materialflusssysteme werden für die Steuerung betriebliche Lager, z.B. Senkrechtförderer in Hochregallagern und für den innerbetrieblichen Transport über Transport- und Förderbänder oder fahrerlose Transportkarren, benötigt.

Flexible Fertigungszellen fassen mehrere Werkzeugmaschinen einschließlich der Materialhandhabungssysteme zum Be- und Entladen mit Werkstücken zusammen, so dass sich an einem Werkstück ohne manuelle Eingriffe nacheinander mehrere Arbeitsgänge, z.B. Bohren, Drehen, Fräsen, ausführen lassen.

Als **flexibles Fertigungssystem** (FFS) bezeichnet man ein computergestütztes Gesamtsystem für mehrere aufeinander folgende Arbeitsgänge, in dem Werkzeugmaschinen mit Werkzeugmagazinen und Materialhandhabungseinrichtungen integriert sind.

Roboterplanung

Um Roboter effektiv in Arbeitsprozesse und Abläufe zu integrieren, ist zum einen eine Planung des Zusammenspiels mit anderen Produktionsmitteln wie Materialflusssystemen oder flexiblen Fertigungszellen erforderlich. Zum anderen müssen die **Programme für den Roboter** selbst erstellt werden. Festzulegen bzw. zu berücksichtigen sind dabei die **Kinematik** (also die Bewegung im Raum), die **Abläufe**, mögliche **Kollisionen** und **Bewegungsgeschwindigkeiten**. Für die Festlegung der Bewegung im Raum existieren verschiedene Verfahren: Entweder wird der Roboter per Hand „gefahren“ und bestimmte Raumpunkte dann per Knopfdruck aufgenommen (Online) oder die Programmierung erfolgt in einer Simulationsumgebung (Offline).

Auch eine Programmierung über intuitive Methoden, wie das Vormachen oder Hinführen, sind mittlerweile möglich.

9.1.4 CAQ (Rechnerunterstützte Qualitätssicherung)

Der Einsatz von DV-Systemen für die Planung und Durchführung der Qualitätssicherung wird mit **CAQ (Computer Aided Quality Assurance)** bezeichnet. Die Qualitätssicherung ist ein für den gesamten Lebensweg eines Produktes wichtiger Aspekt. Fragen der Qualitätssicherung und -prüfung begleiten den gesamten Materialfluss, beginnend mit der Eingangsprüfung der Materialien, der Qualitätsprüfung des Fertigungsprozesses, bis hin zur Endkontrolle für fertig gestellte Enderzeugnisse.

Die Anwendung von CAQ umfasst sowohl die Erstellung von Prüfplänen, Prüfprogrammen sowie Kontrollwerten und deren Überwachung mit den zur Durchführung benötigten **rechnerunterstützten Mess- und Prüfverfahren**.

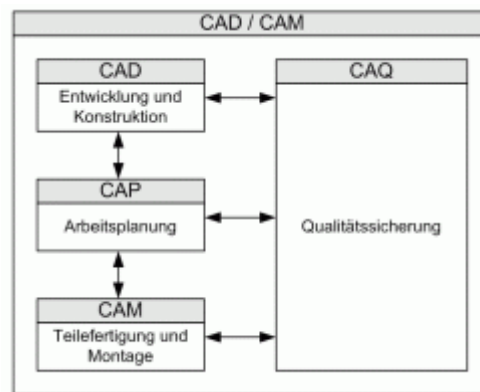


Abb. xx: Zuordnung und Informationsaustausch der CAx-Prozesse

9.1.5 PPS (Produktionsplanung und –steuerung)

Während CAP-Systeme zur Produktionsvorbereitung oder Arbeitsplanung überwiegend allein den technischen Ablauf der Produktion im Blick haben, liegt der Fokus von **PPS-Systemen (Produktionsplanung und –steuerung)** eher auf dem betriebswirtschaftlichen Aspekt. PPS-Systeme dienen der Planung, Steuerung und Überwachung der Produktionsabläufe von der Angebotsbearbeitung bis zum Versand unter Mengen-, Termin- und Kapazitätsaspekten.

Um diese Aufgaben zu erfüllen, halten PPS-Systeme eine Fülle von Produktdaten vor, zum Beispiel die allgemeinen Stammdaten, die Spezifikationen und Beschreibung der Herstellung, Zeichnungen und Modelldaten, Stücklisten, Arbeitspläne, Prüfanweisungen, Abnahmedokumente und Verfahrensangaben.

Liegen diese Daten in geeigneten Formaten vor und sind die Schnittstellen angepasst, können sie wieder mit anderen CAx-Systemen ausgetauscht werden. Ein Beispiel dafür ist, wenn bei einer Variantenkonstruktion die in einem PPS-System abgelegten Stücklisten für die Verwendung in einem CAD-System herangezogen werden.

9.1.6 CIM (Rechnerintegrierte Produktherstellung)

Der Einsatz von integrierten DV-Systemen in allen mit der Produktherstellung direkt befassten Unternehmensbereichen wird mit **CIM (Computer Integrated Manufacturing)** bezeichnet. Grundlage für CIM-Konzepte ist die Absicht, eine informationstechnische Vernetzung der technischen und organisatorischen Funktionen einzelner Bereiche zu erreichen. CIM umfasst daher das Zusammenwirken von CAD, CAP, CAM, CAQ und PPS.

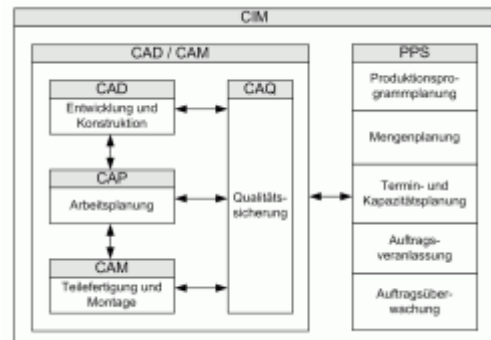


Abb. xx Übersicht von CIM

9.2. Von der digitalen Fabrik zur Industrie 4.0

Neben die **Digitalisierung** einzelner Phasen **der Produktentstehung** mit der Generierung, Verarbeitung und Speicherung produktionsbezogener Daten treten als weiterer Entwicklungsschritte das **Konzept der „Digitalen Fabrik“** und neuerdings das der **„Industrie 4.0“**.

9.2.1 Virtualisierung des Produktentstehungsprozesses – die digitale Fabrik

Eine virtuelle Modellierung ist nicht nur für das Produkt selbst zweckmäßig, sondern auch für die bei der Fertigung oder Montage eingesetzten **Arbeitsprozesse und Betriebsmittel**. Am Beispiel der computergestützten Arbeitsplanung CAP oder der computergestützten Fertigung wurde bereits gezeigt, dass eine vorausgehende Simulation der Arbeitsabläufe zu ergonomischen Verbesserungen oder zur Minimierung der Durchlaufzeiten am realen Arbeitsplatz beitragen kann. Eine solche Virtualisierung von Produkten, Betriebsmitteln oder Geschäfts- und Arbeitsprozessen ist mit der Chiffre „Digitale Fabrik“ belegt (vgl. Zäh 2003, Reinhart 2002 b). Der Ausdruck umfasst einerseits das digitale Modell einer Fabrik, mit dessen Hilfe eine zielgerichtete Planung, Steuerung und Bewertung der Betriebsmittel und Personalkapazitäten möglich wird. Andererseits meint man damit aber auch das integrative Zusammenwachsen der Datenverarbeitungssysteme und des prozessorientierten Datenmanagements auf der Grundlage einer einheitlichen Datenbasis. Hauptziele des Konzepts der „Digitalen Fabrik“ sind:

- Die Planungsprozesse zu beschleunigen (Verkürzung von "Time-to-Market") und Kosten optimieren.
- Die Planungsqualität zu verbessern.
- Die Produkt- und Prozesskomplexität kontrollierbar zu machen.
- Eine Verbesserung der Kommunikation zwischen Projektpartnern und Beteiligten innerhalb der Produktentstehungsphasen zu erreichen.
- Eine durchgehende Visualisierung der Wertschöpfungsprozesse.

Das nachfolgende Bild zeigt einen Ausschnitt aus der Simulation einer Automobilfabrik. Mit einer solchen Simulation lassen sich Arbeitsmethoden, Prozesse und Betriebsmitteleinsatz vorausplanen (s. Abb. xx).



Abb. xx: Fabrikplanung: Simulation einer Produktionsabschnittes in der Automobilfertigung,

Eine weitere Ausweitung der digitalen Möglichkeiten bietet die Koppelung virtueller Prozesse mit realen Anlagen oder Maschinen. Ziel eines solchen **virtuellen Probelaufs** oder **einer virtuellen Inbetriebnahme** ist die frühzeitige Identifizierung von Fehlerquellen. Zur Anwendung kommen diese Technologien vor allem in Fertigungsunternehmen, die mit komplexen Produkten und Prozessen zu tun haben. Hierzu zählen vor allem Betriebe aus der Fahrzeugindustrie, der Flugzeugindustrie, dem Anlagen- und Maschinenbau oder aber auch der Elektroindustrie.

9.2.2 Digitalisierung der Daten – Datenmanagement

Alle Prozesse in einem Unternehmen sind darauf ausgerichtet, dass die Arbeit effizient vollzogen werden kann. Das bedeutet, dass mit möglichst wenig Aufwand ein hoher Gewinn erwirtschaftet werden soll. Diesem Ziel dient letztlich auch das **Datenmanagement**. Ein Beispiel ist die Wiederverwendung von einmal erstellten Daten, z.B. für Gleichteile, Änderungs- oder Variantenkonstruktionen, etc.).

Die Grundlage für ein effizientes Datenmanagement bildet eine gut strukturierte Ablage und Dokumentation von Arbeitsprozessen und Arbeitsergebnissen und deren Austauschfähigkeit. Dies stellen heute oftmals Datenmanagementsysteme sicher.

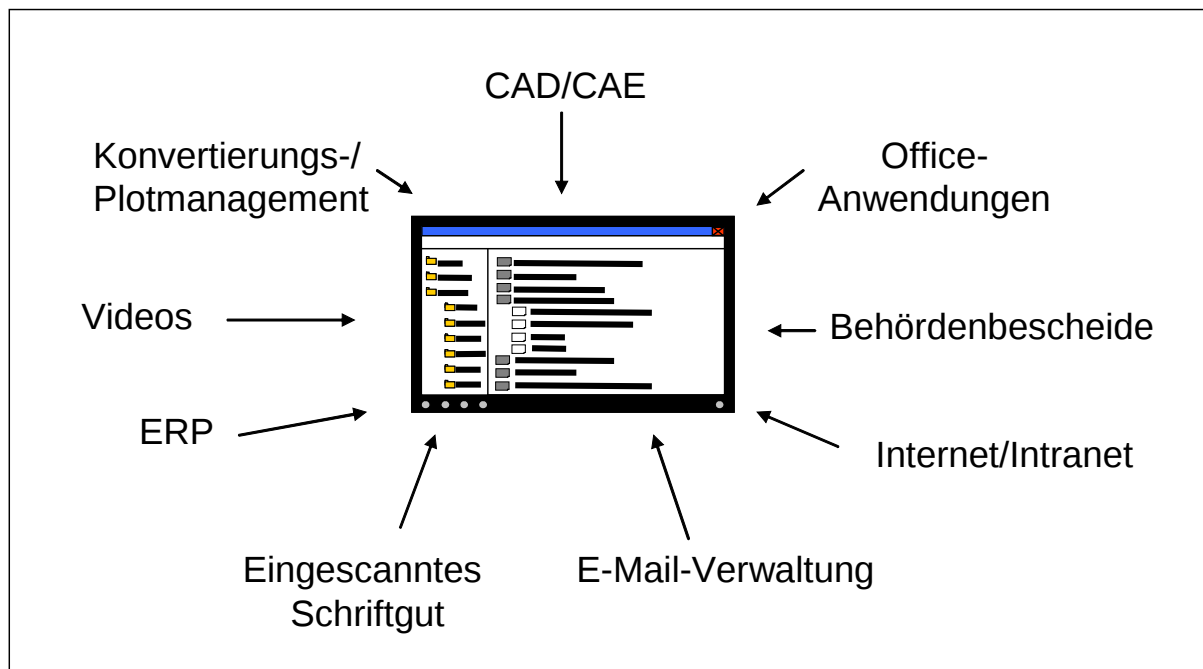


Abb. 1: Dokumentenmanagement – Kopplungen

Die Vorteile der digitalen Archivierung liegen auf der Hand: Weniger Platzbedarf, weniger Papier und schneller Zugriff. Andererseits benötigt man für die digitale Archivierung geeignete Geräte und Programme. Außerdem müssen die Datenbestände ständig gepflegt werden, um sie aktuell zu halten und vor Datenverlust zu schützen.

Im Sinne einer solchen Datenbasis arbeiten heute viele Firmen mit so genannten **Product Data Management** (PDM) oder Engineering Data Management Systemen (EDM). Daneben existieren Programme zur Visualisierung von Dokumenten („Viewer“) und Komponenten zur Abbildung der Ablauforganisation („Workflow“).

Die Begriffe Product Data Management (PDM) und Engineering Data Management (EDM) werden in Deutschland meist synonym gebraucht und als Sammelbegriff für den Einsatz rechnergestützter Systeme zur Verwaltung aller bei der Produktentwicklung anfallenden technisch orientierten Informati-

onen benutzt. PDM-Systeme haben allerdings gegenüber EDM-Systemen einen etwas erweiterten Einsatzbereich, insbesondere auch bezüglich technisch-organisatorischer Geschäftsprozesse.

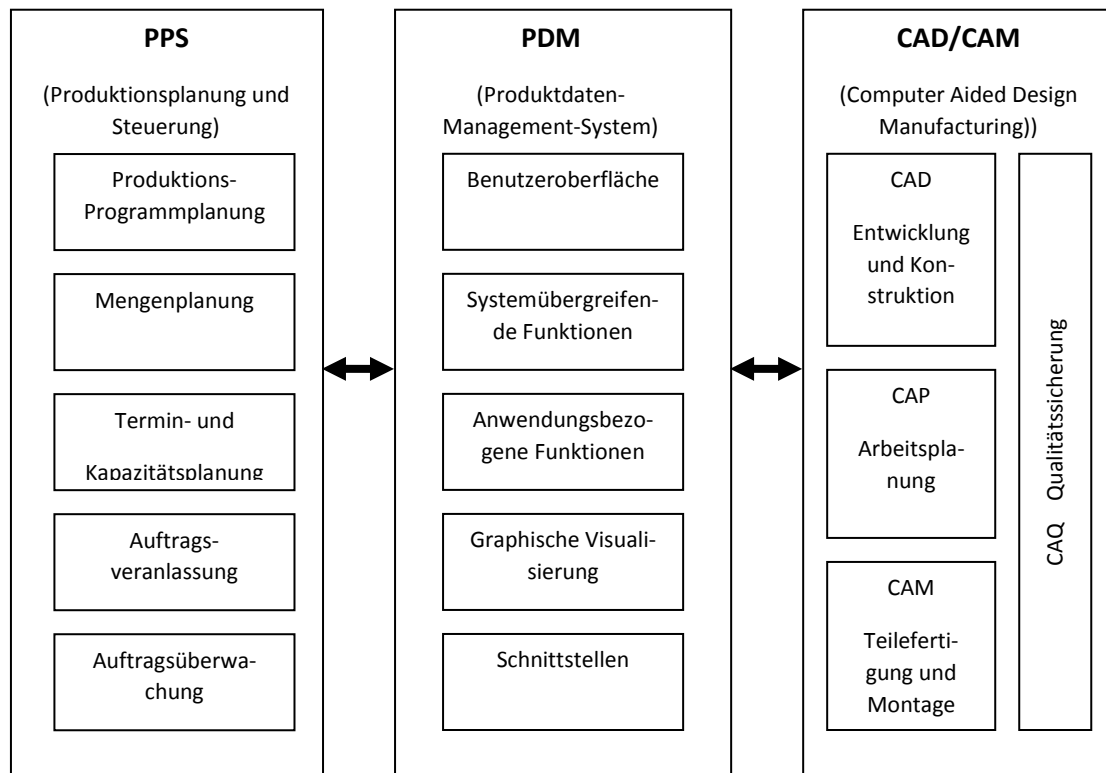


Abb. XX: PDM als Integrationskonzept (Conrad 2005, S. 340)

9.2.3 Digitale Produktion und Datenaustausch mit fertigen Produkten - Industrie 4.0

Die **informationstechnische Entwicklung** hat – wie oben gezeigt – **tiefgreifende Auswirkungen auf Produktentstehung und Vertrieb**. Sie erlaubt die Planung, Virtualisierung und den Probetrieb von Produkten und Betriebsmitteln. Außerdem lassen sich die einmal erstellten Produktdaten für weitere Zwecke nutzen, z.B. für die Präsentation der Produkte, für Simulationen oder Betriebsanleitungen.

Ein Kennzeichen der digitalen Fabrik ist es zudem, dass die zentrale Datenhaltung auch zu zentralen Entscheidungsinstanzen führt, die über die Bearbeitung eines Werkstücks bestimmen.

Bisher war es allerdings so, dass der "digitale" Austausch von Informationen dann endete, wenn ein Produkt die Fabrikation verließ. Das soll sich nun ändern.

Die nächste Stufe der digitalen Produktion wird derzeit unter dem Stichwort Industrie 4.0 diskutiert und hat das Zeug dazu, die Produktion gänzlich zu revolutionieren, weil nun auch die Produkte Daten sammeln und weiterleiten sollen. Grundlage dafür ist der Ausbau des Internets und die Miniaturisierung elektronischer Geräte: Cloud-Computing, Kommunikationsnetze, Smartphones, Tablet-PC's, Sensoren, Aktoren und programmierbare Bausteine bzw. eingebettete Software – viele Elemente für das Konzept der digitalen Fabrik sind bereits vorhanden und ermöglichen eine Verbindung zwischen virtueller Welt und realer Welt, man spricht auch vom **Internet der Dinge**.

Ein Kennzeichen der Industrieproduktion der Zukunft soll die Individualisierung der Produkte durch die Ausstattung mit QR-Codes, RFID-Chips oder Rechenkapazitäten sein. Dies erlaubt schon während der Produktion eine Kommunikation von Maschinen und Produkten. Das Produkt kann der Maschine dadurch sagen, wie es zu bearbeiten ist. Außerdem können Daten aus der Nutzungsphase eines Produktes wieder in die Produktion zurückgespiegelt werden und dabei helfen, die Qualitätssicherung zu verbessern. Zudem ermöglicht eine solche flexibilisierte Produktion die frühzeitige Einbeziehung von Kunden und Geschäftspartnern in Design und Wertschöpfungsprozesse.

So ist es durchaus denkbar, dass sich – ähnlich wie heute bereits mit Müsli, Kleidung oder anderen weniger aufwändigen Produkten – in Zukunft auch komplexere Produkte wie Automobile oder Möbel am Tablet auswählen und konfigurieren lassen. Eine weitere Neuerung stellt die **Kopplung von Produktion und hochwertigen Dienstleistungen** dar. Eine Verknüpfung von Produkten und Dienstleistungen (**Smart Services**) ist beispielsweise dann sinnvoll, wenn eine Maschine im Betriebszustand Meldungen über notwendige Reparaturen an einen Reparatur-Vertragspartner sendet.

Auswirkungen der mit dem Begriff Industrie 4.0 umschriebenen Entwicklungen werden auch für Arbeitswelt und Gesellschaft erwartet. Die Veränderungen in der Industrie kommen ohne Programmierung und weitere Virtualisierung kaum aus. Viele dieser Arbeiten können Beschäftigte auch von zu Hause erledigen. Gut möglich, dass sich durch die digitalen Möglichkeiten die Produktion zudem nicht nur im Sinne der Kunden, sondern auch im Sinne der (älteren) Beschäftigten anpassen lässt. Freilich wird auch hier die Technik manchen Arbeitsplatz überflüssig machen. Besonders Routinetätigkeiten dürften dadurch weiter unter Druck geraten werden. Andererseits werden vielen neue Tätigkeiten und Aufgaben rund um diesen neuen informationstechnischen Bereich entstehen. Welche Effekte Industrie 4.0 letztendlich mit sich bringt, lässt sich jedoch nur schwer prognostizieren.

9.3 Neue Produktionsverfahren

9.3.1 3D-Druck

Um ein Objekt mit **3D-Druck** zu generieren, muss es zuerst mit einem CAD-Programm konstruiert und anschließend mit einem anderen Programm in Schichten zerlegt werden. Liegt ein derartiges Datenmodell vor, gelangt man mit entsprechenden Druckverfahren ohne große Umwege zu bereits kom-

plett ausgeformten Objekten. Während die Produktion von Werkstücken mit herkömmlichen Verfahren oftmals eine Kombination verschiedener Fertigungstechniken wie Gießen, Fräsen oder Drehen nach sich zieht, baut sich im Inneren eines 3D-Druckers das Objekt Schicht für Schicht auf, genau so, als würde man einen in Scheiben geschnittenen Apfel wieder zusammensetzen.

Bis vor kurzem wurde der 3D-Druck als reines **Rapid Prototyping-Verfahren** betrachtet, also als Verfahren zur schnellen Herstellung von Modellen, Formen oder Werkzeugen im Vorfeld der sich anschließenden Produktion. An diesen Prototypen lassen sich dann Fehler in Form, Geometrie oder Passgenauigkeit feststellen und für den eigentlichen Herstellungsvorgang korrigieren.

Generell besitzen diese Verfahren jedoch auch das Potenzial für eine Serienfertigung. Aus Rapid Prototyping wird so Rapid Manufacturing und zwar ohne komplizierte Produktionsprozesse und ohne großen Maschinenpark.



Abb. xx: Produkte aus einem 3D-Drucker

Für den schichtweisen Aufbau von Objekten existieren die verschiedensten Verfahren. Möbel, medizinische Geräte, Spielzeug oder Werkzeuge. Darüber hinaus eröffnen sich unterschiedliche Chancen für neue Geschäftsmodelle oder Vertriebswege. Ein Anwendungsgebiet ist beispielsweise der Ersatzteilbau. Nicht mehr die Ersatzteile selbst, sondern nur mehr die Daten müssen verschickt werden. Ein weiteres Anwendungsfeld ist die Medizintechnik. Mit Röntgen- oder Computertomographie werden zuerst Patientendaten erfasst, anschließend kann mit CAD-Programmen ein Implantat passgenau modelliert und innerhalb weniger Stunden komplett angefertigt werden.

Verfahrensarten

Mittlerweile gibt es die verschiedensten Verfahren für den schichtweisen Aufbau. Sie unterscheiden sich in der Art des Schichtaufbaus, bei den verwendeten Materialien oder der Verbindung der Schichten untereinander. Gebräuchliche Verfahren sind beispielsweise das Sinter- und Pulverdruckverfahren (Aushärtung durch Bindemittel oder Schmelzen), die Stereolithographie (Aushärtung mit Licht), das Drucken mit flüssigen Bauteilen. Drei häufig eingesetzte Verfahren werden in der nachfolgenden Grafik dargestellt (Abb. Xx.)

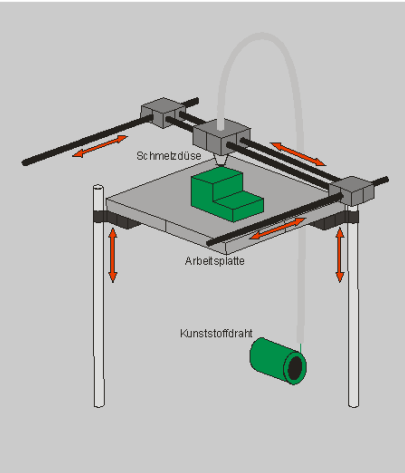
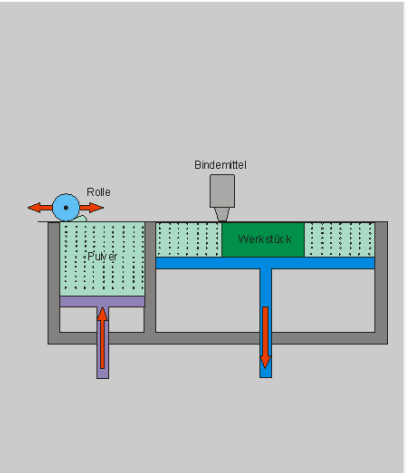
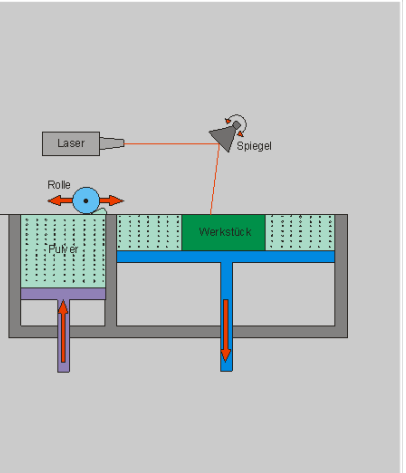
Fused Deposition Modeling (FDM)	3D Printing (3DP)	Stereolithografie (SLA)
 The diagram illustrates the Fused Deposition Modeling (FDM) process. A spool of plastic filament (Kunststoffdraht) is fed into a nozzle (Schmelzdüse) mounted on a moving carriage. The nozzle extrudes the filament onto a build plate (Arbeitsplatte), where it is deposited in layers to form a 3D object. The build plate is shown moving vertically to allow for layer-by-layer construction.	 The diagram shows the 3D Printing (3DP) process. A layer of powder (Pulver) is spread by a roller (Rolle). A liquid binding agent (Bindemittel) is then sprayed onto the powder layer to solidify it. The process is repeated layer by layer to build up the 3D object (Werkstück).	 The diagram depicts the Stereolithografie (SLA) process. A laser beam, reflected by a mirror (Spiegel), is directed through a roller (Rolle) to cure a layer of liquid resin (Pulver). The cured layer forms the 3D object (Werkstück). The process is repeated for each layer.
Schichtweiser Auftrag eines verflüssigten Kunststoffdrahtes auf absenkbarer Arbeitsplatte	Schichtweiser Auftrag eines Pulvers mit Aushärtung durch Zuführung eines Bindemittels	Schichtweiser Auftrag eines Pulvers und Verschmelzung der Partikel durch Laser

Abb. Xx: 3D-Druckverfahren – Beispiele

9.3.2 Raus aus dem Käfig – Roboter und Mensch im Verbund

Besonders in der Automobilindustrie werden Roboter schon seit Jahren eingesetzt. In den Hallen in denen sie arbeiten, sieht man kaum Menschen. Das hat nicht nur damit zu tun, dass sie jetzt die Aufgaben erledigen, die vorher Menschen verrichtet haben, sondern auch damit, dass sie gefährlich sind. Roboter sind mit Käfigen abgeschirmt, wie wilde Tiere. Wenn sie gewartet, repariert oder in-standgesetzt werden, müssen sie abgeschaltet und die mit ihnen verknüpften Fertigungsprozesse lahm gelegt werden, damit das Wartungspersonal nicht verletzt wird. Die fehlende Arbeitssicherheit verhinderte bisher ein weiteres sinnvolles Einsatzfeld für **Roboter**, nämlich **dem Menschen zur Hand zu gehen**, ihm also beispielsweise wenig ergonomische Teile einer Aufgabe abzunehmen. Das soll nun anders werden. Der Käfig soll dabei durch einen virtuellen Schutzraum ersetzt werden, der nur dann zur Abschaltung der Maschinen führt, wenn Menschen direkt bestimmte Grenzen überschreiten, also in risikohafte Bereiche eindringen. Realisiert werden soll diese Grenzziehung durch **Kollisionsvermeidungssysteme**, die mit Sensoren, Laserscannern oder Lichtschranken am oder um den Roboter arbeiten. Auch die Kleidung der Arbeitnehmer kann – mit elektronischen Elementen ausgestattet – die Gefahr von Verletzungen verringern helfen. Der Roboter wird auf diese Weise stets darüber informiert, wo sich die Arbeitsperson befindet.

10. Aspekte der Informations- und Kommunikationstechnik

Wie funktioniert eigentlich das Internet? Welche Trends gibt es in der Informations- und Kommunikationstechnik und welche Chancen und Probleme bringen diese Entwicklungen mit sich?

Inhalt

10. Aspekte der Informations- und Kommunikationstechnik	1
10.1 Grundlegende Aspekte	3
10.1.1 Das Internet – Grundlage für den modernen Datenaustausch	4
10.1.2 World Wide Web	7
10.1.2 Elektronik – immer kleiner und schneller	9
10.2 Trends und Schlüsselprobleme	12
10.2.1 Technische Entwicklungen	12
10.2.2 Gesellschaftliche Auswirkungen	15
10.3 Datensicherheit	17
10.3.1 Problemfelder der Datensicherheit	18
10.3.2 Grundlagen der IT-Sicherheit	20

Abstract

Informations- und Kommunikationstechnik gelten als die Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts. Mit beiden Begriffen werden alle **Methoden, Mittel und Verfahren der Modellierung, Verarbeitung, Speicherung und Übermittlung von Daten** zusammengefasst. Technologisch bauen Informations- und Kommunikationstechnik auf **Rechner- und Netzwerktechnik** sowie auf **Software**.

Im Zentrum der Informations- und Kommunikationstechnik steht heute das Internet, das aus einer **Vielzahl miteinander verbundener Netzwerke** mit **Routern, Datenautobahnen und Knotenpunkten** besteht. Damit die Daten auch dort ankommen wo sie hingehören, sind bestimmte **Vereinbarungen** zum organisatorischen Ablauf der Übertragung erforderlich. Solche Kommunikationsvereinbarungen heißen **Protokolle**. Das übliche Protokoll für den Austausch von zwei Rechnern in einem Netzwerk ist das Transportprotokoll **Transmission Control Protocol (TCP)**.

Das **World Wide Web** (kurz WWW) ist neben anderen Diensten wie E-Mail oder Telefonie ein Teil des Internets. Informationen sind mittels der **Seitenbeschreibungssprache HTML** innerhalb von **Web-Sites** auf **zentralen Rechnern** abgelegt. Von dort werden sie über einen **Web-Browser** durch die genaue Angabe einer Adresse (**Uniform Resource Locator, URL**) abgerufen und gemäß der durch HTML vorgegebenen Struktur dargestellt. Neben dem Ausbau des Internets mit seiner steigenden Leistungsfähig-

keit ist es die Hardware, die zu einer dynamischen Weiterentwicklung der Informations- und Kommunikationstechnik beigetragen hat.

Neben dem Ausbau des Internets und seiner steigenden Leistungsfähigkeit ist es die Hardware, die zu einer dynamischen Weiterentwicklung der Informations- und Kommunikationstechnik beigetragen hat.

Aufgrund der **Miniaturisierung der Elektronik**, der **gestiegenen Prozessor- bzw. Rechnerkapazität**, der **überall verfügbaren Datennetze** sowie der **Fortschritte in der Sensortechnik** zeichnen sich verschiedene technische Trends ab.

Durch die dynamische Kombination digitaler und physischer Dienstleistungen können dem Konsumenten beispielsweise **individualisierte Serviceangebote** bedarfsgerecht zur Verfügung gestellt werden. Man spricht in diesem Zusammenhang von **smart service**.

So genannte **smart objects** sind in der Lage, ständig **Daten aus der Umgebung** aufzunehmen und weiterzuleiten oder durch ihre **Rechnerkapazität** selbst als **Knotenpunkte** oder **Servicebausteine** zu fungieren. Zusammen mit den **Möglichkeiten der zentralen Datenhaltung** in der **cloud** ergeben sich die unterschiedlichsten Anwendungsmöglichkeiten für Unternehmen oder Privatanwender.

Roboter oder Systeme mit **künstlicher Intelligenz** unterstützen den Menschen bereits jetzt im Rahmen von Assistenzsystemen, Haushaltsrobotern oder Übersetzungsprogrammen. Ziel der Forscher ist es aber, lernfähige technische Systeme mit Gehirn, Bewusstsein oder sogar Seele zu schaffen („**starke künstliche Intelligenz**“). Obwohl man davon noch weit entfernt ist und einige Wissenschaftler diese Vorstellung generell als unrealistisch bezeichnen, wird die Digitalisierung weiterhin tiefgreifende Auswirkungen auf Wirtschaft und Gesellschaft haben: Neue **Geschäftsideen und -modelle** auf der einen Seite, der **Niedergang herkömmlicher Branchen** auf der anderen Seite.

Trotz neuer **Arbeitsplätze** zum Beispiel in der **Internetwirtschaft** stellen die Informations- und Kommunikationstechnologien durchaus auch eine Bedrohung für die unterschiedlichsten Berufsinhaber dar: Nicht nur in der Produktion, sondern auch in den Büros konkurrieren technische Systeme in Zukunft mit den Arbeitnehmern. Ob Anwälte, Börsenanalysten oder Journalisten – **intelligente Arbeit** gerät mehr und mehr in den Fokus der Maschinenentwickler. Die **Politik** sieht sich angesichts der Dynamik informationstechnischer Entwicklungen ständig vor der ständig vor die Aufgabe gestellt, über Regulierungen und Standardisierungen nachzudenken. Der **Datenschutz** ist mit eines der bedeutendsten Themen in diesem Zusammenhang. Bedroht wird die Sicherheit durch verschiedene **Angriffsmöglichkeiten**: Vortäuschen einer falschen Identität, Unbefugtes Lesen oder Ändern von Daten oder das Ableugnen einer Handlung.

Auch ohne kriminelle Energie ist eine Nutzung der privaten Daten von Internetnutzern möglich, nämlich durch ihren „**digitalen Fingerabdruck**“, den sie im Internet hinterlassen. Der lässt sich entweder über kleine Dienstprogramme (**Cookies**) ermitteln, die den Rechner eines Nutzers zweifelsfrei identifizieren oder über die **Analyse des Browsers**, mit dem der Nutzer im Internet unterwegs ist (**Browser-Fingerprinting**). Problematisch sind Schadprogramme wie Trojaner, Würmer oder Viren, die häufig unbemerkt eine zerstörerische oder zumindest beeinträchtigende Wirkung haben.

Generell sollten beim Umgang mit Daten verschiedene Ziele gelten: Beispielsweise, dass Daten **spar-sam erhoben, vertraulich behandelt** und **nicht für andere Zwecke verwendet** werden dürfen. Freilich

*muss jeder Nutzer selbst auch **aktiv zur Datensicherheit beitragen**, also beispielsweise sein System auf dem neuesten Stand halten, Virens Scanner einsetzen, Vorsicht bei fremden E-Mails oder dem Besuch zweifelhafter Webseiten walten lassen und sich immer fragen, ob die Eingabe persönlicher Daten im Internet wirklich sinnvoll ist.*

Schlüsselwörter	
Interconnected Networks	Augmented Reality
Internet-Konnektivität	Smart Services
Internet Access Provider	Smart objects bzw. products
Internet-Service-Provider	Smart Data (Big Data) und cloud computing
Transmission Control Protocol	Robotik
Hypertext Transfer Protocol	Schwache künstliche Intelligenz
Internet-Dienste	Starke künstliche Intelligenz
World Wide Web	Digitale Dienstleistungen
Hypertext-Dokument	Talent cloud
Uniform Resource Locator	Datenschutz/Datensicherheit
Domain Name Service	Recht auf informationelle Selbstbestimmung
IP-Adresse	Basisangriffe auf die Datensicherheit
Hyper Text Markup Language	Digitaler Fingerabdruck
Tag	Cookie
Intelligentes System	Browser-Fingerprinting
Miniaturisierung	Schadprogramm
Netztechnologie	Schutzziele beim Datenschutz
Umfeldererkennung	Maßnahmen zur Datensicherheit

10.1 Grundlegende Aspekte

Informations- und Kommunikationstechnik gelten als die Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts. Mit beiden Begriffen werden alle **Methoden, Mittel und Verfahren der Modellierung, Verarbeitung, Speicherung und Übermittlung von Daten** zusammengefasst. Technologisch bauen Informations- und Kommunikationstechnik auf **Rechner- und Netzwerktechnik** sowie auf **Software**. Als **Querschnittstechnologien** sind sie in alle wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Bereiche vorgedrungen. Wirtschaftlich leisten sie einen entscheidenden Beitrag zur **Wertschöpfung** in den unterschiedlichsten Branchen und bestimmen maßgeblich über die **Wettbewerbsfähigkeit** ganzer Industriebereiche. Von der digitalen Fabrik, über intelligente Assistenzsysteme bis hin zu eingebetteten Systemen in Alltagsgegenständen – die Informations- und Kommunikationstechnik erweist sich vielerorts als Hauptinnovationstreiber. Sie verändert dabei die **wirtschaftlichen Rahmenbedingungen** der Gesellschaft und hat Auswirkungen auf die **berufliche Zukunft** jedes einzelnen Arbeitnehmers. Zugleich eröffnen diese Technologien Personen, Organisationen und Staaten die verschiedensten Möglichkeiten, in den Besitz von Informationen zu geraten, die eigentlich nicht für sie bestimmt sind.

Welche Voraussetzungen machen diese weitreichende Bedeutung der Informations- und Kommunikationstechnik überhaupt erst möglich, mit welchen Entwicklungen und Trends und mit welchen Schlüsselproblemen ist zu rechnen? Das soll nachfolgend aufgezeigt werden.

10.1.1 Das Internet – Grundlage für den modernen Datenaustausch

Im Schnitt nutzt jeder Deutsche das Internet 10 Stunden pro Woche. Was läuft eigentlich im Hintergrund ab, wenn wir im Netz unterwegs sind, Mails verschicken oder Filme anschauen?

Struktur des Internets

Allein in Deutschland misst das Netz mehrere zehntausend Kilometer. Es besteht aus Glasfaserkabeln und liegt oft neben Autobahnen, Gasleitungen oder sogar in Abwasserrohren. Anfangs wurde das Internet als **zentrales Datennetz** betrieben, an das sich verschiedene Institutionen (meist Forschungseinrichtungen mit eigenen Teilnetzen) anbinden konnten. Der gesamte Datenaustausch erfolgte über dieses Rückgrat, während eine direkte Kommunikation zwischen den Computern beteiligter Einrichtungen nicht möglich war. Heute besteht das Internet aus einer Vielzahl von Netzwerken (**Interconnected Networks**). Jeder Privatanutzer kann sich über einen **Internet Access Provider** Zugang zum Internet verschaffen. Der Transfer von Daten in und aus dem Internet (**Internet-Konnektivität**) wird mittels Funktechnik, Wählleitungen, Standleitungen oder Breitbandzugängen zu einem **Knotenrechner (Router)** hergestellt. Von dort geht die Reise der Daten über die von **Internet-Service-Providern (ISPs)** betriebenen **Datenautobahnen (Backbones)**. Auch hier lassen sich noch einmal verschiedene Einrichtungen unterscheiden: So genannte **Konzentratoren** sorgen dafür, dass die Daten gebündelt werden, also für den weiteren Transport zusammengefasst werden. Bei den **Internetknotenpunkten** laufen die weltweiten Datenströme zusammen. Mittels **Seekabels** werden die gebündelten Informationen zu den verschiedenen Erdteilen geleitet und anschließend mittels Konzentratoren wieder auseinandergeklaut. Die Struktur des Internets zeigt die nachfolgende Grafik.

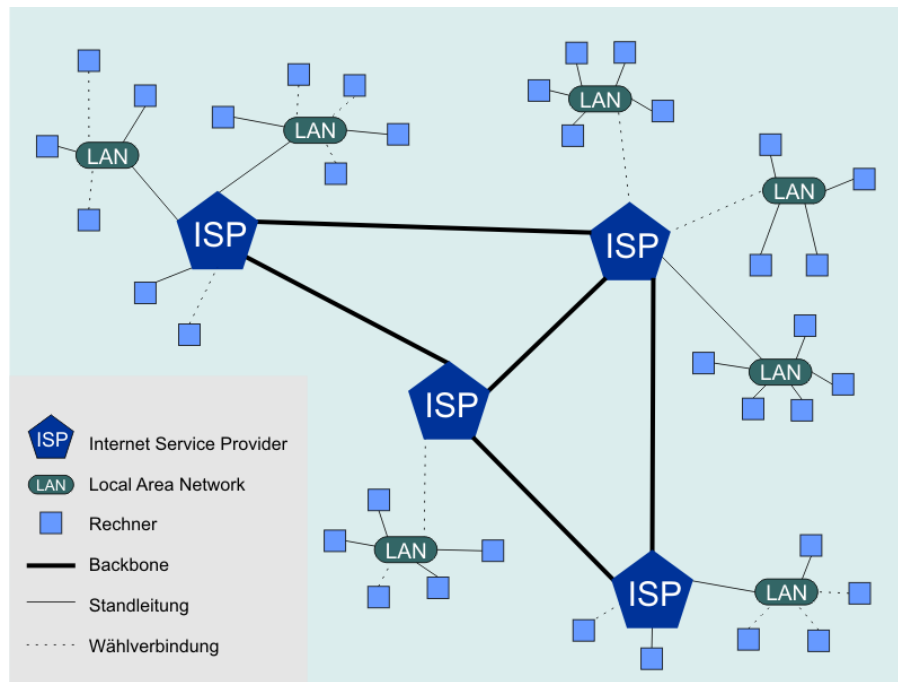


Abb. Xx: Struktur des Internets

Protokolle und Dienste

Die Daten, die durch das Netz geschickt werden, erreichen ihren Empfänger durch Adressen: Egal ob es sich um ein Video oder um eine E-Mail handelt. Jede Information ist mit einer **IP-Nummer** ausgestattet, die den Zielrechner identifiziert. Auch die Router, die daheim den Zugang zum Internet sicherstellen, besitzen eine IP-Adresse, die in den Einstellungen oder über entsprechende Internetseiten ermittelt werden kann. Damit die Daten bei der Vielzahl an Systemen und Schnittstellen, die sie durchlaufen, auch dort ankommen wo sie hingehören, sind bestimmte Vereinbarungen über den organisatorischen Ablauf der Übertragung erforderlich. Solche Kommunikationsvereinbarungen heißen **Protokolle**. Generell enthalten Protokolle Absprachen über den Aufbau, die Überwachung und den Abbau von Verbindungen. Das übliche Protokoll für den Austausch von zwei Rechnern in einem Netzwerk ist das Transportprotokoll **Transmission Control Protocol** (TCP). Auch für Transportdienste im WWW, bei E-Mail oder anderen Netzdiensten wird TCP verwendet. Daneben spielen auch noch andere Protokolle eine Rolle, die zum Teil auf das TCP aufbauen: Z.B. das **Simple Mail Transfer Protocol** (SMTP) bei E-Mails, das **File Transfer Protocol** (FTP) für die Datenübertragung, das **Hypertext Transfer Protocol** (HTTP) bzw. **Hypertext Transfer Protocol Secure** (HTTPS) für das Laden von Webseiten. Aufgrund der Zunahme des Datenvolumens im Internet, etwa durch Live-Streaming, werden neue Protokolle entwickelt, die den gestiegenen Anforderungen noch besser entsprechen können und die Daten beispielsweise unabhängig vom Übertragungsweg in optimaler Qualität zum Empfänger bringen.

10.1.2 World Wide Web

Ablage und Identifikation von Inhalten

Das **World Wide Web** (kurz WWW) ist ein Teil bzw. Dienst des Internets und bietet den Zugriff auf eine Vielzahl an Informationen, die sich auf sogenannten **Webseiten** (web-pages) befinden. Die wiederum sind abgelegt auf **zentralen Rechnern** (Host oder Server). Mit dem **Web-Browser** können sie auf dem eigenen Rechner angezeigt werden. Eine **Web-Site** ist eine Sammlung mehrerer Webseiten, die jeweils von einer Institution oder Person gepflegt wird.

Webseiten sind als **Hypertext-Dokumente** angelegt. Unter Hypertext versteht man Texte mit Querverweisen, die – ähnlich wie in einem Lexikon – Verbindung zu weiteren Informationen herstellen. Im WWW werden solche Verweise mit Hilfe eines **Uniform Resource Locator** (URLs) realisiert. Eine URL ist die "Adresse", die das Client-Programm (im WWW als Web-Browser bezeichnet) benötigt, um eine bestimmte Information vom jeweiligen Server zu erhalten. URLs identifizieren und lokalisieren eine Ressource über das verwendete Netzwerkprotokoll (beispielsweise http oder ftp) und den Ort (engl. location) der Ressource in Computernetzwerken. Die URL enthält zu diesem Zweck Informationen wie die Art des Zugriffs (**Protokoll**), die **Adresse des Server-Computers** (Hostname), das **Directory** und den **Filename** der Datei, in der die gewünschte Information gespeichert ist. Damit nicht immer die Nummer des Rechners im Adressenfeld des Browsers eingegeben werden muss, unterstützt das Internet eine **Name-an-Adresse-Übersetzung** über den **Domain Name Service** (DNS). IP-Adressen werden in Domains umgewandelt. Gibt man in die Adresszeile eines Browsers einen so genannten **Domainnamen** (z. B. „www.ku-eichstaett.de“) ein, wird bei einem Namensserver die **IP-Adresse** (zusammengesetzt aus vier Zahlen, die jeweils zwischen 0 und 255 liegen und mit einem Punkt getrennt werden) angefragt, um anschließend den damit referenzierten Webserver anzusprechen.

Auszeichnung und Gestaltung der Inhalte im WWW – Hyper Text Markup Language

Hyper Text Markup Language (HTML) ist eine **Seitenbeschreibungssprache** und eine spezielle Ausprägung der **Standard Generalized Markup Language** (SGML). Der allgemeine Anspruch dieser Sprachfamilie besteht darin, Dokumente und Datenbestände so zu beschreiben, dass sie **unabhängig von** der verwendeten **Rechnerhardware** oder einem speziellen **Betriebssystem** dargestellt werden können. Die Hypertext Markup Language wird sowohl für die Erstellung und Strukturierung, als auch für die Anwahl und Verknüpfung von Dokumenten und Dateien innerhalb des WWW verwendet. HTML erklärt dem Browser, wie er die Seite und ihre Elemente darzustellen hat und ermöglicht die Verlinkung mit Audio-, Video- oder Bilddateien. Die neueste Version der Hyper Text Markup Language (**HTML 5**) hat einen erweiterten Funktionsumfang: Im Vergleich zu den Vorgängerversionen unterstützt sie nun auch Video, Audio oder dynamische 2D- und 3D-Grafiken. Bis HTML 4 waren dazu zusätzliche Plugins (z. B. Adobe Flash) erforderlich.

Struktur eines HTML-Dokumentes

Mit HTML können Dokumente strukturiert werden. Dabei werden alle in dem Dokument befindlichen Elemente, wie Textpassagen, Bilder oder andere multimediale Elemente in ihrer Anordnung und in ihrem Format festgelegt. HTML teilt dem Browser mit, wie er die Auszeichnungen (Tags) des Dokumentes zu verstehen hat, nicht aber, wie er sie darstellen soll. Das wiederum legen **Cascading Style Sheets** (CSS) fest.

Zur eindeutigen Bestimmung von Anordnung und Format eines Elementes wird es durch so genannte **Tags** (Marker) gekennzeichnet. Man unterscheidet öffnende Tags (**<TAG>**) und schließende Tags (**</TAG>**). Eine Überschrift erster Ordnung wird beispielsweise folgendermaßen dargestellt:
`<h1>Überschrift</h1>`

Nicht alle Tags treten paarweise auf, für einige wird kein schließender Tag benötigt. Anhand der Tags erkennt der Browser (z.B. Firefox), wie das Dokument für die Darstellung und den Druck zu behandeln ist.

10.1.2 Elektronik – immer kleiner und schneller

Neben dem Ausbau des Internets und seiner steigenden Leistungsfähigkeit ist es die **Hardware**, die zu einer dynamischen Weiterentwicklung der Informations- und Kommunikationstechnik beigetragen hat. Verschiedene Aspekte sind hier zu nennen:

- Die ständige Verbesserung des Preis-Leistungs-Verhältnisses,
- der Ausbau dezentraler, vernetzter Systeme,
- das Zusammenwachsen benachbarter Technologien, so z.B. des Fernsehens und des PC's,
- die Miniaturisierung der Geräte und die damit verbundenen Möglichkeiten der Mobilität,
- die Fortschritte bei den Möglichkeiten der Umfelderkennung, z.B. über die Sensortechnik,
- die Verwischung der Grenzen zwischen realer und virtueller Welt.

Miniaturisierung

Wuchtige Schaltschränke oder elektromechanische Relais gehören der Vergangenheit an. **Elektronik** ist heute **klein**, ja fast **unsichtbar** geworden. Die Kombination aus Prozessoren, Speicherbausteinen und Sensoren, man spricht auch von sogenannten „**intelligenten Systemen**“, lässt sich aufgrund der Miniaturisierung überall unterbringen und erlaubt die unterschiedlichsten Anwendungsbereiche. Intelligente Systeme werden entsprechend ihrer räumlichen Distanz zum Menschen klassifiziert. Sie können:

- körpermitplantiert (z.B. Gehörimplantate) oder
- körperrnah bzw. textilintegriert (z.B. Blutdrucküberwachung)
- in Form handlicher Geräte (z.B. interaktive Assistenzsysteme bei der Wartung oder Montage)
- fest verbaut als Sensornetze in Häusern (z.B. zur Überwachung von pflegebedürftigen Menschen) oder
- in Form einer mobilen Infrastruktur zur Verfügung stehen.

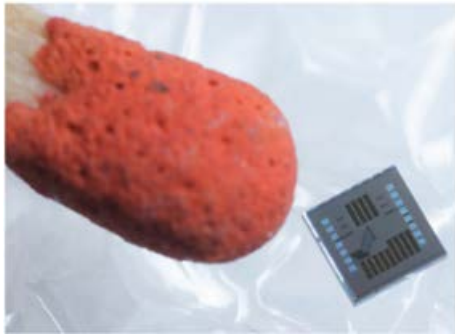


Abbildung xx: Spannungswandler im Vergleich zur Größe eines Streichholzkopfes (Foto Fraunhofer Institut))

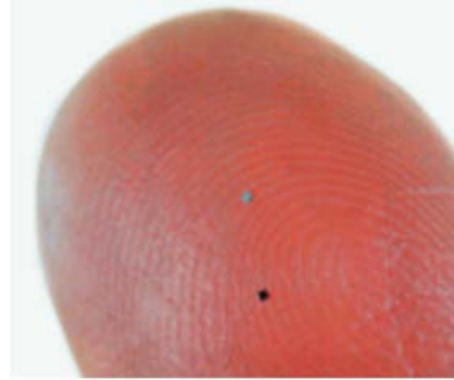


Abbildung xx: RFID-Chip im Vergleich zur Größe einer Fingerkuppe (Foto Hitachi)

Netzwerke

Eine Tendenz der Technik scheint zu sein, dass Grenzen aufgehoben und Systeme verknüpft werden. Eine Voraussetzung dafür sind **Netztechnologien** und **Netzwerke**. Neben dem Internet entstehen heute immer mehr Strukturen, die den Austausch, die Speicherung und Verarbeitung von Daten zulassen. Die Voraussetzung für die Verbindung technischer Systeme sind entweder **Festnetzverbindungen** (wired) oder **Funkverbindungen** (wireless). Besonders durch die verschiedenen Arten von Funkverbindungen können die verschiedensten Geräte miteinander in Verbindung treten, entweder, weil ein Nutzer zum Beispiel **W-Lan** oder **Bluetooth** aktiviert hat oder aber, weil zwei Geräte sich besonders nahe kommen und – wie bei **RFID** oder **NFC** – bereits schwache elektromagnetische Signale für einen begrenzten Datenaustausch genügen.



Elektronische Umfelderkennung und Sensortechnik

Ob Assistenzsysteme, selbstnavigierende Autos, Drohnen oder „nur“ Hausstaubsauger, die Hindernisse umfahren – damit technische Geräte ihr Umfeld erkennen können, ist komplexe Technik erforderlich. Ohne Sensoren, Rechnerkapazität und entsprechende Programme kommt keine Sprach-, Bild- oder Umfelderkennung aus. Besonders neue Generationen von Sensoren, die jede Erschütterung, Bewegung oder Geräusch erkennen können, lassen sich vielfältig einsetzen (s. Abb. Xx).



Abb. xx: Beispiele für die Einsatzgebiete von Sensoren (nach Der Spiegel 13/215, S. 73)

Eine exakte Lokalisierung des Standortes oder die Objekterkennung sind nicht nur notwendige Voraussetzungen dafür, dass Maschinen oder Automaten ihre Aufgaben erfüllen. Auch für Menschen ergeben sich hilfreiche Anwendungen.

Augmented Reality

Beim Konzept der „**Augmented Reality**“ („erweiterte Realität“) wird beispielsweise auf die Erweiterung der Realitätswahrnehmung durch Rechnerunterstützung gesetzt. Die menschliche Wahrnehmung der physikalischen Realität wird um virtuelle, vom Computer erzeugte Informationen ergänzt. Realisiert werden kann dies beispielsweise durch Einblendungen von Informationen in Datenbrillen oder Windschutzscheiben. Die Einblendungen erfolgen dabei kontextabhängig, d.h. passend und abgeleitet vom betrachteten Objekt oder vom Standort.



Abb. Xx: Ein Servicetechniker bekommt einen Hinweis über die Drehrichtung eines Verschlusses

10.2 Trends und Schlüsselprobleme

Technik tritt immer mit dem Anspruch auf, den Menschen und seine Wirkungsbereiche effizienter, komfortabler, rentabler, sicherer oder gesünder zu machen. Was der eine allerdings als hilfreiche Entwicklung oder gar menschenbeglückende Revolution empfindet, ist für den anderen eine Bedrohung. Das gilt auch und gerade für die Informations- und Kommunikationstechnik.

Informations- und Kommunikationstechnik sind zu bedeutenden Innovationstreibern und Wachstumsmotoren geworden, die Einfluss auf alle Bereiche des Lebens nehmen. Welche technischen Trends derzeit diskutiert werden und wie sie unser Leben beeinflussen können, soll nachfolgend skizzenhaft aufgezeigt werden.

10.2.1 Technische Entwicklungen



Smart Services

Die **Digitalisierung der Wirtschaft** hat ja schon bisher die unterschiedlichsten Geschäftsmodelle hervorgebracht. Zukünftig wird wohl noch so manche neue Geschäftsidee hinzukommen, was freilich mit dem Niedergang althergebrachter Geschäftsmodelle einhergehen wird.

Die Ausweitung des Internets und die Entwicklungen in der Mikroelektronik befördern beispielsweise **neuartige Dienstleistungen** und **Serviceangebote**. Das revolutionäre daran ist, dass **digitale** und **physische Dienstleistungen dynamisch miteinander kombiniert** werden. So können dem Konsumenten **individualisierte Serviceangebote** bedarfsgerecht zur Verfügung gestellt werden, was dann als **Smart Service** bezeichnet wird.

Die Bandbreite möglicher Dienstleistungen ist weit und erstreckt sich etwa auf die Bereiche Mobilität und Logistik, Gesundheit, Energie und Ressourcen, Handel, Produktion, Gebäude-, Haus- und Stadtmanagement oder Bildung. Ein Beispiel dafür ist, wenn der Fahrer eines Autos, dessen Reifendruck sinkt, nicht nur eine Anzeige im Informationssystem des Autos bekommt, sondern direkt zur nächsten Servicestation geleitet wird. Wenn gleichzeitig die Daten des Reifens (Laufzeit bzw. Alter, Abrieb u.a.) nun auch noch an den Hersteller gesendet werden, sind wir bei einem weiteren Trend (Acatech 2014, S. 18).

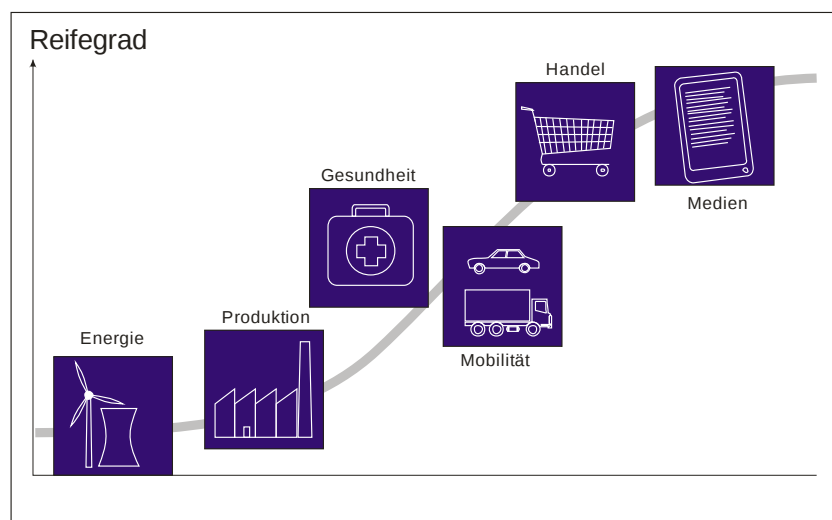


Abb. xx: Entwicklungspotenziale digitaler Dienstleistungen (nach Acatech 2014)

Smart objects bzw. products

Die **Miniaturisierung der Elektronik**, immer bessere **Möglichkeiten der Umfelderkennung** sowie die zunehmende **Vernetzung von Informationssystemen** dehnen den Wirkungsbereich des Internet auf Bereiche jenseits der bisher gewohnten Rechner, Notebooks oder Smartphones aus. Bindeglieder zur Welt der Daten werden so genannte **smart objects** oder **smart products**. Ausgestattet mit Sensoren und Rechnerkapazität sind solche Objekte und Produkte in der Lage, während ihrer Laufzeit ständig

Daten aus der Umgebung aufzunehmen und weiterzuleiten oder durch ihre **Rechnerkapazität** selbst als **Knotenpunkte** oder **Servicebausteine** zu fungieren.

Dadurch, dass die Gegenstände stets identifizierbar, lokalisierbar und miteinander vernetzbar sind, eröffnen sich die verschiedensten Möglichkeiten. Im Unternehmen lassen sich beispielsweise über Geräte, Maschinen oder Produkte große Mengen an **Betriebsdaten sammeln** und für die Optimierung des Gesamtbetriebs verwenden. Die Erfassung und Rückspiegelung von Daten in die Produktion kann auch durch Kleidung, Werkstücke, Tickets, Haushaltsgeräte, Maschinen, Transport- und Verkehrsmittel, ja selbst durch Pflanzen, Tiere oder eben Menschen erfolgen. Unter dem Stichwort „**Internet der Dinge**“ wird eine Vielzahl neuartiger Anwendungen diskutiert: Die sich selbst optimierende Fertigung oder Logistik, Mobilität auf Abruf, intelligente Gebäudetechnik oder Energieversorgung sowie altersgerechte Assistenzsysteme. Daneben verspricht die Fülle der erhobenen Daten selbst noch weitere neue Geschäftsmodelle.

Smart Data (Big Data) und cloud computing

Wenn während des gesamten Lebenszyklus von Objekten Daten erhoben werden, eröffnen sich für die Hersteller dieser Produkte neue Möglichkeiten der Nutzung: Entweder zur Optimierung der eigenen Prozesse oder zur Optimierung des Produkts selbst. Möglichkeiten ergeben sich aber auch jenseits des Unternehmens, nämlich beim Konsumenten. So könnte etwa ein Kühlschrank, der die in seinem Inneren aufbewahrten Produkte über Funkchips registrieren kann, diese Daten an eine Datenbank senden, die dem Kühlschrankbesitzer ihrerseits Vorschläge für Menüs zurückschickt. Die Voraussetzung für die kreative Nutzung vorhandener Informationen sind Technologien, mit denen ein **effektives Sammeln** und **Auswerten dieser Datenmengen** realisiert werden kann. Eine Lösung für die Nutzung von Massendaten stellt das so genannte **Cloud Computing** dar. Die Daten werden hierfür nicht mehr auf einzelnen Rechnern gespeichert, sondern zentral im Internet. Zuständig für die Pflege, Sicherung und Analyse der Daten sowie die plattformunabhängige Bereitstellung sind dann extra darauf spezialisierte Dienstleister. Mit der Cloud ändern sich aber auch **Entwicklung, Bereitstellung** und **Betrieb von Software**. Sie wird nun nicht mehr lokal installiert sondern über das Internet zur Verfügung gestellt, also verteilt betrieben.

Robotik

Roboter haben schon immer die Phantasie von Sciencefiction-Autoren oder Technikfreaks beflügelt. Im Gegensatz zu manch hochfliegenden Erwartungen blieb der Siegeszug – mit einigen Ausnahmen in der Medizin- oder Militärtechnik – bisher jedoch hauptsächlich auf den industriellen Bereich beschränkt. Das könnte sich nun ändern. Die Möglichkeiten für unterstützende Roboter etwa im Haushalt, beim Autofahren oder in der Freizeit sind gewachsen. Die Voraussetzungen liegen auch hier in der Zunahme an **Maschinenintelligenz**, in der **Miniaturisierung der Elektronik**, der **Weiterentwicklung biomechanischer Fortbewegungssysteme** sowie in den verbesserten **Möglichkeiten** technischer Systeme, ihre **Umwelt zu erkennen**. Durch die allgegenwärtigen Netzwerke und den **Zugriff auf das Internet** können Roboter außerdem überall mit einer Fülle von Informationen versorgt werden. Man spricht auch von **Cloud-Robotik**. Wenn ein Roboter beispielsweise etwas greifen soll, kann er die Gegenstände in seinem Sichtfeld zunächst mit einer **Datenbank** abgleichen und dann die richtige

Strategie des „Zugriffs“ auswählen. Wie bei so vielen anderen technologischen Innovationen spielt auch hier das „intelligente“ **Zusammenspiel von Hard- und Software** die entscheidende Rolle.

Künstliche Intelligenz

Vergrößerte Rechenleistung und verbesserte Softwarealgorithmen stellen auch die Grundlage für die **Lernfähigkeit technischer Systeme** dar. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von **künstlicher Intelligenz (KI)**. In der schönen neuen Roboterwelt erkennen sich die Maschinen gegenseitig, sie interagieren miteinander, tauschen Daten aus, sind lernfähig und finden gemeinsame Lösungen. Künstliche Intelligenz ist aber nicht gleich künstliche Intelligenz: Unterschieden wird zwischen der **starken** und der **schwachen künstlichen Intelligenz**.

Unter dem Stichwort „starke KI“ versteht man den Versuch, Maschinen mit Bewusstsein, einem Gehirn, ja einer Seele auszustatten. Da man selbst die menschliche Intelligenz noch nicht vollständig durchdrungen hat, sind die technischen Erfolge in dieser Hinsicht bisher zumindest sehr gering. Fortschritte wurden allerdings in Bezug auf die Lernfähigkeit von Maschinen erzielt.

Weiter ist man dagegen mit der schwachen KI. Gemeint sind damit Insel-Intelligenzen, also Lösungen für die Bewältigung einzelner Problemstellungen. Zu nennen sind hier die Sprach- oder Bildererkennung oder interaktives Verhalten bei Spielen.



Abb. xx: Mobiler Roboter (Foto: KUKA)

10.2.2 Gesellschaftliche Auswirkungen

Wirtschaft

Die **Digitalisierung** verändert die Wirtschaft so grundlegend, wie einst die erste industrielle Revolution. Die Veränderungen betreffen zum einen **etablierte Geschäftsmodelle**, die durch das Internet obsolet werden und durch neue ersetzt werden, zum anderen die **wirtschaftlichen Grundlagen** von Unternehmen. Nie in der Geschichte sind in so kurzer Zeit so große **Firmenvermögen** angewachsen, wie dies in den letzten Jahren der Fall war. Einige wenige **Marktführer** wie Google, Amazon, Apple oder Facebook haben eine immense **Marktmacht** erlangt und sind in der Lage, Konkurrenten einfach zu übernehmen. Andererseits bieten Digitalisierung und Internet vielen **privaten Anbietern von Waren und Dienstleistungen** einen relativ einfachen **Zugang zum Markt**. Besonders im industriellen Bereich wird mit einschneidenden Veränderungen gerechnet. Unter dem Stichwort Industrie 4.0 wird vor allem die Verwendung von Informationen zum Nutzen der Produktion oder auch zur Schaffung neuer Geschäftsfelder diskutiert

Die Vernetzung von Lieferanten, Maschinen und Produkten soll das **Produktionsgeschehen** noch **effizienter** als bisher machen. Generell werden Daten **als Rohstoff der Zukunft** betrachtet: Die Sammlung und Weiterverarbeitung von Messdaten, Ereignisdaten, Eigenschaftsdaten, Bewegungsdaten von Maschinen, Dingen, insbesondere aber auch von Menschen, soll zu neuen **unternehmensnahen digitalen Dienstleistungen** genauso führen wie zu **Serviceangeboten für den Verbraucher**. Ob das freilich ohne größeren Abbau von Arbeitsplätzen möglich ist, bleibt umstritten.

Arbeitswelt

Internetwirtschaft, IT-Berufe und neue Dienstleistungen – die Digitalisierung hat bis jetzt viele **neue Arbeitsplätze geschaffen**. Der weiter voranschreitende Trend zur **Automatisierung** in der **Produktion** lässt jedoch die Sorge wachsen, dass der Arbeitnehmer am Ende der Verlierer sein könnte, entweder weil er **überflüssig** wird oder weil sich das **Lohnniveau** mit Maschinen messen lassen muss. Außerdem zeichnet sich immer deutlicher ab, dass der Einsatz von im Vergleich zu Menschen billigeren Robotern nicht mehr nur auf die industrielle Produktion beschränkt bleiben wird. Roboter finden sich zukünftig auch in **Büros** und konkurrieren dort mit Arbeitnehmern, die vor kurzem noch unersetzlich schienen: Ob Anwälte, Börsenanalysten oder Journalisten – intelligente Arbeit gerät mehr und mehr in den Fokus der Maschinenentwickler. Carl Benedikt Frey und Michael A. Osborne (2013) von der Universität Oxford haben in einer Studie mehr als 700 Berufe darauf hin untersucht, wie stark sie durch den Computer bedroht sind. Dabei kommen sie zu dem Schluss, dass fast jeder zweite Beruf gefährdet ist.

Mit Sicherheit wird der Arbeitnehmer in Zukunft noch mehr als bisher mit **intelligenten Systemen** und **Robotern zusammenarbeiten**. Sie werden ihn unterstützen, entlasten, helfen – ihn aber auch kontrollieren und fremdbestimmen.

Online-Arbeit ist weiterhin ein Wachstumsmarkt. Jenseits der Fabrikture können sich Selbstständige, aber auch Mitarbeiter eines Unternehmens weltweit in einer sogenannten **Talent Cloud** anbieten. Ob ihre Arbeit allerdings gleichermaßen von **sozialen Standards** geprägt sein wird, wie das heute noch in klassischen Arbeitsverhältnissen der Fall ist, darf bezweifelt werden. Chancen und Risiken liegen demnach, wie immer bei der Technik, eng beieinander.

Politik

Die **Dynamik informationstechnischer Entwicklungen** stellt die Politik vor die Aufgabe, ständig über **Regulierungen** nachzudenken. Datenschutz, technische Regelwerke und Standardisierungen, Arbeitnehmerschutz oder Fragen der Monopolstellung von Internetfirmen – die Palette an Fragen ist breit, Lösungen allein auf nationaler Ebene sind selten befriedigend oder zweckdienlich.

Ein Beispiel ist das selbstfahrende Auto. Welche rechtlichen Voraussetzungen dafür erforderlich sind, wird gerade diskutiert. Die **Frage nach Verantwortung** und **Zuständigkeit** stellt sich jedoch auch auf anderen Feldern. Dort, wo sich technische Systeme nämlich in einem **ständigen Informationsaustausch** befinden und eine gewisse **Eigendynamik** entwickeln, von der wiederum andere Geräte, Apparate, Prozessketten und Menschen beeinflusst werden, ist die **Wirkungskette** unter Umständen **nicht mehr eindeutig zu bestimmen**. Die Zuordnung von Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten für Effekte wird damit zur Herausforderung. Wer handelt eigentlich: Der Schichtleiter selbst oder das Notkühlsystem, der Flugkapitän selbst oder der Fluglotse oder der Autopilot, der Autofahrer selbst oder das Antischleudersystem oder der Ermüdungsassistent (vgl. Acatech, S. 11).

Auch für den Politikbetrieb selbst ist das **Internet** zu einer **Informations- und Aktionsplattform** geworden. Nachrichten, Wahlprogramme, politische Diskussionen oder online Videokonferenzen hochrangiger Politiker, digitale Umfragen und Abstimmungen – die Formen politischer Partizipation und Meinungsbildung sind vielfältig. Über das Internet kann jeder zum politischen Akteur werden.

Datenschutz

Eine der größten Aufgaben von Politik und Gesellschaft ist es, in einer vernetzten Welt, mit einer Fülle informationssammelnder Gerätschaften und den ausgefeilten Möglichkeiten der Datenanalyse, das Recht auf Privatheit zu verteidigen.

10.3 Datensicherheit

Computer mit ihren umfangreichen Speichermöglichkeiten digitaler Daten sind heute die „Gedächtnisse“ der Menschheit. Als solche vertrauen ihnen Staaten, Unternehmen und Bürger u.a. auch geheime Informationen an. „Weil der PC alle Elemente des Briefverkehrs, des Tagebuchs, des Voyeurismus, der sexuellen Phantasien, der politischen Neugier, der Selbstdarstellung in Blog- und Chatrooms neben allen möglichen professionellen Nutzungen, Banktransaktionen bündelt, ist er inzwischen wie kein anderes privates Medium der bislang vollständigste Ausdruck einer Persönlichkeit geworden.“ (Zielcke Andreas, Süddeutsche Zeitung Nr. 52, S.13) Ein solchermaßen intimer Datenspeicher weckt naturgemäß auch die Begehrlichkeiten von Kriminellen, diese Daten auszukundschaften und zu verwerten. Welche Angriffe auf die Integrität und Vertraulichkeit von Daten grundsätzlich existie-

ren und welche Abwehrmaßnahmen dagegen getroffen werden können, soll anschließend behandelt werden.

10.3.1 Problemfelder der Datensicherheit

Eine der Grundlagen für das Zusammenleben in unserer Gesellschaft ist das Bewusstsein um verlässliche, rechtlich abgesicherte Beziehungen und Strukturen. Dazu gehört auch das Recht des Einzelnen, grundsätzlich selbst über die Preisgabe und Verwendung seiner personenbezogenen Daten zu bestimmen (**Recht auf informationelle Selbstbestimmung**). Es handelt sich dabei um ein wichtiges Rechtsgut, das allerdings bedroht wird.

Basisangriffe

Grundsätzlich lassen sich verschiedene Angriffe auf die Datensicherheit unterscheiden.

Vortäuschen einer falschen Identität

Eine Person kann unter Nutzung einer **falschen Identität** eine Dienstleistung in Anspruch nehmen oder unbefugt Programme nutzen. Den dabei verursachten Schaden hat meist der wahre Zugangsberechtigte. So geben sich z. B. so genannte Phisher als vertrauenswürdige Absender elektronischer Nachrichten aus, mit Hilfe derer sie an sensible Daten wie Benutzernamen und Kennwörter für Online-Banking oder an Kreditkarteninformationen zu gelangen versuchen (Phishing = Abk. für *password fishing*).

Unbefugtes Lesen

Durch die **Beschaffung vertraulicher Daten** kann Missbrauch durch Verletzung der Privatsphäre oder durch Betriebsspionage betrieben werden. Nicht selten lassen sorglose Internet-Nutzer ihre Benutzernamen und Kennwörter offen liegen oder speichern ihre Zugangsdaten über die Browserfunktion ab, wodurch sie unbefugten Dritten Tür und Tor öffnen.

Unbefugtes Ändern

Die Schadensmöglichkeiten durch **unbefugtes Ändern von Daten** sind vielfältig. Sie reichen von der Manipulation von Datenbanken oder Webseiten bis hin zur persönlichen Bereicherung oder zur Fälschung von Verträgen.

Ableugnen einer Handlung

Störungen von Kooperationsbeziehungen zwischen Partnern durch **Ableugnen einer Handlung** (z. B. behauptet eine Person, keine Nachricht an eine andere Person gesandt zu haben) sind nicht neu und münden in der Behauptung, dass das technische System einen Fehler gemacht hat und somit für Konflikte zwischen den Partnern verantwortlich gemacht wird.

Um in den Besitz von Daten zu kommen, ist nicht in jedem Fall der Einsatz eines Schadprogramms oder ein anderer Angriff erforderlich. Viele Computer- und Internetnutzer hinterlassen freiwillig Daten.

Digitaler Fingerabdruck

Die **Spuren**, die beim **Surfen** und der Nutzung digitaler Geräte hinterlassen werden, sind wertvolles und begehrtes Rohmaterial für Unternehmen, Geheimdienste oder Kriminelle. Je mehr Informationen eingeholt werden können desto klarer erscheint das **Profil eines Netznutzers**. Die **Werbebranche** kann dann beispielsweise individuell zugeschnittene Werbemaßnahmen veranlassen, **Unternehmen** oder **Versicherungen** bieten die zum Profil passenden Produkte an und **Kriminelle** sammeln Daten über Lebensgewohnheiten ihrer Opfer. Eine gängige Möglichkeit für die Online-Werbung an begehrte Daten zu gelangen ist der Einsatz von **Cookies** – kleine Textdateien, die beim Besuch einer Website auf dem Rechner des Nutzers abgelegt werden und diesen zweifelsfrei identifizieren, wenn er die Seite noch einmal aufruft. Da Cookies aber einfach zu löschen sind, gewinnt das **Browser-Fingerprinting** an Bedeutung. Es handelt sich dabei um eine Technik, bei der Computer anhand der Browsereinstellungen identifiziert werden. Eindeutige Merkmale eines Browsers, wie Version, Sprache, Bildschirmauflösung und installierte Schriftarten werden analysiert und aus den Daten der digitale Fingerabdruck des Rechners erstellt. Auch die im Browser installierten Plug-ins werden ausgewertet. Ein digitaler Fingerabdruck wird immer öfter auch erfasst, wenn der Nutzer via Smartphone oder Tablet im Internet surft.

Schadprogramme

Eines der größten Probleme im PC-Bereich stellt die Manipulation von Programmen zum Schaden des PC-Betreibers dar, die mit den nachfolgend aufgeführten Maßnahmen durchgeführt wird.

Trojanische Pferde

Trojanische Pferde sind Programme, die zwar eine vorgesehene Funktion ausführen, daneben aber zerstörende oder zumindest **unerwünschte Nebenwirkungen** auslösen, etwa die Erhöhung des Speicherplatzbedarfs, die Verlängerung von Programmlaufzeiten, die das Weiterleiten sensibler Daten wie Passwörter und Kontonummern oder sogar die Fernsteuerung des Rechners.

Abgeleitet vom Trojanischen Pferd der Mythologie verschaffen so genannte „Trojaner“ als scheinbar nützliche Programme Angreifern Zugänge zu gesicherten Systemen. Das Trojanerprogramm wird dabei zunächst durch den User wissentlich gestartet, wobei es automatisch die Rechte des Benutzers erhält. Trojaner sind also in der Regel so konstruiert, dass der Benutzer selbst den gefährlichen Code aktiviert. Riskant sind dabei vor allem ausführbare Dateien mit den Endungen EXE oder COM, aber auch Text- oder Bilddateien können getarnte EXE-Dateien sein, wenn für den Benutzer durch die Einstellungen des Betriebssystems die Endung unsichtbar bleibt.

Viren

Bei Computerviren handelt es sich um „unselbständige Wirtsprogramme“, die in bestehende Programme eingeschleust werden und beim Start des Wirtsprogramms aktiv werden. Sie können das Wirtsprogramm überschreiben oder löschen. Man unterscheidet zwischen Systemviren und Programmaviren. Systemviren befallen Systembereiche von Speichermedien, wie z. B. Bootsektoren von Festplatten. Darin befinden sich Programm-Applikationen, die bereits beim Starten des Computers

ausgeführt werden, so dass bei einer derartigen Infektion der Virus bereits beim Einschalten des PC's aktiviert wird. Programmviren hängen sich an Computerprogramme an und werden in der Regel mit dem Ausführen infizierter Programme aktiviert.

Würmer

Würmer sind eigenständige Programme, die aber im Gegensatz zu Computerviren kein Wirtsprogramm benötigen. Die Infektion erfolgt in der Regel durch das Öffnen infizierter E-Mails, durch die Benutzung von Peer-to-Peer-Programmen (z. B. Tauschbörsen) oder USB-Sticks. Während Computerviren und Trojanische Pferde über einen schädlichen Code verfügen, enthalten Würmer nicht zwingend schädliche Programmelemente. Allerdings bindet ein Wurmprogramm auf infizierten Systemen Ressourcen zur Weiterverbreitung mit dem Effekt, dass das befallene System erheblich langsamer arbeitet bzw. zum Stillstand kommt.

10.3.2 Grundlagen der IT-Sicherheit

Ziele des Datenschutzes

Seit Ende der 1980er Jahre existiert ein Konzept für **Schutzziele**, auf das sich teilweise auch das Bundesverfassungsgericht in seiner Rechtsprechung stützt. Diese Schutzziele formulieren **Anforderungen an einen sicheren Betrieb von informationstechnischen Systemen**. Die Schutzziele im Einzelnen (Rost 2012, S. 354ff.):

Verfügbarkeit

Das Schutzziel Verfügbarkeit bezeichnet die Anforderung, dass ein gesicherter Zugriff auf Informationen innerhalb festgelegter Zeit bestehen muss.

Integrität

Hiermit ist die Anforderung gemeint, dass ein System ausschließlich seine zweckbestimmte Funktion verlässlich und erwartungsgemäß erfüllen soll. Etwaige Nebenwirkungen sollen damit ausgeschlossen sein.

Vertraulichkeit

Nicht zuständige, unbeteiligte Dritte sollen gemäß dieser Anforderung keine Möglichkeit haben, von Daten unbefugt Kenntnis zu bekommen, ein System einzusehen oder Betroffene zu identifizieren.

Transparenz

Das Schutzziel Transparenz bezeichnet die Anforderung, dass in einem unterschiedlichen Maße sowohl Betroffene als auch Betreiber von Systemen sowie zuständige Kontrollinstanzen erkennen können, welche Daten für welchen Zweck erhoben und verarbeitet werden, welche Systeme und Prozesse dafür genutzt werden, wohin die Daten zu welchem Zweck fließen und wem die Daten und Systeme in den verschiedenen Phasen einer Datenverarbeitung gehören.

Intervenierbarkeit

Sowohl Betroffene als auch Betreiber von Systemen sollen in der Lage sein, die Datenverarbeitung – vom Erheben bis zum Löschen der Daten – ändern zu können.

Nichtverkettbarkeit

Damit ist die Anforderung gemeint, für Prozesse und Systeme sicherzustellen, dass deren Daten nur für den Zweck verarbeitet und ausgewertet werden, für den sie erhoben werden. Insgesamt gilt hier auch der Grundsatz der Datensparsamkeit.

Maßnahmen zur Datensicherheit

Aufgrund der drohenden Gefahren durch schädliche Programmcodes und den Möglichkeiten des Datenmissbrauchs ist jeder Privatanwender zur Wachsamkeit und Vorsicht aufgefordert. Schon durch einfache Schutzmaßnahmen können die Risiken verringert werden (vgl. Schallbruch 2012, S. 372ff):

- **Regelmäßige Betriebssystem- oder Programmupdates:** Durch **Ersatz oder Aufrüstung** von Programmpaketen, bei denen Sicherheitslücken oder Fehler festgestellt werden, können Einfallstore für Schadprogramme gestopft werden.
- Die Benutzerverwaltung verschiedener Betriebssysteme stattet meist nur den Administrator mit Rechten aus, um Konfigurationen zu ändern bzw. neue Programme installieren zu können. Unüberlegtes Installieren kann vermieden werden, indem man sich für den alltäglichen Gebrauch des PCs **nicht als Administrator anmeldet**.
- Mit Hilfe eines **Virens scanners** können Bootsektor, Arbeitsspeicher oder Festplatte auf eine Infektion durch Computerviren hin untersucht werden. Da ständig neue Viren, Würmer und Trojaner geschrieben und programmiert werden, müssen Virens scanner durch regelmäßige Updates immer auf dem neuesten Stand gehalten werden.
- Auf Arbeitsplatzrechnern und Servern sollten **nicht benötigte Dienste**, die Sicherheitslücken bzw. Angriffspunkte für Einbruchsversuche darstellen können, von Administratoren mit ausreichender Kenntnis deaktiviert werden. Zusätzlich sollte auch eine **Firewall** verwendet werden, um Angriffe auf benötigte und daher nicht abschaltbare Dienste so weit wie möglich zu verhindern.
- E-Mails mit Anhängen bzw. mit der Aufforderung, Programme zu installieren, sollten generell misstrauisch behandelt und von Virens cannern geprüft werden. Virenfizierte Mails täuschen in der Regel vertraute Absender vor, so dass sie vom Empfänger als vertrauenswürdig eingestuft werden. Auf keinen Fall sollten Mails mit unerwünschtem oder zweifelhaftem Inhalt beantwortet werden. Durch **kryptografische Signier- und Verschlüsselungsmethoden**

mit speziellen Programmen kann die private oder geschäftliche E-Mail-Korrespondenz sicherer gestaltet werden.

- Für einen wirksamen Schutz vor Vernichtung oder Veränderung des Datenbestandes durch schädliche Programme ist eine **regelmäßige Datensicherung** auf externen Medien (z. B. auf externe Festplatten) unverzichtbar.
- Schadprogramme kann man sich allein schon durch das „Ansurfen“ von Webseiten einfangen. Es sollten daher nur solche Webseiten besucht werden, denen ein **Mindestmaß an Vertrauen** entgegengebracht wird.
- *Vor der Eingabe persönlicher Daten im Internet sollte man sich immer die Frage stellen, ob man den Dienst oder das Angebot wirklich braucht bzw. längerfristig nutzen will. Evtl. ist auch eine Anmeldung über ein Pseudonym sinnvoll. Für unterschiedliche Netzwerke sollten unterschiedliche Pseudonyme verwendet werden. Grundsätzlich sollten nur auf solchen Webseiten persönliche Daten eingegeben werden, über die mit einer SSL-gesicherten Verbindung kommuniziert wird.*
- Im Browser sollten datenschutzfreundliche Einstellungen verwendet werden. Dazu zählt die **Deaktivierung von Verlaufsaufzeichnung** und **Cookies**. In sozialen Netzwerken sollten die Standardeinstellungen so gewählt werden, dass persönliche Daten nur für ausgewählte Freunde sichtbar sind.

11. Warum ist Technikbewertung notwendig?

Ist Technik wertfrei? Was versteht man unter Technikbewertung überhaupt? Macht Technikfolgenabschätzung Sinn? Welche Werte oder Kriterien sind bei der Bewertung sinnvoll? Welche Typen von Technikbewertung gibt es und wer „betreibt“ Technikbewertung? Wie geht man Technikbewertung bzw. Technikfolgenabschätzung an?

Inhalt

Abstract	261
11.1 Wie wertgebunden ist die Technik?	264
11.2 Technikbewertung – Definition und Funktion	270
11.3 Aspekte, Werte und Kriterien der Technikbewertung	272
11.4 Typen der Technikbewertung	278
11.5 Organisation und Institutionalisierung der Technikbewertung.....	281
11.6 Ablauf und Methoden eines Technikbewertungsprojektes	284
11.7 Grenzen der Technikbewertung bzw. Technikfolgeabschätzung	288

Abstract

Technikbewertung fußt auf Werten, deshalb gilt der erste Abschnitt der Frage, wie eng die Verknüpfung der Technik mit Werten gesehen werden muss oder anders ausgedrückt: Ist die vorfindbare Technik das Ergebnis guter oder schlechter Wertentscheidungen und wie tragfähig sind letztendlich solche, einmal getroffenen Wertentscheidungen in der Zukunft? In Bezug auf die Einschätzung der Tragweite von Technikbewertung besitzt diese Frage einen essentiellen Charakter.

Die Problematik wird zunächst über die Definition von Werten aufgerollt. **Werte werden als Orientierungen des Handelns** verstanden, die einen **subjektiven Charakter** besitzen und innerhalb einer Gesellschaft differieren können (**Wertepluralismus**). Zudem erweisen sie sich als zeitlich veränderlich. Ändert sich der individuelle, soziale, gesellschaftliche, wirtschaftliche und auch technische Hintergrund, können sich auch die Werte ändern. Natürlich existieren Werte, die durch ihre rechtliche Fixierung in Gesetzen, Normen und Richtlinien allgemeinverbindlichen Charakter besitzen. Bis sie jedoch diesen Status besitzen, unterliegen sie einem **gesellschaftlichen Diskurs**. Genau diese öffentliche Auseinandersetzung kann zur Klärung der Wertpositionen und mithin zur **Lösung von Technikkonflikten** beitragen, die etwa dadurch entstehen, weil es **gesellschaftliche Differenzen** zwischen Wünschbarkeit und Machbarkeit gibt, oder Risiken unterschiedlich eingeschätzt werden.

Wie lassen sich Werte nun aber auf die Technik projizieren? Gibt es überhaupt eine gute oder schlechte Technik angesichts der Flüchtigkeit der Werte? Ist dann auch eine Technikbewertung in ihrem Sinn zu hinterfragen? Diese Fragen werden im Folgenden angegangen.

Ausgangspunkt ist der Rückbezug der gewordenen Technik auf die für sie **ursächlichen menschlichen Entscheidungen**, von denen angenommen werden kann, dass sie zumindest unter dem Bewusstsein eines bestehenden Wertegerüsts getroffen wurden. Die Argumentation folgt also dem ethischen Grundsatz, dass der **Wert eines Resultates einer Handlung den Wert der Handlung selbst bestimmt**. Dieser gegenseitige Bezug setzt den Wert einer Handlung mit dem des Ergebnisses gleich. Daraus resultiert Verantwortung für alle an einer Technologie beteiligten Menschen.

Eine bereits bestehende Technik kann demnach über ihre Folgen und auf der Grundlage bestehender und anerkannter Werte bewertet werden. Bei noch nicht realisierten Technologien ist dagegen eine prognostische Analyse der Folgen und deren anschließende Bewertung erforderlich. Eine solche Bewertung kann in Ermangelung besseren Wissens nur über die im Augenblick des Innovations- bzw. Schöpfungsaktes jeweils geltenden und als verbindlich angenommenen Werte erfolgen.

Zunächst schaut es also so aus, als ob Technik durchaus bewertet werden kann, sie also nicht wertfrei ist. Mehr noch, ethisches Handeln bedingt sogar, dass Technik bewertet werden muss.

Gegen eine solche Sichtweise, die – ist eine Technik einmal positiv bewertet – auch ein trügerisches Sicherheitsgefühl vermittelt, lassen sich allerdings auch Einwände geltend machen: Zum Beispiel, dass die einer Handlung zugrunde liegenden Entscheidungsgrundlagen vielfach als **vorläufig**, weil in ihren Folgen nicht absehbar zu gelten haben und dass auch das Ergebnis, die Technik selbst, wegen möglicher **Nebenfolgen** oder der **Multifunktionalität** nicht eindeutig klaren Wertungskategorien zugeordnet werden kann. Und wie soll ein Wertezusammenhang zwischen Handlung und Folgen hergestellt werden können, wenn **unklare Zuständigkeiten** das Bindeglied zwischen Ursache und Ergebnis, nämlich die konkrete Verantwortlichkeit, verdecken?

Eine klare Lösung dieses Problems der Unschärfe existiert nicht. Der einzige Ausweg scheint daher der zu sein, Handlungen im Kontext der Technik an solchen ethischen Maximen zu orientieren, deren Wertgrundlagen einem **breiten gesellschaftlichen Diskurs** entwachsen sind und die die Folgen von Technik immer verantwortlich mit bedenken. Genau dazu bedarf es Technikbewertung.

Was genau aber ist **Technikbewertung** und welche Ziele verfolgt sie? Dieser Frage nähern wir uns über die Definition von Technikbewertung in einer **Richtlinie des VDI (Verein Deutscher Ingenieure)** an.

Nach dieser Richtlinie bedeutet Technikbewertung das planmäßige, systematische, organisierte Vorgehen, das

- den Stand einer Technik und ihrer Entwicklungsmöglichkeiten analysiert,
- unmittelbare und mittelbare technische, wirtschaftliche, ökologische, humane, soziale und andere Folgen dieser Technik und möglicher Alternativen abschätzt,
- aufgrund definierter Ziele und Werte diese Folgen beurteilt oder auch weitere wünschenswerte Entwicklungen fordert,
- Handlungs- und Gestaltungsmöglichkeiten daraus herleitet und ausarbeitet,

so dass begründete Entscheidungen ermöglicht und gegebene durch geeignete Institutionen getroffen und verwirklicht werden können.

Wie in der Definition der Technikbewertung bereits dargelegt ist, sind die Folgen der Technik in Richtung verschiedener Dimensionen zu bedenken. Daher widmet sich der nächste Abschnitt den verschiedenen **Aspekten**, die im Kontext der Technikbewertung eine Rolle spielen. Die Analyse dieser

Aspekte führt letztlich zu den Werten, die man bei der Technikbewertung zugrunde legen kann, und die von verschiedenen gesellschaftlichen Gruppen mit leicht unterschiedlichen Akzentuierungen formuliert werden. Der VDI hat mit seinem **Werte-Oktogon acht übergeordnete Werte** dargelegt, die jeweils in einem Bedeutungszusammenhang zueinander stehen. Sie bedingen sich teilweise, führen – beim Versuch zeitgleicher Realisation – aber auch zu Konfliktpotentialen.

Da Werte relativ allgemeingültige Ziele bzw. Maßgaben für das technische Handeln darstellen, reichen sie als konkrete Vorgaben bzw. Kriterien für die Realisierung naturwissenschaftlich-technischer Aufgaben nur bedingt aus. Es sind demnach weitere Kriterien notwendig, deren Berücksichtigung bei der Planung und Konstruktion technischer Systeme, Prozesse oder Produkte die Werte im Einzelnen erst anwendbar machen.

Ergebnis und Konsequenzen einer Technikbewertung sind nicht unerheblich von dem **Zeitpunkt ihrer Durchführung** sowie dem eigentlichen **Anlass** abhängig. Man unterscheidet daher beim Zeitpunkt zwischen der **innovativen, der reaktiven oder der retrospektiven Technikbewertung**. Nach dem Anlass kann eher die technikinduzierte, die problemorientierte oder die projektorientierte Technikbewertung unterschieden werden.

Wünschenswert wäre die problemorientierte, innovative Technikbewertung, da nur sie sicherstellt, dass eine Orientierung an den Bedürfnissen und Wünschen der später Betroffenen stattfindet.

Technikbewertungsprojekte sind komplexe Aufgaben, die sich grundsätzlich in folgende **Schritte** unterteilen lassen: Definition und Strukturierung des Problems, Folgenabschätzung, Bewertung, Entscheidung. Innerhalb dieser Phasen können **quantitative und qualitative Methoden** zum Einsatz gelangen.

Die Grenzen der Technikbewertung liegen auf der Hand: Die sich verändernden Werte, insgesamt der Wertepluralismus und vor allem auch der beständige Fortschritt an Wissen sind Gründe, Entscheidungen über den Nutzen und die Risiken der Technik stets auch als vorübergehend zu betrachten.

Schlüsselwörter	
Werte als Leitbild oder Handlungsziel	Vermeidung negativer Auswirkungen und Folgen von Technik als Aufgabe der Technikbewertung
Wertepluralismus	
Grundwerte	Technikbewertung als Mittel zur Innovationsförderung
Veränderlichkeit der Werte	Aspekte der Technikbewertung
Wertfreiheit der Technik?	Werteoktogonal des VDI
Technik als Folge bewusster Entscheidungen	Gestaltungsrichtlinien als Grundlage für die Bewertung der Technik
Unbeabsichtigte Folgen der Technik	Typen der Technikbewertung, Unterscheidung nach Anlass oder Zeitpunkt
Problem der Zuständigkeit und Verantwortung	Reaktive und innovative Technikbewertung
Wertpolarität	Organisation und Institutionalisierung der Technikbewertung
Funktionsvariabilität und Ambivalenz der Technik	Bürger- oder Konsensuskonferenz
Notwendigkeit der Technikbewertung und Technikfolgeabschätzung	

<i>Technikpotenzialanalyse</i> <i>Verein Deutscher Ingenieure (VDI)</i> <i>gesellschaftlichen Diskurs als Aufgabe der Technikbewertung</i>	<i>Quantitative und qualitative Methoden der Technikbewertung bzw. Technikfolgenabschätzung</i> <i>Grenzen der Technikbewertung bzw. Technikfolgeabschätzung: Wertkonflikt, mangelndes Wissen</i>
--	--

11.1 Wie wertgebunden ist die Technik?

Bevor die Technikbewertung konkret behandelt wird, zunächst ein paar allgemeine Überlegungen zur Grundlage jeder Bewertung, den Werten.

Wert - Definition

Bei Werten kann es sich um Leitbilder, Lebensziele oder auch um Lebensinhalte handeln, die entweder als Bereicherung oder sogar als existenziell angesehen werden. Zeigt jemand, dass er etwas schätzt, anerkennt und damit auch akzeptiert oder bei seinen Entscheidungen und Handlungen berücksichtigen will, bezieht er es jeweils auf bestimmte Werte. Sie dienen demnach auch als **Orientierungen für das Handeln**.

Neben der Bedeutung als **Leitbild** oder **Handlungsziel**, versteht man unter einem Wert auch den **Grad der Nützlichkeit eines Gutes** (einer Sache oder Handlungsmöglichkeit) im Hinblick auf die Erfüllung eines Zwecks. Der Wert von etwas stellt aber keine Eigenschaft an sich dar, sondern allein eine vom Menschen durch seine Fähigkeit zu werten zuerkannte Wesenheit. Sie kann nur in Bezug auf ein anderes Gut vorgenommen werden. Bewerten bedeutet daher auch, den **ökonomischen Wert** eines Gutes einzuschätzen.

Hier soll der Blick zunächst auf Werte und ihre Bedeutung als Handlungsmaximen beschränkt bleiben.

Wertpluralismus – Werte zwischen Subjektivität und Verbindlichkeit

Individuelle Werte und die damit verbundenen **Einschätzungen sind subjektiv**, weil sie von den jeweiligen **Bedürfnissen und Rollen** der Menschen, ihrem Wissensstand oder auch von der psychischen Verfassung beeinflusst sind. Andererseits basieren individuelle Werte aber auch auf einem Fundament allgemein in der Gesellschaft anerkannter Werte, die teilweise zumindest als **Normen oder Gesetze rechtlich bindend** sind und dadurch das Zusammenleben in einer Gemeinschaft ermöglichen. Solchen Werten liegen jeweils anthropologische Vorentscheidungen zugrunde, man spricht auch von **Grundwerten** oder einem entsprechenden Menschenbild. Freilich sind auch diese Grundwerte nicht immer in Stein gemeißelt, wie etwa Diskussionen um Gentechnik, Präimplantationsdiagnostik oder Sterbehilfe zeigen.

Einflüsse auf die Technikakzeptanz

Wenn der Mensch Technik bewertet, vollzieht sich das vor dem jeweiligen individuellen, sozialen und auch wirtschaftlichen Hintergrund. Es wirken also verschiedene **Faktoren** auf das jeweilige **Wertesystem**. Zu nennen sind beispielsweise die Geschwindigkeit und Eigendynamik einer technischen Entwicklung, die Komplexität oder der Grad der Bedürfnisbefriedigung, der mit Technik erreicht werden kann, der Aufwand für die Realisierung der Technik sowie die möglichen Auswirkungen auf Arbeitsplätze. Nicht zu unterschätzen sind zudem psychologische Aspekte, wie sie etwa durch Marketingstrategien und Werbung ausgelöst werden. All diese Aspekte beeinflussen den Wertehorizont und damit den Grad an Technikakzeptanz.

Veränderlichkeit der Werte – Wertfreiheit der Technik?

Die Technikakzeptanz und die damit verbundenen Einstellungen zur Technik von Personen oder gesellschaftlichen Gruppen können sich im Laufe der Zeit wandeln. Gründe dafür sind etwa veränderte **individuelle Interessenslagen**, **Bedürfnisverschiebungen** oder der **Wissenszuwachs**. Dies alles trägt zur Pluralität von Einstellungen und Meinungen bei und kann Konfliktpotenzial bergen, etwa wenn Differenzen zwischen Wünschbarkeit und Machbarkeit, Fortschritt und Beharrung oder ethischen Prinzipien und Risiken offen zu Tage treten.



Abb. xx: „Hab Dein altes T-Shirt aus den 70ern gefunden, Papa!“ (Donaukurier vom 13.07.2008, S. 2)

Diese scheinbare Beliebigkeit der Werthaltungen, die man gegenüber der Technik einnehmen kann, führt zur Frage, ob die Technik selbst nicht **wertfrei** zu stellen ist, sie also als neutrale Sache aufzufassen ist? Damit verbunden ist die Frage, ob dann Technikbewertung überhaupt Sinn macht?

Technik im Zusammenhang zwischen Handlung und Folge

Um uns der Beantwortung dieses Problems anzunähern, muss man einen Schritt zurückgehen und uns in Erinnerung rufen, dass wir **Technik als Artefakte oder Sachsysteme** definiert haben, die im Gegensatz zu künstlerischen Artefakten **nie zweckfrei**, sondern Ergebnis eines zielgerichteten, antizipierten Entstehungsprozesses sind. Ein zweiter Aspekt, der bei Frage nach der Wertfreiheit der Technik helfen kann, wird beispielsweise von Bernward Joerges (1988) als **Handlungsanschluss** definiert und meint, dass technische Geräte allein durch ihre Konstruktion menschliche Handlungen bereits determinieren.

Stellen wir uns also **Technik als Ergebnis und determinierende Voraussetzung menschlicher Handlungen** vor, so kann man – wenngleich auch Bedenken gegen diese Position vorzutragen sind – zunächst unterstellen, dass den schöpferischen Handlungen bewusste Entscheidungen zugrunde gelegen haben bzw. liegen. Christoph Hubig (1993, S. 52) stellt die Fülle solcher Entscheidungssituationen in einer Übersicht dar (s. Abb. xx). Als Entscheidungsgrundlagen können von Fall zu Fall das Wissen um naturwissenschaftlich-technische Zusammenhänge, bestimmte Normen oder ethische Grundsätze sowie das Bewusstsein um mögliche Nebenfolgen angenommen werden.

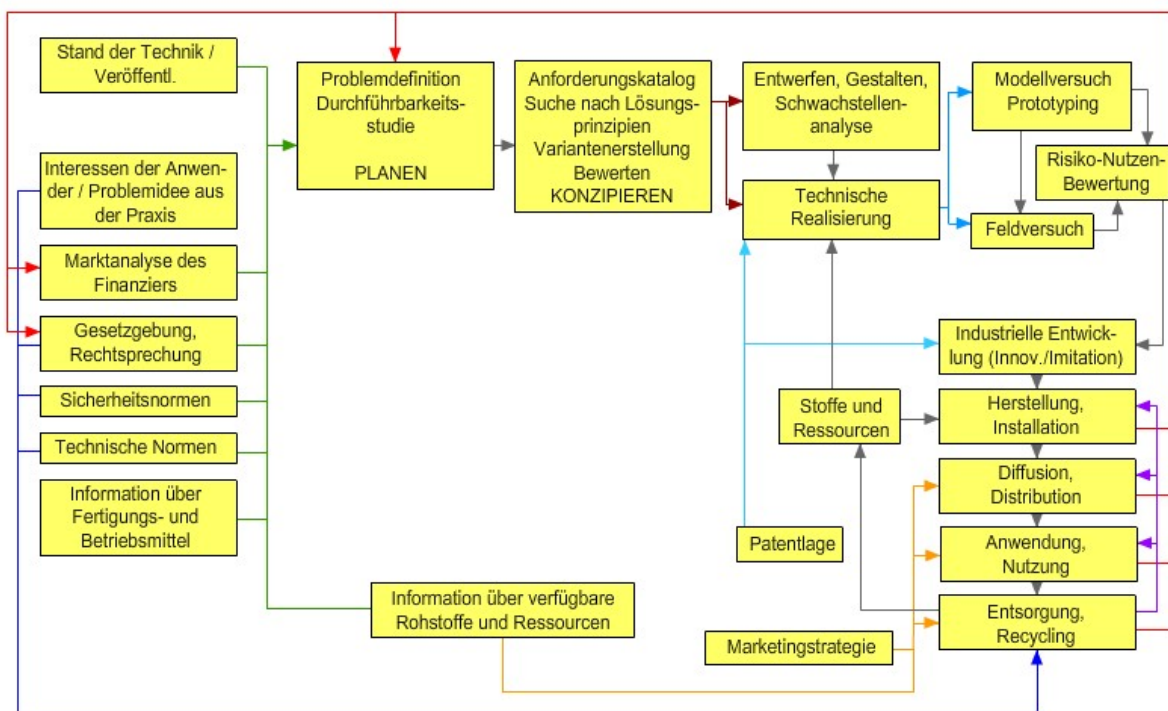


Abb. xx: Entscheidungssituationen in technischen Innovationsprozessen (Hubig 1993, S. 52)

Ein ethischer Grundsatz lautet, dass der **Wert eines Resultates einer Handlung den Wert der Handlung selbst bestimmt**. Dieser gegenseitige Bezug setzt den Wert einer Handlung mit dem des Ergebnisses gleich und führt uns dazu, die die Technik auslösende Handlung über die Folgen zu bewerten. Das kann freilich nur über die jeweils im Augenblick des Schöpfungsaktes geltenden und als verbindlich angenommenen Werte erfolgen. Aus diesem Wertezusammenhang resultiert Verantwortung.

Legen wir dann ethische Prinzipien an das Handeln an, welche ihrerseits wiederum an Werten festgemacht sind, ist dieses nach Ansicht von Philosophen nur dann verantwortbar, wenn

- deren absehbare Folgen nicht irreversibel sind, also zukünftigen Generationen die Möglichkeit einräumt, über sich selbst zu bestimmen;
- sichergestellt wird, dass alle zur Zeit möglichen Anstrengungen zur Abklärung noch unbekannter Nebenfolgen unternommen worden sind;
- deren absehbare und einstweilen noch unbekannte Folgen stets nicht nur auf die nationale, sondern auch auf die internationale Population bezogen wurde (Detzer 1989, S. 44).

Unter Berücksichtigung eines kontinuierlichen Zusammenhangs von Wissen und Werten, Entscheidung, daraus resultierenden Handlungen und Verantwortung ließe sich somit Technik als gut oder schlecht einordnen. Zudem scheint diese Argumentationskette die Notwendigkeit einer Technikbewertung unter Beweis zu stellen.

Beabsichtigte Technik – unbeabsichtigte Nebenfolgen

Freilich, die Einwände gegen die Sichtweise, Technik als bedingte Folge menschlicher Entscheidungen und bereits dadurch als wertgebunden zu betrachten, sind nicht unerheblich. Vor allem deshalb, weil angenommen werden muss, dass gerade bei technischen Innovationen weder der Herstellungszusammenhang noch viel weniger aber der Verwendungszusammenhang immer exakt vorhergesagt werden kann und somit die für die jeweilige Technik bzw. Technologie relevanten **Entscheidungsgrundlagen** in vielen Fällen als **vorläufig** gelten müssen.

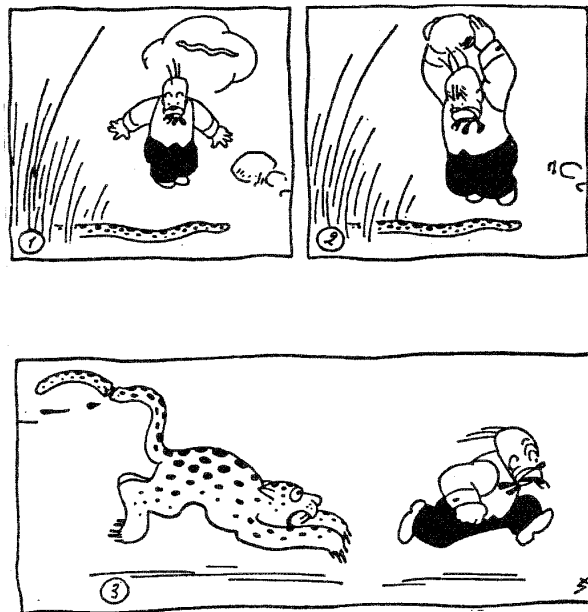


Abb. xx: Problem der Risikobewertung (aus: Compes 1989, S. 103)

Wird zum Beispiel ein Medikament zugelassen, das Erfolge gegen Krebs verspricht, dessen **Nebenfolgen** aber erst später erkannt werden, so kann die Einführung als erwünschtes, letztlich auch gutes Handeln betrachtet werden. Sind die nicht beabsichtigten Handlungsfolgen entdeckt, wird das ursprüngliche Handeln neu zu bewerten sein.

Mit anderen Worten: Was einmal als gute und zielführende Entscheidung eingeschätzt wurde, muss eventuell zu einem späteren Zeitpunkt neu bewertet werden. Gerade die **Technikgeschichte** weist eine lange Liste möglicher Nebenfolgen technischer Artefakte und Sachsysteme auf: Unfälle in technischen Anlagen, schädliche Folgen für die natürliche Umwelt, soziale und kulturelle Nebenfolgen oder der absichtliche Missbrauch von Technik (Grunwald 2002, S. 24 ff.). Andererseits wurde aber auch der positive wirtschaftliche oder soziale Effekt einzelner Technologien anfangs entweder gar nicht erkannt oder völlig falsch eingeschätzt.

Betrachtet man den Zusammenhang zwischen technischen Entscheidungen und den daraus resultierenden Folgen noch näher, rückt ein weiteres Problem in den Blick, nämlich die Frage nach dem *konkret* Verantwortlichen für die Folgen. Während sich nämlich die **Verantwortung** für die Handlungsfolgen etwa beim Einsatz eines Handwerkzeugs noch direkt an einer konkreten Person festmachen lassen, werden die Zuständigkeiten mit zunehmender Dimension der Technik unklarer. Mit der Inbetriebnahme eines technischen Systems beispielsweise, realisiert der Bediener ja nicht nur seinen Willen, sondern ermöglicht die Umsetzung des dem System von anderen implizierten Handlungszweckes. Auch mit zunehmendem zeitlichem Abstand zur erstmaligen Realisierung wird das Problem der Verantwortung unübersichtlicher.

Dem Individuum, sei es der einzelne Wissenschaftler, dem Ingenieur oder Techniker, die alleinige Verantwortung für Handlungsfolgen zuschreiben zu wollen, würde zudem bedeuten, die Wirkmächtigkeit von arbeitsteilig organisierten Institutionen und Organisationen bei der Ausgestaltung der Möglichkeitsspielräume zu verkennen (vgl. Hubig 1993). Klaus Kornwachs (1991, S. 195) weist allerdings darauf hin, dass es unterschiedliche Arten der Verantwortung gibt, die es gilt, wahrzunehmen: „Die Information der Betroffenen ist wohl die billigste, die Mitberatung der Beteiligten das Erforderliche. Die Mitbestimmung im gesetzlichen Sinne ist bekannt, sie liegt sozusagen in der Mitte. Dazu kommt die Mitentscheidung und das, was die meiste Zeit und die meiste Kompetenz erfordert, aber auch das größte Engagement, die Mitverantwortung.“

Technik – das „janusköpfige Wesen“ oder die Folgen der Technik

Das Problem mit der Entscheidung für oder gegen etwas und damit mit der Verantwortung fängt bereits bei den Voraussetzungen für die Technik an, bei Wissenschaft und Forschung. Hier stellt sich beispielsweise die Frage, ob es eine, von ihren Ergebnissen und deren Verwendung aus betrachtete, **zweckfreie Grundlagenwissenschaft** gibt, oder ob bereits die **Zustimmung zur Grundlagenforschung** die **Zustimmung zu den späteren Anwendungsmöglichkeiten** bedeutet.

Doch nicht nur die wissenschaftlichen Voraussetzungen der Technik besitzen einen ambivalenten Charakter: Auch der eigentliche Zweck der Technik offenbart oft schon im Ansatz die **Wertpolarität**. Technik kann also ein *„janusköpfiges Wesen sein, dessen eines Gesicht optimistisch in eine Zukunft vollkommenen Fortschritts, dessen anderes bedrohend in eine Zukunft unabsehbarer Gefahren“* weist, wie Wilhelm Ebert (1995, S. 153) am Beispiel der Kernspaltung aufzeigt, die bei ihrer Entdeckung auf der einen Seite die Gewinnung unerschöpflicher Energie-Ressourcen verhieß, auf der anderen Seite die Entwicklung einer schrecklichen Waffe, der Atombombe. Auch die heute so dominierende Informations- und Kommunikationstechnik hat zwei Gesichter: Zwar erweitert sie den Handlungsspielraum des Menschen, gleichzeitig bedroht sie aber auch seine Identität, etwa durch den Abbau an Privatheit (vgl. Hubig/ Jelden 1994, S. 29). Generell scheint es wohl so, dass technische Innovationen immer sowohl Gewinner als auch Verlierer zur Folge haben (Grunwald 2002, S. 34).

Beispiel

Republik im Raster

Ein Fahndungserfolg nach einem Holzklotzanschlag auf ein fahrendes Auto mit tödlichem Ausgang zeigt, wie selbstverständlich sich Fahnder mittlerweile der massenhaften Auswertung von Telefonaten bedienen. Am Morgen nach dem Anschlag beantragt die Polizei den Zugriff auf sämtliche möglicherweise relevanten Handy-Verbindungsdaten im Umkreis des Tatorts. Moderne Mobilfunkgeräte funktionieren ähnlich wie ein Peilsender, der in regelmäßigen Abständen ein Ortungssignal abgibt.

Sind die Funkzellen genau vermessen, kann genau ermittelt werden, wo sich ein Handy zu einem fraglichen Zeitpunkt befunden hat.



Weil der Bundestag zum 1.01.2008 per Gesetz verfügt hat, dass sämtliche Verbindungsdaten ein halbes Jahr gespeichert werden müssen, existiert in den Archiven der Unternehmen ein Profil, wann sich welcher Handykunde wo aufgehalten und mit wem er kommuniziert hat.

Über die Bestimmung der Anrufe zur fraglichen Zeit im fraglichen Umfeld der Tat, ermitteln die Fahnder einen Mann, der später gesteht.

(nach Der Spiegel 30/2008, S. 43-44)

Notwendigkeit der Technikbewertung und Technikfolgeabschätzung

Die zum Zeitpunkt der Entstehung nicht immer klar definierbare **Funktionsvariabilität**, das Problem der Verantwortung sowie die Ambivalenz der Auswirkungen bzw. die technisch-naturwissenschaftliche Anschlussfähigkeit (*technology push*) einer technischen Innovation lassen

momentane Werthaltungen gegenüber der Technik demnach als zeitlich veränderbare Einschätzungen erscheinen.

Dies aber als Grund für die Nutzlosigkeit von Technikbewertung oder Technikfolgenabschätzung deuten zu wollen, wäre fatal. In Gesellschaften, deren kulturelle und wirtschaftliche Grundlagen so eng mit Technik verwoben sind, ist eine **umfassende Auseinandersetzung mit Technik existenziell**. Eine solche Auseinandersetzung sollte öffentlich geführt werden und kann nie enden, weil sich die Grundlagen für die Technik ja auch ständig ändern. Technik muss immer wieder aufs Neue auf der Basis des momentanen Standes an Wissen und Werten eingeschätzt werden. Dieser Vorgang lässt sich verdichtet mit dem Begriff **Technikbewertung** umschreiben. Technikbewertung darf dabei nicht allein auf den augenblicklichen technischen, sozialen und kulturellen Hintergrund fixiert bleiben, sondern muss versuchen, Ausmaß und Folgen des augenblicklichen naturwissenschaftlich-technischen Handelns für die **Zukunft** mit einzuschätzen. Das Ziel muss es sein, Handlungen an solchen ethischen Maximen zu orientieren, deren Wertgrundlagen einem breiten gesellschaftlichen Diskurs entwachsen sind und die die Folgen von Technik immer verantwortlich mit bedenken.

Der Begriff **Technikbewertung** wird bei etlichen Autoren als Sammelbegriff verwendet und umfasst dann sowohl die prognostische **Technikfolgeabschätzung** (engl. Technology Assessment, kurz TA), als auch eine Analyse historischer und aktueller Technik auf der Grundlage bestimmter Werthaltungen und Normen. Ebenfalls auf die Zukunft gerichtet, aber nicht allein auf die Folgenproblematik abzielend ist der Begriff **Technikpotenzialanalyse**.

11.2 Technikbewertung – Definition und Funktion

Technikbewertung – Definition des VDI

Einer der größten technisch-wissenschaftlicher Vereine in Europa, der **Verein Deutscher Ingenieure (VDI)** ist 1856 unter anderem deswegen gegründet worden, um Unfälle mit technischen Anlagen durch die Erarbeitung von Sicherheitsstandards zu verhindern. Zu den Hauptaufgaben des VDI zählt es, technische Normen zu erarbeiten. Für die Bildung dieser Normen spielen immer auch nichttechnische Aspekte eine Rolle (z.B. wirtschaftlicher oder gesundheitlicher Aspekt). Der VDI hat sich Anfang der siebziger Jahre eingehend mit Technikbewertung beschäftigt und 1991 die Norm VDI 3780 "Technikbewertung — Begriffe und Grundlagen" vorgelegt.

Nach dieser Richtlinie bedeutet Technikbewertung das planmäßige, systematische, organisierte Vorgehen, das

- den Stand einer Technik und ihrer Entwicklungsmöglichkeiten analysiert,
- unmittelbare und mittelbare technische, wirtschaftliche, ökologische, humane, soziale und andere Folgen dieser Technik und möglicher Alternativen abschätzt,
- aufgrund definierter Ziele und Werte diese Folgen beurteilt oder auch weitere wünschenswerte Entwicklungen fordert,
- Handlungs- und Gestaltungsmöglichkeiten daraus herleitet und ausarbeitet,

so dass begründete Entscheidungen ermöglicht und gegebene durch geeignete Institutionen getroffen und verwirklicht werden können.

Funktionen und Ziele der Technikbewertung bzw. der Technikfolgenabschätzung

Angesichts der Implikationstiefe so mancher Technologien sollte eine eingehende Auseinandersetzung und Bewertung technischer Entwicklungen in demokratischen Gesellschaften eine Selbstverständlichkeit sein. Während aber im privaten Bereich, etwa bei Konsumententscheidungen, die Konsequenzen vorausschauender Abwägung direkt erlebt werden können, ist es bei technischen Großprojekten oder Innovationen ungleich schwieriger, sich einen Überblick verschaffen. Wenn dann noch das Wissen über Grundlagen und Details der jeweiligen Technologie fehlt, wächst das Gefühl, ohnehin nichts am Ergebnis einer (technischen) Entwicklung ändern zu können. Ein weiterer Grund für Unsicherheit liegt auch darin begründet, dass es naturgemäß einfacher ist, eine vorhandene Technik zu bewerten, als eine, deren Folgen bestenfalls prognostisch vorhergesagt werden können.

Eine Hauptaufgabe der Technikbewertung ist es daher, einen **gesellschaftlichen Diskurs** anzustoßen, der dafür sorgt, dass Bürger und politische Entscheidungsträger über die Grundlagen und Folgen von Technik besser informiert werden und bereits im Vorfeld technischer Entwicklungen reflektiert Stellung dazu beziehen können. Technikbewertung besitzt in diesem Zusammenhang eine **Informationsfunktion**.

Eine weitere Hauptaufgabe der Technikbewertung ist natürlich die **Vermeidung negativer Auswirkungen und Folgen von Technik**. Von der Wirtschaft namentlich von den Schöpfern der Technik, den Ingenieuren und Technikern wird deshalb eine gründliche Technikfolgenabschätzung bei all ihren geplanten Produkten verlangt. Sie soll verhindern, dass die technischen Gebilde *„ohne Rücksicht auf die darüber hinausgehenden Resultate in den Strom des sozialen und kulturellen Geschehens entlassen [werden], wo sie ihre eigene, über die ursprüngliche Zielsetzung hinausführende, unkontrollierte und vorher nicht absehbare Wirkung entfalten.“* (Rapp 1993, S. 34)

Eine Technikbewertung, die jedoch allein auf die negativen wirtschaftlichen, gesellschaftlichen oder individuellen Auswirkungen fixiert bleibt, vernachlässigt das Potential ihrer Entwicklungsmöglichkeiten. So gesehen kann Technikbewertung auch ein **Mittel zur Innovationsförderung** sein.

Zusammenfassend lassen sich mit Technikbewertung und Technikfolgenabschätzung folgende Ziele verfolgen:

- Die Förderung reflektierter privater Konsum- oder politischer Entscheidungen;
 - die Kontrolle und Beratung von öffentlichen oder politischen Entscheidungsinstanzen sowie Unternehmen;
 - die Sicherstellung spezifischer und ökonomischer Unternehmensziele;
 - die Vermeidung schädlicher Nebenfolgen;
 - die Erarbeitung ethischer Richtlinien;
 - die ganzheitliche Gestaltung und Steuerung des technischen Fortschritts
- auf der Grundlage der Analyse und Vorausschau technischer, gesellschaftlicher, wirtschaftlicher und kultureller Bedingungen.

11.3 Aspekte, Werte und Kriterien der Technikbewertung

Aspekte der Technikbewertung – Grundlage für Werte und Bewertungskriterien

Technik ist vielschichtig und nicht allein vom Wissensstand einer Wissenschaft aus zu bewerten. *„Technik hat nicht nur eine naturale, sondern auch eine humane und eine soziale Dimension. Darum kann man die Bedingungen und Folgen der Technisierung nur verstehen, wenn man einschlägiges Wissen gleichermaßen aus der Natur und Technikwissenschaften wie aus Geistes- und Sozialwissenschaften problembezogen zusammenführt.“* (Ropohl 1993, S. 261)

Aus diesen verschiedenen Wissenschaftsbereichen ergeben sich verschiedene **Aspekte**, die teilweise **voneinander unabhängig**, teilweise jedoch in einem **proportionalen oder sogar umgekehrt proportionalen Verhältnis** zueinander stehen. Angeführt können hier werden:

- Naturwissenschaftlich-technischer Aspekt
- Ökonomische Aspekt
- Ökologischer Aspekt
- Anthropogener Aspekt
- Sozialer Aspekt
- Rechtlicher Aspekt
- Ethischer Aspekt

Die Aspekte im Einzelnen: *Naturwissenschaftlich-technischer Aspekt*

Eine Technikbewertung unter einem vorrangig naturwissenschaftlich-technischen Aspekt besitzt den Vorteil klarer Bewertungskriterien, mit denen beispielsweise die technische Effizienz eingeschätzt werden kann: Im Mittelpunkt stehen hier zumeist objektiv erfassbare Werte wie Leistung, Drehmoment, Wirkungsgrad o.ä.

Daneben kann zum naturwissenschaftlich-technischen Aspekt auch die Funktionsfähigkeit gezählt werden, die etwa über den Grad der Befriedigung der Nutzungsbedürfnisse, der Brauchbarkeit, beurteilt werden kann.

Ökonomischer Aspekt

Unter einer primär ökonomischen Sichtweise wird man Technik vorrangig nach ihrer Wirtschaftlichkeit in betriebswirtschaftlicher oder in volkswirtschaftlicher Hinsicht betrachten. Im Vordergrund steht damit die Frage nach dem Zusammenhang zwischen Aufwand und Nutzen bzw. Ertrag einer Technik oder einer Technologie.

Ökologischer Aspekt

Umwelt und Technik stehen zwangsläufig in einem gewissen Spannungsverhältnis, das auch dadurch nicht entschärft wird, dass zunehmend von Umwelttechnik gesprochen wird. Technik bedeutet die Nutzbarmachung der Umwelt für die Befriedigung menschlicher Bedürfnisse. Dadurch werden die Umweltbedingungen für den Menschen zwar erträglicher, andererseits werden neue Umweltbedingungen geschaffen, die ihrerseits gegebenenfalls wieder technische Herausforderungen nach sich ziehen.

Anthropogener Aspekt

Der Einsatz der Technik hat zu einer Ausweitung und Steigerung der Effektivität menschlicher Dispositionen und teilweise auch zu einer Substitution menschlicher Fähigkeiten geführt. Allerdings tritt neben diesen zunächst positiven Aspekt das Problem, dass nicht jeder mit Technik erreichbare Zweck allen Menschen gleichermaßen nützt, beziehungsweise, dass die zur Erreichung der Zwecke verwendeten Mittel nicht für jeden Menschen gleichermaßen verträglich sind.

Sozialer Aspekt

Die sozialen Beziehungen des Menschen fügen sich zu verschiedenen Formen des Zusammenlebens wie Freundschaften, Familien, sonstigen Gemeinschaften oder im größeren Rahmen zu politischen Gemeinwesen. Unbestritten greift die Technik in diese Beziehungen in mannigfaltiger Weise ein. Dies kann positive Auswirkungen haben, wenn beispielsweise die Möglichkeiten der Kommunikation die menschlichen Beziehungen vertiefen. Problematisch wird es beispielsweise dann, wenn die technischen Möglichkeiten ungerechtfertigte Machtverhältnisse schaffen.

Hinsichtlich der Sozialverträglichkeit von Technik lassen sich in Anlehnung an Thienen (1988, S. 169) folgende Faktoren als Beurteilungsgrundlage aufführen: Verfassungs- und Gesetzeskonformität, Sicherung der Autonomie des Individuums, Möglichkeit, sich aus Techniken zurückzuziehen (Zukunftsoffenheit technischer Optionen) und breite Zustimmung der Bevölkerung bzw. der betroffenen gesellschaftlichen Gruppen zu technologischen Entwicklungen.

Rechtlicher Aspekt

Forschung, Entwicklung, Konstruktion, Herstellung sowie Verwendung und Außerbetriebnahme technischer Systeme oder mit technischen Systemen veränderte Naturprodukte berühren nicht selten rechtliche Aspekte. Zum einen müssen sämtliche Tätigkeiten und Ergebnisse der Phasen eines Produktlebenszyklus in Bezug auf rechtlich abgesicherte Positionen von Herstellern, Anwendern und

Folgebetroffenen analysiert werden. Zum anderen sind technische Innovationen mitunter erst die Auslöser, die durch sie entstandenen rechtlichen Leerstellen zu definieren. Durch Gesetze, Verordnungen und die damit verbundenen Verbote und Gebote übt der Staat einen erheblichen Einfluss auf technologische Entwicklungen aus.

Ethischer Aspekt

Fasst man Ethik als Summe handlungsleitender Normen und Werten auf, ist der ethische Aspekt gewissermaßen Voraussetzung aber auch Ziel einer Technikbewertung. Voraussetzung deshalb, weil alle anderen Aspekte nur auf dem Boden ethischer Prinzipien diskutiert werden sollten. Ziel, weil die Bewertung von Technik selbst einen Beitrag zur Grundlegung ethischer Prinzipien leisten kann.

Werte im technischen Handeln nach dem VDI

Aus der Analyse dieser Aspekte lassen sich Ziele und Kriterien des Handelns ableiten, wir sprechen dann von Werten. Die nachfolgende Darstellung („**Werteoktogen**“), die der VDI-Richtlinie „Technikbewertung“ entnommen ist, zeigt acht **Grundwerte**, die die Basis für alles technische Handeln bilden sollen und deren Schutz vor allem Institutionen obliegt. Ziel dieses technischen Handelns soll es sein, die menschlichen Lebensmöglichkeiten zu sichern und zu verbessern (VDI 1991, S. 7).

Zwischen den einzelnen Werten bestehen **Bedingungsbeziehungen** und **Konkurrenzverhältnisse**. Sie werden jeweils durch die verschiedenen Pfeile ausgedrückt. So besteht beispielsweise ein Zusammenhang zwischen der Funktionsfähigkeit eines technischen Produktes und seiner Wirtschaftlichkeit. Die Wirtschaftlichkeit in einzelnen Bereichen begründet wiederum den gesamtwirtschaftlichen Wohlstand usw. Konfliktpotential kann beispielsweise auftreten zwischen der Wirtschaftlichkeit eines Produktes und der Berücksichtigung der Umweltqualität.

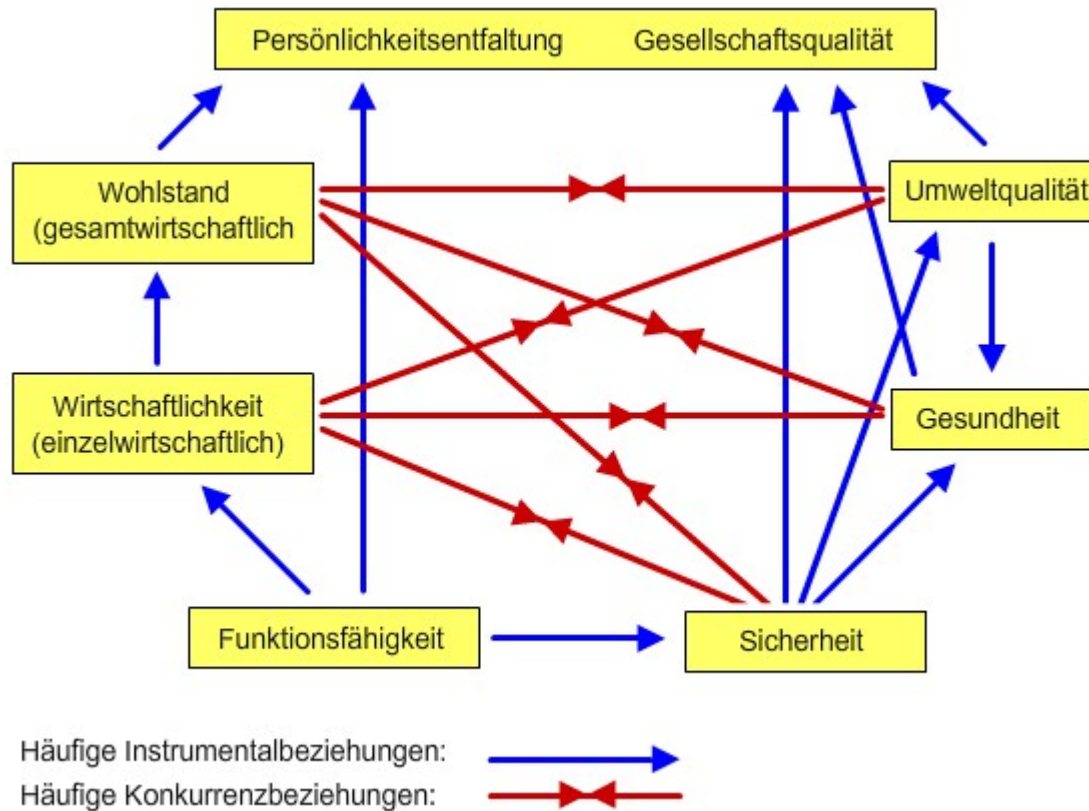


Abb. xx: Werte im technischen Handeln (VDI 3780)

Den in der VDI-Richtlinie 3780 vorliegenden acht übergeordneten **Wertebereichen** lassen sich jeweils **Unterwerte** zuordnen. Auch die gemeinsame Berücksichtigung dieser Unterwerte kann Konfliktpotential aufwerfen.

Tabelle xx: Werte und Unterwerte im technischen Handeln (VDI 3780)

Funktionsfähigkeit: - Brauchbarkeit - Machbarkeit - Wirksamkeit - Perfektion - Einfachheit - Robustheit - Zuverlässigkeit - Lebensdauer - Technische Effizienz -	Wirtschaftlichkeit (einzelwirtschaftlich): - Kostenminimierung - Rentabilität - Unternehmenssicherung - Unternehmenswachstum -
Wohlfahrt (gesamtwirtschaftlich): - Bedarfsdeckung - quantitatives und qualitatives Wachstum - Vollbeschäftigung	Sicherheit: - körperliche Unversehrtheit - Lebenserhaltung des einzelnen Menschen und der Menschheit

- Verteilungsgerechtigkeit - ...	- Minimierung des Betriebsrisikos, des Missbrauchrisikos,...
Gesundheit: - Körperliches Wohlbefinden - Psychisches Wohlbefinden - Steigerung der Lebenserwartung - Minimierung der gesundheitlichen Belastung in der Berufsarbeit, der privaten Lebensführung, ... - ...	Umweltqualität: - Landschaftsschutz - Artenschutz - Ressourcenschonung - Minimierung von Emission, Immission und Deponaten - ...
Persönlichkeitsentfaltung und Gesellschaftsqualität: - Handlungsfreiheit - Informations- und Meinungsfreiheit - Kreativität - Beteiligungschancen - Soziale Kontakte und soziale Anerkennung - Solidarität und Kooperation - Kulturelle Identität - Ordnung, Stabilität und Regelhaftigkeit - Gerechtigkeit - ...	

Werte der christlichen Kirchen

Natürlich ist der VDI nicht die einzige Instanz, die Werte im Kontext von Technikbewertung definiert. Ein von beiden christlichen Kirchen aufgestellter Wertekatalog beinhaltet folgende Werte:

- Überschaubarkeit,
- Rückholbarkeit,
- Fehlertoleranzfreundlichkeit,
- Bedürfnisgerechtigkeit,
- Lebensdienlichkeit,
- Menschengerechtigkeit,
- Sozialverträglichkeit,
- Naturverträglichkeit und
- Friedensförderlichkeit von Technik (Zweck 1993, S. 136).

Gerade mit Blick auf die Implikationstiefe moderner Schlüsseltechnologien, wie der Informations- und Kommunikationstechnik auf sozioökonomische und politische Prozesse, wünscht man sich bei den Listen noch einige Werte hinzuzufügen, beispielsweise:

- Akzeptanz
- Datenschutz und -sicherheit
- (Erhalt der) Demokratie
- Fehlerfreundlichkeit
- Gemeinwohl
- Geschlechtsspezifische Kriterien
- Kulturverträglichkeit
- Nachhaltigkeit (sustainable development)
- Partizipation
- Qualifikationsentwicklung
- Recyclebarkeit
- Verbraucherschutz

11.4 Typen der Technikbewertung

Für die Beurteilung des Ergebnisses einer Technikbewertung sind Anlass und Zeitpunkt ihrer Durchführung relevant (vgl. Kornwachs/ Meyer 1995, S. 119; Ropohl 1993). So macht es ja durchaus einen Unterschied, ob man beispielsweise eine bereits vorhandene Technologie allein im Hinblick auf die Lösung eines technischen Problems oder aber im Hinblick auf gesellschaftliche Probleme, Auswirkungen, Chancen oder Risiken bewerten will. Nach dem Anlass kann zwischen einer **technikinduzierten**, einer **problemorientierten** oder auch einer **projektinduzierten** Bewertung unterschieden werden. Und nicht unerheblich ist es außerdem, wann die Technikbewertung vorgenommen wird. Nach dem Zeitpunkt der Bewertung lassen sich im Wesentlichen die **innovative**, die **reaktive** oder die erst nach Ablauf, bzw. Außerbetriebnahme eines technischen Systems stattfindende **retrospektive Technikbewertung** unterscheiden (s. Abb. xx).

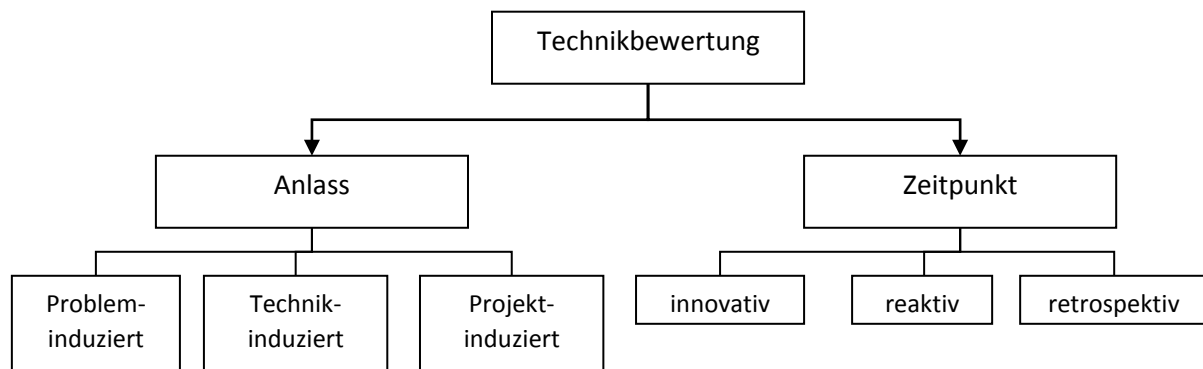


Abb. xx: Typen der Technikbewertung

Weitere Unterscheidungen hinsichtlich der Technikbewertung können hinsichtlich des Angebots oder Bedarfs seitens der Wissenschaft (**angebots- oder bedarfsorientierte Technikbewertung**), seitens des beteiligten Personenkreises (**partizipative oder expertenorientierte Technikbewertung**) und hinsichtlich des Adressatenkreises (**Technikbewertung als Unternehmens- oder Politikberatung**) getroffen werden (Grunwald 2002, S. 94).

Reaktive Technikbewertung

Die **reaktive Technikbewertung** setzt erst dann ein, wenn eine produktionsreife also technisch bereits ausgestaltete Lösung vorliegt. Unter Umständen wird die reaktive Technikbewertung noch später, also erst bei oder nach der Markteinführung durchgeführt, indem erst dann Entscheidungsträger in Politik und Gesellschaft darüber befinden, ob die Innovation oder Erfindung möglicherweise unakzeptable Folgen für Umwelt oder Gesellschaft hat. Der Vorteil der reaktiven Technikbewertung liegt darin, dass erste Folgen der Technik bereits beobachtet oder gemessen werden können. Zweifelsohne ist dies aber auch ein Nachteil, da so der gesamte Entstehungsprozess technischer Innovationen unberücksichtigt bleibt. Ropohl (1993, S. 264) sieht die reaktive Technikbewertung daher in der Tra-

dition eines der Beeinflussbarkeit der Technik skeptisch gegenüberstehenden technologischen Determinismus. Seiner Ansicht nach wird die reaktive Technikbewertung zudem durch die ordnungspolitische Haltung bestärkt, privatwirtschaftliche Aktivitäten vor dem gesellschaftlich-politischen Zugriff zu bewahren. Insgesamt versäumt es die reaktive Technikbewertung, so Ropohl, das gesellschaftlich Wünschenswerte bereits bei der Entstehung technischer Neuerungen geltend zu machen.

Als weiteres Problem kann angeführt werden, dass eine reaktive Technikbewertung für Unternehmen zu erheblichen wirtschaftlichen Schwierigkeiten führen kann, wenn etwa aufgrund politischer bzw. gesetzgeberischer Interventionen nachträgliche Verbesserungen durchgeführt werden müssen.

Retrospektive Technikbewertung

Die retrospektive Technikbewertung wird auch als **historische Technikbewertung** bezeichnet und beschäftigt sich mit der Entwicklung ehemaliger Technologieanwendungen. Vorrangiges Ziel ist es hier, solche Informationsdefizite aufzuzeigen, bei deren Kenntnis eingetretene negative Folgen einer Technik hätten vermieden werden können (Scheffczik 2003, S. 111). Ein Effekt der retrospektiven Technikbewertung kann sein, dass aus der historischen Analyse der Wechselwirkungen von Technologien mit der Gesellschaft auch Lehren für aktuelle Probleme gezogen werden können.

Innovative Technikbewertung

Im Gegensatz zur reaktiven oder retrospektiven Technikbewertung, bei denen eine technische Entwicklung bereits realisiert wurde, erlaubt die **innovative Technikbewertung** noch Korrekturen der weiteren Entwicklung. Alternativen sollen bereits dann in Betracht gezogen werden, wenn technische Lösungen für gegebene Probleme gesucht und erste Lösungskonzepte entwickelt werden, wenn Forschung und Entwicklung also noch wesentlich beeinflusst werden können. Technikbewertung ist hier als kontinuierlicher Steuerungs-, Bewertungs- und Korrekturprozess angelegt, der die gesamte technische Entwicklung begleitet und intendiert, wünschenswerte Entwicklungen zu fördern und unerwünschtes zu vermeiden. Innovative Technikbewertung nimmt demnach eine dem Technikdeterminismus entgegengesetzte Position. *„Statt angebotene Mittel daraufhin zu untersuchen, ob sie menschlichen Zwecken entsprechen, definiert man zunächst menschliche Zwecke und leitet daraus Aufträge für die entsprechenden Mittel ab.“* (Ropohl 1993, S. 269)

Natürlich sieht sich auch die innovative Technikbewertung mit der Tatsache konfrontiert, dass sich die einmal erhobenen Bedürfnisse, die politischen Rahmenbedingungen oder aber die technischen Voraussetzungen nachhaltig verändern können.

Probleminduzierte Technikbewertung

Die probleminduzierte Technikbewertung erfolgt in der Absicht, ausgehend von gesellschaftlich vorgegebenen Aufgaben oder (technischen) Problemen geeignete Lösungen zu finden und diese dann hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile abzuwägen. Der Gestaltungsspielraum hinsichtlich der Technik ist hier noch sehr groß, verschiedene Lösungswege können in Betracht gezogen werden. Wenn es beispielsweise um die Sicherstellung des Transportbedarfes geht, bietet sich sowohl der Ausbau einer Autobahn als auch der des Schienenverkehrs (Eisenbahn, Straßenbahn, Magnetschwebbahn u.a.m.) oder des Luftverkehrs an. Es besteht aber ebenfalls die Option, das Verkehrsaufkommen zu reduzieren. Als Resultat kann der probleminduzierte Ansatz zu einer neuen oder veränderten Bewer-

tung vorhandener Techniken führen sowie Anstöße für neue Forschungs- und Entwicklungsprogramme geben (Scheffczik 2003, S. 112f.).

Technikinduzierte Technikbewertung

Technikinduziert meint, dass der Anlass der Technikbewertung durch eine Technik oder Technologie ausgelöst wurde. Anlass für eine solche Technikbewertung kann beispielsweise die Einführung eines alternativen Energieversorgungssystems sein, das mit bereits bestehenden Energieversorgungssystemen (z.B. Atomkraftwerk, Kohlekraftwerk) konkurriert oder aber die flächendeckende Einführung von Erfassungssystemen für den fließenden Verkehr.

Eine technikinduzierte Technikbewertung beschäftigt sich demnach mit bereits vorhandenen oder produktionsreifen Technologien bzw. technischen Anwendungen und will die potentiellen Folgen eines möglichen Technikeinsatzes ermitteln und bewerten.

Ziel ist es, durch eine Bewertung der Technologie zu einer Verbesserung der Technik an sich zu gelangen, aber letztlich auch deren gesellschaftliche Akzeptanz zu steigern.

Projektinduzierte Technikbewertung

Von einer projektinduzierten Technikbewertung spricht man bei Studien, die sich mit konkreten Fällen der Technologieanwendung, wie z.B. der Standortfrage eines Flughafens, Bau eines Kraftwerkes an einem bestimmten Standort, Ansiedlung einer chemischen Fabrik in einer bestimmten Stadt beschäftigen. Die projektinduzierte Technikbewertung wird gelegentlich als eine Sonderform der technikinduzierten Technikbewertung charakterisiert (Scheffczik 2003).

Fazit

Technikbewertung und Technikfolgenabschätzung sind wichtig. Nach Anlass und Zeitpunkt lassen sich verschiedene Vorgehensweisen unterscheiden. Obwohl Sachzwänge und Praxis wohl oft eine andere Vorgehensweise erzwingen, liegen die Vorzüge der innovativen, problemorientierten Technikbewertung auf der Hand: *„Bei dieser Vorgehensweise ist am ehesten gewährleistet, dass nicht die immanente Sachgesetzlichkeit der Technik den Ausschlag gibt, sondern, dass die Orientierung an den Bedürfnissen und Wünschen der späteren Benutzer, für die die betreffende Technik doch eigentlich eingeführt wird, bestimmend ist.“* (König/ Rapp 1994, S. 21f.)

Ohne Zweifel sind die Unternehmen selbst daran interessiert, schädliche Folgen von Produkten zu verhindern, die einerseits zu ökonomischen Belastungen führen können, wenn beispielsweise rechtliche Regelungen der Produkthaftung greifen, und die andererseits auch das Image eines Unternehmens schädigen können.

Eine solche Technikfolgenabschätzung muss spätestens bei der technischen Realisierung abgeschlossen sein und darf nicht erst nach der Einführung des Produktes auf dem Markt beginnen. Eingeschränkt wird die sinnvolle und frühe Technikbewertung in Unternehmen in ihrer Wirkung allerdings dadurch, dass sie unabhängig von einem begleitenden gesellschaftlichen Diskurs stattfindet.

Die reaktive Technikbewertung findet dagegen in Form von politischen Auseinandersetzungen, Enquete-Kommissionen oder öffentlichen Debatten statt. Das bedingt insgesamt mehr Publizität und führt zudem zu mehr Transparenz, da die Risiken bereits offen zu Tage treten und nicht mehr der prognostischen Unsicherheit unterworfen sind wie in den frühen Phasen der Produktentstehung. Aus der Sicht der Unternehmen gerät eine solche Bewertung allerdings nicht selten in den Verdacht, ein „Technikverhinderungsinstrument“ zu sein, denn, *„sie konzentriert sich naturgemäß eher auf die Risiken, die mit einem fertigen Produkt verknüpft sind, als auf die Chancen, derentwegen seine Entwicklung überhaupt eingeleitet wurde.“* (Hubig 1995, S. 5)

11.5 Organisation und Institutionalisierung der Technikbewertung

Als Konsumenten kennen wir viele Institutionen, die sich mit der Bewertung von Technik befassen: Verbraucherverbände und TV-Magazine, Fachzeitschriften oder Marketingexperten, die ihre Sicht über technische Artefakte oder Systeme äußern. Offensichtlich ist die Bewertung der Technik eine alltägliche Angelegenheit. Da es jedoch einen Unterschied macht, ob der Vorstandsvorsitzende eines Autokonzerns ein Fahrzeug seines Konzerns „bewertet“ oder ein Ökoinstitut dies tut, muss bereits die Technikbewertung „bewertet“ werden. Sinnvoll ist zunächst festzustellen, wer diese Bewertung zu welchem Zweck für wen und wie vornimmt.

Die **institutionalisierte Technikbewertung** bzw. Technikfolgenabschätzung wurde in Deutschland Anfang der siebziger Jahren politisch initiiert und ist seit den achtziger Jahren in unterschiedlichen und wechselnden Formen auf Bundes- und Landesebene installiert. Auf Bundesebene wurde Anfang

der neunziger Jahre das **Büro für Technikfolgenabschätzung (TAB)**¹ eingerichtet. Im Vorfeld gesetzgeberischer Entscheidungen werden zudem Enquete-Kommissionen (z.B. „Chancen und Risiken der Gentechnologie“ oder „Nachhaltige Energieversorgung“) installiert, deren Arbeit mit Vorlage eines Berichts und mit Ablauf einer Legislaturperiode beendet ist. Auf der Ebene der Bundesländer existieren unter anderem Akademien, Programme oder Kommissionen zur Technikbewertung (Bugl/ Mai 1995).

Daneben ist eine ganze Reihe anderer Institutionen mit Technikbewertung beschäftigt (vgl. Scheffczik 2003, S. 65 ff.). Hier sind zunächst solche Institutionen zu nennen, bei denen Technikbewertung der Gefahrenabwehr als unerwünschte Folgen von technischen Anlagen, Verhaltens- oder Handlungsweisen dienen sollen, wie die **Gewerbeaufsichtsämter**, bzw. Bergbau- oder Wasserwirtschaftsämter.

Technikbewertung findet natürlich auch an Hochschulen und Forschungseinrichtungen statt, wobei sie dort wissenschaftlich keine eigene Disziplin darstellt, sondern sich der Ergebnisse verschiedener Disziplinen bedient. Außeruniversitär spielt hier vor allem die **Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren** eine Rolle.

Weitere Akteure sind Unternehmungen, die technische Produkte herstellen oder technische Verfahren zum Einsatz bringen. Teilweise werden die Aktivitäten branchenintern oder übergreifend von Verbänden oder Interessenvereinigungen koordiniert.

Interessenvereinigungen bzw. technisch-wissenschaftliche Vereinigungen wie der **Verein Deutscher Ingenieure (VDI)**, der Deutsche Industrienormen-Ausschuss (DIN), der Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) oder der Technische Überwachungsverein (TÜV) nehmen ebenfalls zu technische Aufgabenstellungen und Problemen Stellung oder definieren Normen, die auf der Grundlage technischer Bewertungen erstellt werden.

Auch Organisationen des Verbraucherschutzes oder Verbraucherverbände (z.B. **Stiftung Warentest**) beschäftigen sich mit Technikbewertung, wenngleich der Gegenstand der Bewertung hier meist ein konkretes technisches Artefakt und nicht ein technisches Großprojekt oder eine Technologie ist.

Trotz vielfältiger Institutionen, die mit Technikbewertung befasst sind, ist sie eher eine Sache der Experten, denn eine Angelegenheit institutionalisierter Formen der Bürgerpartizipation. Außerdem scheint es eher so zu sein, dass auch die Ergebnisse politisch initiiert Technikbewertung selten ihren Entstehungsraum verlassen und Eingang in den breiten gesellschaftlichen Diskurs finden. Die öffentliche Auseinandersetzung mit Technik bleibt oftmals den Interessgruppen und Verbänden vorbehalten.

Zumindest das Instrumentarium für partizipative Formen der Technikbewertung wäre aber vorhanden: Das ursprünglich aus Dänemark kommende Verfahren der **Bürgerkonferenz** oder **Konsensuskonferenz** wird speziell im Rahmen von Technikfolgenabschätzungen eingesetzt. Es geht dabei um eine aktive Einbindung von Laien in die Diskussion und Bewertung von aktuellen, gesellschaftlichen Themen aus dem Bereich Wissenschaft und Technik.

Für die Beschreibung von Aktivitäten europäischer und internationaler Aktivitäten zur Technikbewertung sei auf weiterführende Literatur verwiesen (z.B. Gruner 2002, Scheffczik 2003).

¹ <http://www.tab.fzk.de/>

Technikbewertung im Unternehmen

Innovations- und Produktplanungsprozesse sind fester Bestandteil erwerbswirtschaftlich und vornehmlich auf die Produktion von Gütern ausgerichteter Unternehmen. Die Bewertung von Technik bzw. Technologien gehört zwangsläufig mit dazu. Anlass, Zeitpunkt und damit Art und Umfang der Technikbewertung unterscheiden sich jedoch von Fall zu Fall.

Auslöser für technische Innovationsprozesse und damit für Technikbewertung in Unternehmen können zum Beispiel Impulse durch Forschungsergebnisse, die Einführung neuer (Fertigungs-)Technologien, ein umfassendes Qualitätsmanagement oder auch Änderungen der Marktanforderungen bzw. des politischen Umfeldes sein. Je nachdem müssen ganz unterschiedliche Fragen beantwortet werden (vgl. Hubig 1995, S. 6): Soll eine Anlage gebaut werden, obwohl damit auch Kampfstoffe produziert werden können? Wie lassen sich Herstellungsverfahren im Hinblick auf Arbeitszufriedenheit und Gesundheitsschutz für die Mitarbeiter optimieren? Stellt die Erweiterung des Funktionsumfanges eines Produkts auch einen nachfragerrelevanten Mehrwert für den Kunden dar? Wird sich eine Technologie angesichts einer veränderten Marktsituation verkaufen lassen?

In den meisten Fällen erfolgt die Technikbewertung oder Technologiefolgenabschätzung sicherlich in der Absicht, eine Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens und eine Optimierung der Produktplanung zu erreichen.

Eine umsichtige und nachhaltige Produkt- und Innovationspolitik macht es zum Beispiel notwendig, dass bereits in den frühen Lebensphasen eines Produktes überprüft wird, ob das beabsichtigte Produkt oder das Produktionsverfahren mit bestehenden gesetzlichen Normen (Produkthaftung, Umwelthaftung) oder auch öffentlich anerkannten Kriterien oder Maßstäben wie Gütesiegel, Warentests oder Ökobilanzen kollidiert oder aber die mit der Herstellung, Nutzung oder Außerbetriebnahme verbundenen ökonomische und ökologischen Risiken unverhältnismäßig hoch sind. Die Technikfolgenabschätzung erweitert also hier die übliche Marktforschung (Gruner 2002, S. 113).

Allerdings sehen sich Unternehmen aufgrund der immer kürzeren Produkt-Lebenszyklen vor das Problem gestellt, weniger Zeit für solche Analysen zur Verfügung zu haben. Während nämlich das eine Unternehmen ein Produkt oder eine Technologie noch auf mögliche Risiken abklopft, könnte ein Mitbewerber es schon auf den Markt gebracht haben. Zum anderen stellt eine umfangreiche Bewertung einer Technologie oder eines Produktes jedes Unternehmen auch vor finanzielle Herausforderungen.

11.6 Ablauf und Methoden eines Technikbewertungsprojektes

Wie die Vielfalt an Aspekten, Werten und Voraussetzungen vermuten lässt, handelt es sich bei Technikbewertungs-Projekten um komplexe Aufgaben. In der Literatur werden verschiedene **idealtypische Ablaufmodelle** vorgeschlagen (s. Kornwachs 1991, Bullinger 1994). Je nach Ausganglage und Phase eines Vorhabens zur Technikbewertung ist innerhalb der Phasen eine Kombination geeigneter Methoden angebracht.

Abfolge einer Technikfolgenabschätzung

In der VDI-Richtlinie von 1991 (nach Bullinger 1994, S. 54 ff.) findet sich für Technikbewertungsprojekte eine einfache Einteilung in vier Phasen.

1. Definition und Strukturierung des Problems:

In der Problemdefinition wird der Bereich dessen, was zu untersuchen ist und was an Resultaten schließlich auftreten kann, in Grundzügen festgelegt. Es muss dabei bedacht werden, dass diese Auswahl in gewissem Sinn bereits bewertenden Charakter tragen kann! Wichtige Definitionspunkte sind:

- Aufgabenstellung und Gegenstandsbereich,
- vorausgesetzte Rahmenbedingungen,
- zu betrachtende Größen bzw. Variablen,
- zu beschaffende Informationen und Daten,
- zu betrachtender Kontext (wirtschaftlich, politisch, ökologisch, usw.),
- zeitlicher Horizont,
- Bewertungskriterien.

2. Folgenabschätzung:

Bei der Folgenabschätzung geht es um die Analyse und vorausschauende Beschreibung der Folgen. Hierbei stützt man sich auf die bisherigen Erfahrungen und auf Annahmen über die zukünftige Entwicklung (z.B. mit Trendextrapolation, Szenarios, Analogiebildung, explizite und implizite Modelle). Diese Abschätzungen liefern dabei keine unbedingt sicheren Prognosen, weil eine Fülle von Variablen und Interdependenzen aller Art die Technikentwicklung bestimmen.

3. Bewertung:

In der Bewertung geht es darum, welche Folgen man erzielen, in Kauf nehmen oder verhindern möchte. Hier kommen Werte und Dispositionen in unterschiedlicher Ausprägung und Kombination zur Geltung. Bei der Bewertung wird den einzelnen in Schritt 2 identifizierten Technikfolgen im Rahmen einer Güterabwägung jeweils ein bestimmtes Gewicht beigemessen und diese dann zu einer Gesamtbewertung zusammengefasst.

4. Entscheidung:

Eine so vorbereitete Entscheidung kann und muss transparent und begründet (also auch für Dritte nachvollziehbar) getroffen werden. Sie zielt ihrer Natur nach weder auf Technikverhinderung, noch darf sie Alibifunktion zur Rechtfertigung technischer Maßnahmen haben, die in Wirklichkeit aus ganz anderen Gründen getroffen werden.

Kornwachs beschreibt sechs Arbeitsschritte für ein Technikfolgenabschätzungs-Projektes (s. Tab. xx). Laut Grunwald (2002, S. 163) wird dieses Strukturmodell im Gegensatz zu dem Phasenmodell des VDI der Komplexität der Aufgabe durch die stärkere Differenzierung der Definitionsphase und der stärkeren Berücksichtigung des Umgangs mit den zukünftigen Folgen besser gerecht. Als Kritik merkt Grunwald jedoch an, dass die Bewertungsphase dann wieder zurückfällt, weil sie den Anschluss an die sich dahinter verbergenden Probleme und ihre Bewältigung nicht schafft. Als unbefriedigend wird zudem moniert, dass der Erarbeitung von Handlungsoptionen kein eigener Punkt eingeräumt wird.

Tab. xx: Arbeitsschritte der Technikfolgenabschätzung (Kornwachs 1991, S. 8)

Arbeitsschritt	Unterschritte
1 Vorbereitende Maßnahmen	• Festlegen der abzuschätzenden Technologie • Festlegen des Untersuchungsumfangs • Zusammenstellen des Untersuchungsteams • Definition der Problemstellung einschl. der Rahmenbedingungen
2 Feststellung des Ist-Zustands	• Erheben von Fakten, Umfragen • Zusammentragen aller Informationen der betroffenen Bereiche • Vergleiche mit Anwendungen der Technologie in anderen Branchen • Erste Systematisierung
3 Systemanalyse	• Festlegung der das Potential einer Technik bestimmenden Größe • Systemanalyse der Abhängigkeiten der Größen untereinander • Modellbildung, d.h. Aufstellen eines qualitativen (verbalen) oder quantitativen (berechenbaren) Modells • Simulation, d.h. Erstellen entweder quantitativer Szenarien oder Simulationsläufe
4 Validierung	• Prüfen der Plausibilität der Ergebnisse • Prüfen der Gültigkeit des Modells
5 Prognose	• Versuch, die Entwicklung der Technologie zu bestimmen • Bestimmung alternativer Entwicklungspfade • Prognose über die Folgen der jeweiligen • Entwicklungspfade
6 Bewertung	• Erstellen von Kriterien und Werten • Bewerten der prognostizierten Folgen in Kategorien der Erwünschtheit • Dokumentation

Aufgaben und Einsatz der Methoden

Richard Huisinga (1985) listet 33 Methoden auf, die in Zusammenhang mit Technikbewertung genannt werden. Tabelle xx gibt diese Methoden im Wesentlichen wieder. Die Methoden besitzen jeweils unterschiedliche Aufgaben und werden daher auch nur in einzelnen Phasen zur Anwendung gebracht. Grunwald (2002) S. 206 f. unterteilt die Methoden in solche, die

- der Mobilisierung von Kreativität für die Findung relevanter Fragestellungen und Untersuchungsgegenstände (z.B. Brainstorming und morphologische Matrix),
- der Heranziehung von Expertenwissen (z.B. Interviewverfahren, Delphi-Verfahren),
- der Entwicklung von Systemverständnis, der Klärung relevanter Zusammenhänge und Kausalverhältnisse oder Korrelationen (z.B. Risikoanalyse, Stoffstromanalyse, Ökobilanz, Input/Output-Analyse),
- der Strukturierung der Zukunft und der Bereitstellung von relevantem Zukunftswissen (z.B. Trendextrapolation, Modellierung und Simulation, Szenariotechnik), sowie
- der Aufstellung einer argumentativen „Landkarte“ der normativen Struktur des Problems als Grundlage für die Bewertung (z.B. Diskursanalyse und –rekonstruktion, Wertbaumanalyse) dienen.

Neben der Unterteilung der Methoden im Hinblick auf ihren Einsatz für bestimmte Aufgaben oder bestimmten Phasen eines Technikbewertungsprojektes können sie auch im Hinblick auf das ihnen zugrunde liegende Wissenschaftskonzept unterteilt werden. **Quantitative Methoden** basieren auf Messverfahren und erlauben Aussagen über zeitliche Entwicklungen von beobachteten Größen. Zum Beispiel kann eine Verbindung zwischen Emissionen und der Zunahme des Individualverkehrs berechnet und auch prognostiziert werden. Zur Erfassung sozialer oder kultureller Technikfolgen sind **quantitative Verfahren** allerdings nur bedingt geeignet. Hier kommen vor allem qualitative Verfahren zum Einsatz.

Die sorgfältige Auswahl bestimmter Methoden ist jedoch keineswegs eine Garantie für eine allgemeine Anerkennung der damit gewonnenen Ergebnisse. Nicht selten wird die Interpretation der Ergebnisse einer Technikbewertung durch verschiedene gesellschaftliche Interessengruppen an der jeweiligen Methode festgemacht, entweder mit dem Hinweis auf die Eindeutigkeit der gewonnenen Ergebnisse oder aber auf die Zweifelhaftheit des Vorhabens.

Tabelle xx fasst die gebräuchlichen Technikbewertungsmethoden noch einmal tabellarisch zusammen und charakterisiert sie im Hinblick auf den Forschungsansatz sowie den Einsatz in verschiedenen Phasen.

Tabelle xx: Methoden der Technikbewertung (nach Huisinga, bei Bonnet 1994, S.45f.)

	Ana-lyse	Pro-gnos-e	Be-wer-tung	Ent-schei-dung	quan-titativ	qual-itativ
Scenario Writing	•	•	•	•	•	
Brainstorming	•	•	•	•	•	
Delphi-Methode	•	•	•	•	•	
Morphologie	•	•	•		•	
Relevanzbaum-Methode	•	•	•			•
Entscheidungsbaum		•	•		•	•
Nutzwert-Analyse		•		•	•	•
Qualitative Rangfolgen-Beurteilung		•	•		•	
Ertragscharakteristiken		•			•	•
Kosten-Nutzen-Analyse	•	•	•	•		•
Lineare Optimierung		•				•
Dynamische Optimierung		•				•
Entscheidungstheorie		•		•	•	•
Planning Programming Budgeting System						•
Simulation		•		•	•	•
Wertanalyse		•			•	
Trendextrapolation		•		•		•
Verflechtungsmatrix		•	•	•	•	•
Seer		•	•		•	
Senectic		•	•		•	
Cross support Analyse		•		•	•	
Regressions-Korrelations-Rechnung		•				•
Interview		•			•	
Historische Analogie		•			•	
ökonomische Modellbildung	•	•				•
verhaltenswissenschaftliche Experimente	•	•	•		•	•

Gruppenkonsensverfahren		•			•	•
Inhalts-Analyse		•			•	
Checklisten	•	•	•	•		•
Risiko-Analyse		•		•		•
Scoring-Methode			•	•		
Netzplantechnik			•	•		•

11.7 Grenzen der Technikbewertung bzw. Technikfolgeabschätzung

Ein Grundproblem der Technikbewertung wurde bereits bei der Diskussion der Wertegrundlagen angesprochen: Der **Wertpluralismus** ist die Ursache für das Fehlen einer gesellschaftlich allgemein anerkannten Basis, von der aus bestehende oder neue Technologien bewertet werden können. Da-mit sind Konflikte vorprogrammiert.

Am Anfang einer technischen Innovation besteht zumindest theoretisch ein Entscheidungsspielraum, der sich durch die Lösung von Wertkonflikten einengen ließe. Dies setzt beispielsweise eine Abwägung zwischen kurzfristigen Zwecken und langfristigen Folgen voraus. Je verwobener der Mensch allerdings mit der Technik ist, desto schwieriger wird es, einen derartigen **Wertkonflikt** überhaupt erst zu definieren.

Zudem setzt eine Bewertung der Technik naturgemäß bestimmte **Kenntnisse** voraus. Sie sind oft schlichtweg nicht vorhanden oder können durch bewusst zurückgehaltene Informationen beziehungsweise gezielte Marketing- oder Public Relations Strategien gar nicht aufgebaut werden. Eine partizipative Technikbewertung, die die Bürger und gesellschaftlichen Gruppen in politische Entscheidungsprozesse mit einbeziehen würde, wäre außerdem mit den Handlungszwängen konfrontiert, die ihr der technische Fortschritt und die ökonomischen Verwertungsinteressen auferlegen. Grunwald (2002, S. 286 f.) weist in diesem Zusammenhang auch auf die Differenz von Technikfolgen-abschätzung als Beratung und der Technikgestaltung als Praxis hin. Letztendlich entscheiden eben die Beratenen und nicht die Berater über die Technikgestaltung.

Die Reichweite von Prognosen im Rahmen der Technikfolgen- bzw. Technikpotenzialabschätzung bleibt ebenfalls begrenzt. Das hauptsächliche Problem stellt hier die etwas naive Annahme dar, man könne zu einem bestimmten Zeitpunkt alle Folgen einer technischen Innovation genau vorhersagen. Bullinger (1994, S. 103) weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass eine Prognose im strengen Wortsinn die Deduktion zukünftiger Phänomene aus gegebenen Theorien und bestimmten Randbedingungen bedeutet, und Prognoseaussagen dort unbrauchbar werden, wo zwischen ihrer Erstellung und dem Projektionszeitpunkt die Prognose durch objektiv neue Erkenntnisse Theorien oder Randbedingungen verändert oder obsolet werden. Der Zeithorizont, für den Prognosen angestellt werden können, die einigermaßen methodische Sicherheit versprechen, wird daher von Kornwachs (1991, S. 17) mit 4-5 Jahren angegeben. Insofern bleibt auch eines der Ziele der Technikfolgenabschätzung, nämlich die langfristige Steuerung der Technikentwicklung fragwürdig.

Die Ursachen für die Unschärfe von Vorhersagen liegen zum einen in der Spontaneität und in den **kulturimmanenten Wandlungen der Werte** und Präferenzen menschlicher Gesellschaften begründet (Rapp 1993, S. 42 ff.), zum anderen in den Möglichkeiten der jeweiligen Technologien selbst. Der Grundzug der Multifunktionalität, Universalität oder der Informalisierung, der heutige Schlüsseltechnologien auszeichnet, machen Richtungsaussagen so schwierig (vgl. Bullinger 1991, S. 106).

So hat denn auch die Technikfolgenabschätzung eine vor allem deskriptive Aufgabe, nämlich ein allgemeines Problembewusstsein zu schaffen sowie das Spektrum der Handlungsmöglichkeiten aufzeigen. Die normative Bewertung der Technik muss dann jeder Einzelne für sich vornehmen. Inwiefern aber letztlich eine Pro- und Contra-Diskussion zur Klärung individueller oder kollektiver Handlungsabsichten beiträgt, darüber lässt sich streiten. Wilhelm Ebert (1995, S. 165) meint gerade am Ende der Diskussionen über gewinnbringende oder arbeitsplatzbeschaffende Hochtechnologien dann doch oft den resignierenden oder imperativen Satz zu vernehmen: „Wenn wir es nicht tun, dann tun es andere – wir haben dann den Nachteil und werden am Ende zu einem Entwicklungsland.“

12. Technik als Gegenstandsbereich des Faches „Wirtschaft und Beruf“ (früher AWT) an den Mittelschulen in Bayern

Welche grundsätzlichen Ziele strebt technische Bildung an und wie lassen sich die Inhalte eingrenzen? Welche Rolle spielt Technik als Gegenstandsbereich des Faches „Wirtschaft und Beruf“ (alt AWT) an den Mittelschulen in Bayern?

Inhalt

12.1. Das Wesen der Technik.....	3
12.2. Technikdidaktische Reflexion.....	4
12.2.1 Der Zusammenhang von Technik und Bildung.....	5
12.2.2 Identifikation und Legitimation von Zielen und Inhalten technischer Bildung.....	6
12.3. Methoden im technisch orientierten Unterricht	11
12.3.1 Herstellungsaufgabe mittels Leittextmethode.....	12
12.3.2 Erfinden bzw. Konstruktionsaufgabe.....	15
12.3.3 Werkbetrachtung, Werk- oder Produktanalyse	23
12.3.4 Produktprüfung und Benutzertest	24
12.3.5 Arbeit mit Checklisten.....	27
12.3.6 Wechselwirkungsanalyse.....	29
12.3.7 Nutzwert-Analyse.....	31
12.3.8 Simulationen.....	34
12.4 Labor	37

Abstract

Technische Bildung findet in den einzelnen Bundesländern und Schularten in unterschiedlichen Formen statt. Aufgrund der heterogenen schulartspezifischen Ausprägungen haben sich bisher nur wenige übergreifende technikdidaktische Positionen für den allgemeinbildenden Schulbereich entwickeln können. Die vorhandenen Ansätze betonen einzelne didaktische Aspekte (Legitimation des Faches, Ziele, Inhalte, Methoden, Stellung im Fächergefüge) und lassen sich folgendermaßen einteilen: Im

allgemeintechnologischen Ansatz dominiert die Sache, die unter technikwissenschaftlichem Blickwinkel und unter den Kategorien der jeweiligen Bezugswissenschaft betrachtet wird. Beim **mehrperspektivischen Ansatz** liegt der Akzent auf dem Subjekt technischer Bildung. Technik wird hier als bedeutender Beitrag für die Entwicklung der Person und seinem Weltverstehen verstanden. Der **arbeitsorientierte Ansatz** akzentuiert die gesellschaftliche Dimension von Technik unter besonderer Berücksichtigung ihres Einflusses auf Arbeitsprozesse und Berufe. Dieser Grundkonzeption folgt im Wesentlichen auch der Technikstrang, der im Zuge der Überarbeitung des Lehrplans für Arbeit-Wirtschaft-Technik (AWT) in Bayern im Jahr 2004 ab der Jahrgangsstufe 5 in das Fach integriert wurde. Bei der neuerlichen Überarbeitung der Lehrpläne für das nun in „Wirtschaft und Beruf“ umgetaufte Fach im Jahre 2015 blieb die Technik als Gegenstandsbereich zwar erhalten, inhaltlich werden Richtung und Grenzen allerdings – wie auch beim berufsorientierenden Wahlpflichtfach Technik – durch die **Berufsorientierung** vorgegeben. Aufgrund des Sammelfachcharakters ergeben sich jedoch auch Anknüpfungspunkte an die ökonomische oder rechtliche Bildung. Deutlich wird diese inhaltliche Verknüpfung im bayerischen Lehrplan durch die verschiedenen Perspektiven, die der Schüler in Richtung der Gegenstandsbereiche einnehmen kann: **Arbeitnehmer-, Konsumenten-, Unternehmer- oder Staatsbürgerperspektive**.

Ziel des Abschnittes ist es, die grundsätzlichen didaktisch-methodischen Strukturen des Gegenstandsbereichs Technik zu klären, um so zu begründeten unterrichtlichen Entscheidungen beizutragen. Dafür wird zunächst das **Wesen der Technik** beleuchtet und eine gebräuchliche Definition vorgestellt. Anschließend werden verschiedene grundsätzliche **technikdidaktische Überlegungen** nachgezeichnet. Sie beginnen bei der Identifizierung und Legitimierung von Bildungszielen technischer Bildung und verweisen auf zwei gängige technikdidaktische Ausgangspunkte: Zum einen der Definition **technischer Schlüsselprobleme** und zum anderen der Beschreibung **von Technik geprägter Lebenssituationen**. Beide Positionen drängen auf eine nähere inhaltliche Einhausung, die durch die Fokussierung auf verschiedene **Erkenntnisperspektiven** (z.B. technologisch, ökonomisch, ökologisch, sozial) bewerkstelligt werden kann. Gleichzeitig stellt sich die Frage, welches **Verhaltensrepertoire** der Einzelne ausbilden muss, um den Problemen oder Situationen mit ihren verschiedenen Aspekten begegnen zu können. Diese Frage wird heute allgemein an **Kompetenzen** (z.B. Technik verwenden, herstellen, beurteilen oder bewerten) festgemacht. Für die Planung und Gestaltung des Unterrichts sind die Erkenntnisperspektiven und Verhaltensoptionen außerdem immer auf konkrete **Lerninhalte** zu beziehen. Zur Auswahl stehen hier ganz grundsätzlich **naturwissenschaftliche Grundlagen, technische Artefakte und Sachsysteme, technische Handlungen, Methoden oder Prozesse, die Technikgeschichte und die Technikbeurteilung**. Im Anschluss an die didaktischen Überlegungen werden Methoden technischer Bildung vorgestellt. Sie lassen sich in **technikaffine** und **andere Methoden** einteilen. Im Rahmen dieser Lerneinheit wird besonders auf Methoden Bezug genommen, die den Intentionen des Sammelfachcharakters „Wirtschaft und Beruf“ sowie des Lernfeldes „Berufsorientierung“ gerecht werden können.

Schlüsselwörter

Technikdefinition: weites Technikverständnis	Kompetenzen: Handeln, Analysieren, Kommunizieren und Beurteilen
Bedeutung technischer Bildung: Interesse für MINT-Fächer wecken, Vermeidung geschlechts-	Lerninhalte: Handlungen und Methoden, Sach-

spezifischer Rollenprägungen, Beeinflussung von Berufswahl und Innovations- oder Wettbewerbsfähigkeit	systeme, Prozesse, Technikbewertung, Technikgeschichte
Basis für die individuelle Partizipation in einer von Naturwissenschaft und Technik geprägten Gesellschaft	Technikspezifische Methoden
Identifizierung und Legitimierung von Zielen und Inhalten – Ausgangspunkte: Technische Schlüsselprobleme und technisch geprägte Lebenssituationen	Herstellungsaufgabe mittels Leittexten
Mehrperspektivität technischer Probleme und Lebenssituationen	Erfindungs- und Konstruktionsaufgabe
Arbeitnehmerperspektive, Konsumentenperspektive, Unternehmerperspektive, Staatsbürgerperspektive	Werkbetrachtung
	Produktprüfung
	Arbeit mit Checklisten
	Wechselwirkungsanalyse
	Nutzwertanalyse
	Simulationen

12.1. Das Wesen der Technik

Bevor in diesem Abschnitt der Zusammenhang zwischen Technik und Bildung thematisiert wird, ist es zweckmäßig, sich noch einmal dem Wesen der Technik an sich zuzuwenden.

Entbergen, was sich nicht selbst hervorbringen kann

Um der Technik auf die Spur zu kommen, ist eine Annäherung sinnvoll, die losgelöst von aktuellen gesellschaftlichen und technikbedingten Entwicklungen oder den augenscheinlichen Errungenschaften moderner Technik erfolgt. Der Frage nach dem Wesen der Technik haben sich unterschiedlichste Persönlichkeiten gestellt (s. dazu Ropohl 1994). Martin Heidegger (1962, S. 6) beispielsweise sieht Technik als menschliches Tun, in dem Zwecke definiert, sowie Mittel dafür beschafft und benutzt werden. Zur Technik gehört demnach *„das Verfertigen und Benützen von Zeug, Gerät und Maschinen, gehört dieses Verfertigte und Benützte selbst, gehören die Bedürfnisse und Zwecke, denen sie dienen. Das Ganze dieser Einrichtung ist die Technik. Sie selber ist eine Einrichtung, lateinisch gesagt ein instrumentum.“* Das Eigentümliche der Technik sieht Heidegger (1962, S. 15) nicht im *„Machen und Hantieren, nicht im Verwenden von Mitteln“*, sondern im *„Entbergen“*. Damit meint er die Möglichkeit, das hervorzubringen, was sich nicht selbst hervorbringen kann. Neben der Herstellung von Artefakten gehört zum *„Entbergen“* unter anderem auch das **Ringem um Erkenntnis**, das **Aufstellen von Theorien** oder das **Sammeln von neuen Einfällen und Ideen**. Technik, so lässt sich resümieren, ist also zutiefst menschlich. Mit ihr schafft sich der Mensch eine „zweite Natur“, die wegen der „Unspe-

zialisiertheit seines Baus“, der „Mittellosigkeit seiner Physis“ erforderlich ist (vgl. Arnold Gehlen, in Rehberg 1993, S. 37). Für Peter Fischer (2004, S. 55) ist die Technik das Alleinstellungsmerkmal des Menschen, mit dem er aus der natürlichen Evolution ausbricht und diese um die „Geschichtlichkeit seines kulturellen Daseins“ ergänzt.

Technikverständnis

Die Fülle der Erscheinungen, die heute mit Technik in Verbindung gebracht werden, drängt auf eine weitere definitorische Eingrenzung. Hilfreich ist in diesem Zusammenhang zunächst eine Bestimmung der Reichweite, die für die Zuordnung zur Technik maßgeblich sein soll. Hier hat sich – beeinflusst durch Günter Ropohl (1979) – in der Technikdidaktik ein sehr **weit gefasstes Technikverständnis** durchgesetzt, das sowohl technische Sachsysteme als auch deren Herstellungs- und Verwendungszusammenhänge integriert. Dieser integrative Ansatz eines ganzheitlichen Technikverständnisses spiegelt sich auch in der vom Verein Deutscher Ingenieure verwendeten Definition von Technik wieder (VDI 1991, S. 2). Danach umfasst Technik:

- „die Menge, der nutzorientierten, künstlichen Gebilde (Artefakte oder Sachsysteme);
- die Menge menschlicher Handlungen und Einrichtungen, in denen Sachsysteme entstehen;
- die Menge menschlicher Handlungen, in denen Sachsysteme verwendet werden.“

Günter Ropohl (1995, S. 51) selbst charakterisiert diese Definition als Resultat eines mittleren Technikansatzes, der ausdrücklich menschliches Handeln mit einbezieht, allerdings nur solches, das mit künstlich gemachten, technischen Gebilden zu tun hat.

12.2. Technikdidaktische Reflexion

Damit Unterricht nicht der inhaltlichen Beliebigkeit anheimfällt, bedarf es reflektierter didaktisch-methodischer Entscheidungen. Die Grundlage für solche Entscheidungen sollte demnach eine Technikdidaktik bieten. Da Technische Bildung jedoch in den einzelnen Bundesländern und Schularten in unterschiedlichen Formaten stattfindet, haben sich bisher nur **wenige übergreifende technikdidaktische Positionen** für den allgemeinbildenden Schulbereich entwickeln können. Die vorhandenen Ansätze fokussieren jeweils einzelne Aspekte, wie die Legitimation des Faches, spezifische Ziele, Inhalte und Methoden oder die Stellung im Fächergefüge. Nach Schmayl & Wilkening (1995, S. 64 ff.) und Schmayl (2003) können sie folgendermaßen eingeteilt werden: Im **allgemeintechnologischen Ansatz** dominiert die Sache, die unter technikwissenschaftlichem Blickwinkel und unter den Kategorien der jeweiligen Bezugswissenschaft betrachtet wird. Beim **mehrperspektivischen Ansatz** liegt der Akzent auf dem Subjekt technischer Bildung. Technik wird hier als bedeutender Beitrag für die Entwicklung der Person und seines Weltverstehens verstanden. Der **arbeitsorientierte Ansatz** dagegen akzentuiert die gesellschaftliche Dimension von Technik unter besonderer Berücksichtigung ihres Einflusses auf Arbeitsprozesse und Berufe.

Dieser Grundkonzeption folgt im Wesentlichen auch der **Technikstrang**, der im Zuge der Überarbeitung des Lehrplans für Arbeit-Wirtschaft-Technik (AWT) in Bayern im Jahr 2004 ab der Jahrgangsstufe

5 in das Fach integriert wurde. Bei der neuerlichen Überarbeitung der Lehrpläne für das nun in „Wirtschaft und Beruf“ umgetaufte Fach im Jahre 2015 blieb die Technik als Gegenstandsbereich zwar erhalten, inhaltlich werden Richtung und Grenzen allerdings, wie auch beim berufsorientierenden Wahlpflichtfach Technik, durch die **Berufsorientierung** vorgegeben.

Eine derartige Einschränkung technischer Bildung stößt besonders bei den Verfechtern eigenständiger Technikfächer auf Kritik. Moniert wird, dass eine solche Eingrenzung zur Tendenz führe, Technik vor allem als „Vehikel“ zur Veranschaulichung von ökonomischen oder berufskundlichen Zusammenhängen zu verwenden oder aber Einzelaspekte wie z.B. den Herstellungsprozess allzu stark zu betonen. Bedeutung und Vielgestaltigkeit der Technik ließen sich aber nicht – so die Argumentation – ausschließlich mit arbeitsbezogenen Kategorien erfassen. Technik beinhalte vielmehr ein „geheimes“ Programm, das die **Befreiung vom Naturzwang** und vom Zwang unmittelbaren Arbeiten-Müssens vorsehe (Sachs 1989, S. 142 f.). Diese Diskussion soll an dieser Stelle nicht fortgeführt werden, zumal auch nach dem bayerischen Lehrplan für die Mittelschulen der Blick auf die verschiedenen Gegenstandsbereiche nicht ausschließlich auf die Arbeitnehmerperspektive beschränkt bleiben muss, sondern auf die Konsumenten-, Unternehmer- oder Staatsbürgerperspektive erweitert werden kann.

Für die inhaltliche Begründung technisch orientierten Unterrichts, sollen nun grundsätzliche technikedidaktische Überlegungen vorgestellt und mit dem Lehrplan des Faches „Wirtschaft und Beruf“ abgeglichen werden. Im Kern geht es um die Fragen, welche **grundsätzlichen Ziele bzw. Kompetenzen** technische Bildung verfolgt, an welchen **Inhalten** sie festzumachen sind und unter **welchen Perspektiven** diese Ziele und Inhalte verfolgt werden können. Zunächst wird jedoch der Zusammenhang von Technik und Bildung skizziert.

12.2.1 Der Zusammenhang von Technik und Bildung

Technische Bildung – Voraussetzung für Mündigkeit

Die entwicklungsgeschichtliche Bedeutung der Technik, ihre umweltverändernde Wirkung, der Zusammenhang zwischen technischer Entwicklung und ökonomischen Verwertungsinteressen und vor allem die Abhängigkeit von der Technik im privaten wie öffentlichen Bereich sind an sich bereits überzeugende Argumente für eine Auseinandersetzung mit der Technik im Rahmen allgemeiner Bildung. Dabei werden „Technik“ und „Bildung“ bis heute nicht zwangsläufig als konsistent aufeinander bezogene menschliche Kulturbereiche betrachtet. Dies mag in Mitteleuropa vor allem am Verständnis des Begriffs Bildung liegen, das eher an der Zweckfreiheit anzubahnender menschlicher Dispositionen orientiert ist (vgl. Eckert 2003, S. 164). In der Tat sind in der öffentlichen Debatte mit **technischer Bildung** verschiedene „profane“ Zwecke verknüpft: So wird etwa die Erwartung geäußert, durch technische Bildungsangebote ein tieferes **Interesse für den sogenannten MINT-Bereich** zu wecken (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik) oder **geschlechtsspezifischen Rollenprägungen entgegenzuwirken**. Dabei schwingt die Vorstellung mit, durch eine Annäherung an diese Lerninhalte die **spätere Berufswahl**, letztlich ja sogar die **Innovations- oder Wettbewerbsfähigkeit** der Volkswirtschaft günstig **beeinflussen** zu können. Aus pädagogischer Sicht gelingt die Legitimation technischer Bildung freilich überzeugender, wenn die Persönlichkeit selbst in den Blick genommen und die Grundlegung eines naturwissenschaftlichen-technischen Verständnisses bereits in

frühen Jahren als **Basis für die individuelle Partizipation in einer von Naturwissenschaft und Technik geprägten Gesellschaft** gesehen wird.

Macht man sich das Bildungsverständnis von Klafki (1986, S. 52) oder in ähnlicher Weise von Jank und Meyer (2002, S. 211) zu eigen, nachdem Bildung als Fähigkeit zur Selbstbestimmung, zur Mitbestimmung sowie zur Solidarität zu verstehen ist, so rückt die Auseinandersetzung mit Technik mit ins Zentrum bildungstheoretischer Überlegungen. Für Günter Ropohl (1992, S. 7) bedeutet technische Bildung „*weit mehr als begrenzte Fertigkeiten, wie technisches Zeichnen, Holzwerken oder Computerbedienung, sie bedeutet den Prozeß und den Zustand anzueignender und angeeigneter materieller Kultur*“. Technische Bildung schafft die Basis für eine reflektierte Auseinandersetzung des Einzelnen mit einer von Technik geprägten Gesellschaft, Umwelt und Kultur. Sie ist die Voraussetzung für **Souveränität gegenüber der Technik** und damit für die Selbstbestimmung des Menschen und für die Mitbestimmung in demokratischen Staaten. Technische Allgemeinbildung ist eine notwendige **Vorbedingung für Mündigkeit**.

Wie aber kann dieser Bildungsanspruch intentional und inhaltlich ausgestaltet werden – um das soll es im nächsten Abschnitt gehen.

12.2.2 Identifikation und Legitimation von Zielen und Inhalten technischer Bildung

Für das „operative Geschäft“ von Lehrerinnen und Lehrern scheinen Fragen, wie Bildungsziele, Lernziele und Lerninhalte zu begründen sind, nicht so wichtig zu sein, sind sie doch durch die Fachprofile und Lehrpläne bereits gelöst. Tatsächlich ist eine **Reflexion über das, was das Resultat von Schule und Unterricht** eigentlich sein soll, nicht nur für Fachdidaktiker oder Lehrplangestalter, sondern auch für den Lehrer wichtig. Vernachlässigt man nämlich den Blick für die grundlegenden Intentionen, besteht gerade für den technisch orientierten Unterricht die Gefahr, dass – bedingt durch die Komplexität der Themen – die didaktischen Konturen entweder verwischt oder aber entlang singulärer Aspekte allzu stark verdichtet werden. Um den Intentionen des Lehrplans bis hinein in die Unterrichtsgestaltung so weit als möglich zu entsprechen, gilt es daher, die grundsätzlichen curricularen Überlegungen nachzuvollziehen. Ausgangspunkt einer derartigen Analyse kann die Frage sein, wie sich Ziele in Lehrplänen generell legitimieren lassen.

Grundsätzliche Legitimation von Zielen und Inhalten

In Ermangelung einheitlicher Standards und wissenschaftlich gesicherter Vorgehensweisen erfolgt die Identifizierung und Legitimierung von Zielen und Inhalten in der Regel verschiedenen Argumentationslinien (vgl. Reetz 2003, S. 101). Eine Linie verweist auf die Bedeutung der Inhalte als **Wissens- oder Kulturgüter**, eine andere gründet auf der **Analyse aktueller und zukünftiger Lebenssituationen** und den daraus abgeleiteten Kompetenzen zu ihrer Bewältigung. Nicht so sehr von Fächern, Stoffen oder Themen und ihren scheinbar objektiven Bedeutungen, als vielmehr **vom Kind oder Jugendlichen** aus, versucht eine dritte Linie zu argumentieren. Im Vordergrund steht dabei das

Ziel, dem Kind bzw. Jugendlichen Individualität und Autonomie auch gegen die Anforderungen der Gesellschaft zu sichern.

In der Praxis lässt sich die Planung von Bildungsprozessen von der curricularen Ebene bis hin zum fertigen Unterrichts- oder Lernkonzept als fortgesetzter Konkretisierungsprozess begreifen, bei dem diese Prinzipien bzw. Orientierungen wahlweise oder verschränkt zur Anwendung gelangen. So auch bei der Begründung technischer Bildung.

Ausgangspunkt „Technische Schlüsselprobleme“

Eine große Bedeutung für alle curricularen Überlegungen im allgemeinbildenden Bereich hat der Ansatz Klafkis (1994) für eine Konzentration des Unterrichts auf so genannte **epochaltypische Schlüsselprobleme**. Nimmt man diesen Gedanken auf, so ist weiter die Definition „**technischer Schlüsselprobleme**“ hilfreich, die Gerhard et al. (1999, S. 201) wohl in Anlehnung an Sellin (1994), Duismann (1988) und Oberliesen (1988) als Ausgangspunkt für technische Bildung vorschlagen. Ihrer Meinung nach können darunter all jene gesellschaftlichen Probleme verstanden werden, die durch technologische Entwicklungen hervorgerufen und bestimmt sind. Als Beispiele nennen sie **Fragen der Energieversorgung**, der **Automation in Produktionsprozessen** oder die **Probleme von Transport und Verkehr**. Aus der Sicht der Arbeitslehre müssen dieser Liste heute weitere Problemfelder hinzugefügt werden: Etwa die Tendenz zur **informationstechnischen Verknüpfung von Menschen, Objekten und Datenverarbeitungssystemen**, das Problem der ständigen **Messbarkeit menschlicher Arbeitsleistung** in einer digitalisierten Arbeitswelt sowie die zunehmende **Konkurrenz zwischen Mensch und Maschine** bei intellektueller Arbeit. Freilich verleitet eine derartige Definition von Schlüsselproblemen zur Sichtweise, technische Bildung als vorrangig reaktives Mittel, Potenzial oder gar defensives Mittel zur Abwehr oder Einhegung von Technik zu begreifen. Technik, das zeigen Technik-, Wirtschafts- und Kulturgeschichte, eröffnet jedoch **vielfältige Chancen für Individuen und Gesellschaft**. Neben Schlüsselproblemen lassen sich daher auch Schlüsselchancen definieren.

Ausgangspunkt „technisch geprägte Lebenssituationen“

Neben dem Leitbild gesellschaftlich relevanter Schlüsselprobleme, existiert mit der Definition von **technikspezifischen Handlungs- oder Lebenssituationen** eine weitere Bezugsgröße auf dem Suchpfad geeigneter technikspezifischer Bildungs- und Lernziele (vgl. Ropohl 2004). Der Rückbezug von Bildungsanliegen auf Lebens- oder Handlungssituationen hat Tradition. Josef Derbolav (1966, S. 129f.), der Erziehung und Bildung als dialektisches Phänomen zwischen dem Selbst und dem Anderen begreift, bezeichnet Handlungssituation mit Hegel als eine Art „Im-Anderen-zu-sich-selber-Kommen“ und als Richtmaß und Bewährungskriterium des Bildungsgeschehens. *„Nicht in dem, was der Gebildete weiß und kann, sondern was er tut und wie weit er in seinen Taten der Sache zu ihrem Recht verhilft und sein Selbst verantwortlich zur Geltung bringt, ist das Maß seiner Individualität zu sehen.“* (ebd. S. 130) Für Saul B. Robinsohn (1979, S. 47) stellt Bildung die Ausstattung dar, mit der der Heranwachsende Lebenssituationen bewältigen kann. Für die Auswahl von Bildungsinhalten skizzierte er deshalb drei Kriterien: 1. Die Leistung des Bildungsgegenstandes für das Verstehen der Welt, 2. Die Bedeutung eines Bildungsgegenstandes für eine sich anschließende Bildungsoption (Berufsausbil-

derung oder Studium) und 3. Die Funktion eines Bildungsgegenstandes für bestimmte Verwendungssituationen im privaten und öffentlichen Leben.

Die für die Technische Bildung relevanten Lebens- und Handlungssituationen sind – das legen die bisherigen Ausführungen nahe – nicht allein in unmittelbaren technischen Anwendungs- oder Entscheidungssituationen, wie sie im betrieblich-beruflichen Bereich häufig zu bestehen sind, zu suchen. Das „Bewährungsfeld“ umfasst vielmehr den privaten Bereich (**Wohnen und Bauen, Haushaltsarbeit, Konsum, Freizeit und Sport, Kultur und (Berufs)Bildung, Information und Kommunikation**) genauso wie den öffentlichen (Sozial)Raum (u.a. **Verkehr, Versorgung und Entsorgung, Politische Partizipationsmöglichkeiten, Umwelteinwirkung**) (vgl. Nölker 1983, S. 657; Sachs 1988, S. 14).

Verknüpft man das Konzept der Schlüsselprobleme und Schlüsselchancen mit dem der Lebenssituationen, sollte Technische Bildung die Aneignung eines strukturierten, anschluss- und anwendungsfähigen Wissens ermöglichen sowie Kompetenzen und (Lern)Fähigkeiten erwerben helfen, mit deren Hilfe das Individuum jetzt oder in Zukunft in unterschiedlichen Lebenssituationen, Handlungsbereichen oder Rollen selbstständig oder mit anderen sachgerechte, demokratisch legitimierte, sozial ausgewogene und ethisch vertretbare Problemlösungen herbeiführen oder mit beeinflussen kann. Zudem sollte technische Bildung dabei helfen, technische Schlüsselchancen zu erkennen und für sich zu nutzen.

Die Umsetzung dieser Ziele setzt voraus, dass sowohl Schlüsselprobleme, Chancen und Lebens- bzw. Anwendungssituationen entweder in ihrer Mehrperspektivität erschlossen werden können oder aber auf einzelne Aspekte fokussiert werden. Außerdem ist eine Definition der sich daraus ergebenden Verhaltensperspektiven erforderlich.

Mehrperspektivität technischer Probleme und Lebenssituationen

Diskussionen um neuere technische Entwicklungen, etwa aus dem Bereich der Gentechnik, der Energietechnik, der Produktionstechnik und vor allem der Informations- und Kommunikationstechnik zeigen, dass technische Problemstellungen und vermeintliche Chancen stets die unterschiedlichsten Interessen, Einstellungen und Werthaltungen berühren und sich immer aus verschiedenen, teilweise konkurrierenden, **Erkenntnisperspektiven** betrachten lassen. Wenngleich vor allem auf die berufliche Gestaltung technischer Sachsysteme bezogen, zeigt Ott (1995, 2003) solche unterschiedlichen und mitunter vernetzten Erkenntnisperspektiven auf:

- **Technologische Perspektive:** Inhalte sind hier Struktur und Gestaltung (sozio-) technischer Systeme, einschließlich des von den Beschäftigten dort eingebrachten Arbeitsprozess- und Erfahrungswissens.
- **Ökologische Perspektive:** Techniklehre beschäftigt sich hier mit der Frage der Ressourcen, des Recyclings und den Technikfolgen.
- **Ökonomische Perspektive:** Die wirtschaftlichen Bedingungen, die Interessen und Zwecke der Technik, einschließlich betriebs-, volks- und weltwirtschaftlicher Nützlichkeitsbetrachtungen (Technikbewertung) stehen hier im Mittelpunkt.
- **Politisch-soziale Perspektive:** Aus dieser Perspektive beschäftigt sich Techniklehre mit den Möglichkeiten (arbeits-)politischer Partizipation, Mitbestimmung und Selbstkontrolle, bezogen auf Arbeitsplätze und Sozialsysteme.

- **Geistig-normative Perspektive:** Inhalte können hier sein: Die Sinnhaftigkeit der technisch bestimmten, berufsförmig organisierten Facharbeit, die Aufarbeitung möglicher Normenkonflikte einschließlich moralischer Fragen und das Verhältnis von Technik und Kreativität. Weiter sind zu nennen: kulturelles Orientierungswissen, bezogen auf die künstlerisch-ästhetische Bildung und das Bewusstsein von der historischen Gewordenheit der Technik.

Sowohl die **curriculare**, noch viel mehr aber die **unterrichtliche Planungsarbeit** sieht sich mit der Aufgabe konfrontiert, die **Mehrperspektivität** technischer Probleme oder Situationen aus Gründen der Fasslichkeit, Reduktion oder Unterrichtsökonomie auf bestimmte Perspektiven **einzuschränken**. Dabei hilft es, wenn die Perspektiven bereits ein bestimmtes Handlungsspektrum abstecken, wie dies mit den in der Didaktik heute gängigen **Rollenkonzepten** der Fall ist. Sie finden sich auch im Lehrplan für das Fach „Wirtschaft und Beruf“ an den bayerischen Mittelschulen. Der Blick auf die Lerngegenstände soll hier aus der **Arbeitnehmerperspektive**, der **Konsumentenperspektive**, der **Unternehmerperspektive** sowie der **Staatsbürgerperspektive** erfolgen.

Verhaltensperspektiven

Die jeweiligen **Erkenntnis- oder Rollenperspektiven**, unter denen sich Probleme, Chancen, Lebenssituationen betrachten lassen, lenken zwangsläufig den Blick auf das hierfür adäquate oder notwendige Verhalten. Wenngleich Bedenken gegen ein solches prognostisches Verfahren existieren, lässt sich dieses durch eine **Analyse der Anforderungen** feststellen, die sich für den Einzelnen aus den jeweiligen Situationen ergeben. Je nachdem lassen sich unterschiedliche Verhaltensperspektiven beschreiben:

- Technik kennen lernen (Wissens-Perspektive).
- Technik handhaben können (Könnens- und Verhaltens-Perspektive).
- Technik nutzen können (Verwendungs- und Nutzungsperspektive).
- Technik gestalten können (Gestaltungs-Perspektive).
- Technik bewerten können (Bewertungs-Perspektive).
- Technik (mit)verantworten können (Verantwortungs-Perspektive).
- Technik als einen Gestaltungsfaktor der Arbeitswelt wahrnehmen können (Arbeitswelt-Perspektive).¹

Verhaltensperspektiven gegenüber der Technik finden sich auch in einer Empfehlung für die Einrichtung von Bildungsstandards Technik für den mittleren Schulabschluss, die von einer vom VDI eingerichteten Arbeitsgruppe nach einem mehrstufigen Entwicklungs- und Abstimmungsprozess vorgelegt wurde (VDI 2007). Die Empfehlungen beschreiben **Kompetenzbereiche** und stellen Standards vor, die

¹ <http://www.ph-karlsruhe.de/TECH/ftb/didaktik/fachraumsystxt/fachraumsys-tp2.html#Zielperspektiven>, Stand: 02.06.2003

anhand von Beispielaufgaben expliziert werden. Kompetenzen werden in fünf Bereichen beschrieben (s. Tabelle xx).

Tabelle xx: Kompetenzbereiche für das Fach Technik lt. Empfehlung des VDI (2007)

Kompetenzbereiche im Fach Technik	
Technik verstehen	Zielorientierung und Funktionen, Begriffe, Strukturen, Prinzipien der Technik kennen und anwenden
Technik konstruieren und herstellen	Technische Lösungen planen, entwerfen, fertigen, optimieren, prüfen und testen
Technik nutzen	Technische Lösungen auswählen, fach- und sicherheitsgerecht anwenden sowie entsorgen
Technik bewerten	Technik unter historischer, ökologischer, wirtschaftlicher, sozialer sowie humaner Perspektive einschätzen
Technik kommunizieren	Technikrelevante Informationen sach-, fach- und adressatenbezogen erschließen und austauschen

Im bayerischen Lehrplan für das Fach „Wirtschaft und Beruf“ sind die Verhaltensperspektiven gegenüber den Gegenstandsbereichen wie der Technik als „**prozessbezogene Kompetenzen**“ ausgewiesen. Aufgeführt werden **Handeln, Analysieren, Kommunizieren** und **Beurteilen**.

Lerninhalte technischer Bildung

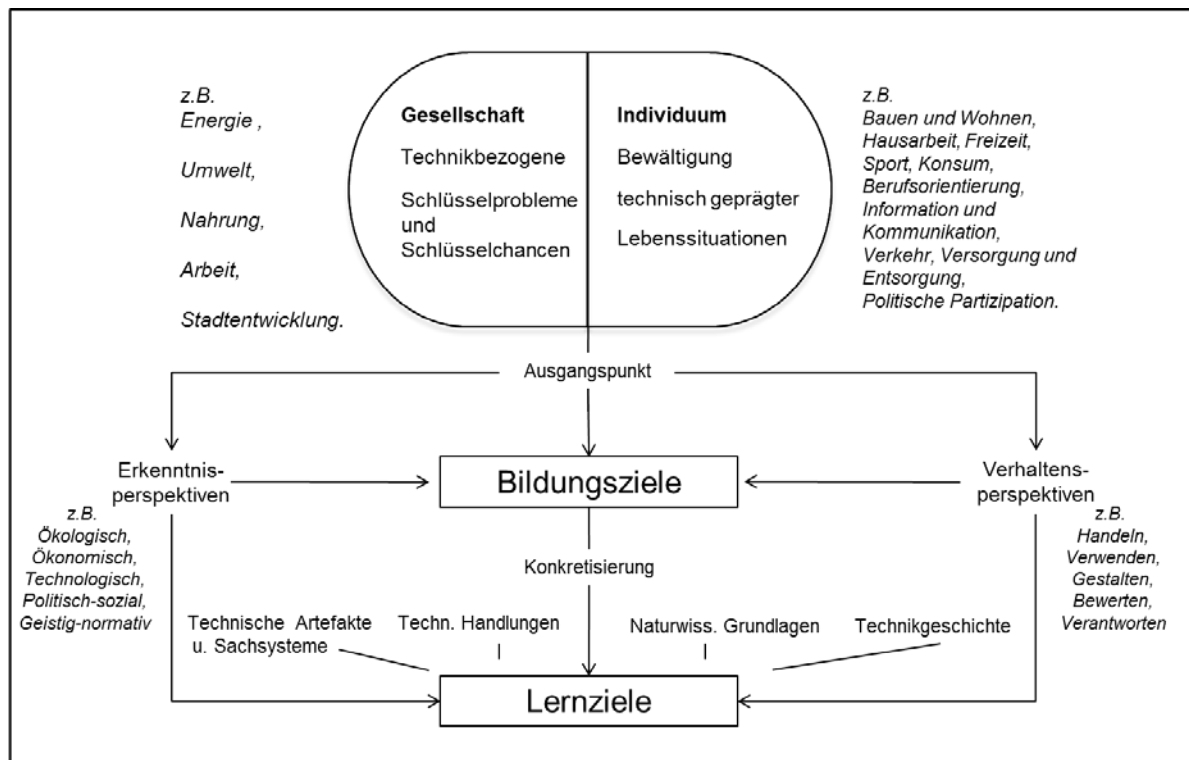
Lernziele, wie sie in den Fachlehrplänen zu finden sind, beziehen sich grundsätzlich auf die Bildungsziele, sind aber in der Regel konkreter in Bezug auf das, was sich Schülerinnen und Schüler im Unterricht aneignen sollen. Sie verweisen daher oftmals bereits auf bestimmte Lerngegenstände. Auch hier ist es jedoch Aufgabe des Lehrers, den Konkretisierungsprozess für den Unterricht weiter zu verfolgen. Dazu bedarf es ein grundsätzliches Verständnis der **Lerninhalte technischer Bildung**. In Anlehnung an Rohpohl (1979), Henseler/Höpken (1996, S. 33) lassen sich hier folgende globale Inhaltsbereiche für einen Technikunterricht definieren:

- Technische Handlungen
(z.B. Konstruieren, Produzieren, Verteilen, Verwenden, Außerbetriebnehmen)
- Technische Systeme bzw. Artefakte
(z.B. Funktion und Baustruktur technischer Systeme)
- Technische Methoden
(Handungsleitende Methoden wie antizipierende, realisierende, vereinfachende/systematisierende oder analysierende Methoden)
- Technische Prozesse
(z.B. Betrachtung technischer Systeme nach Output - Stoff, Energie, Information - und Funktion - Wandlung, Transport, Speicherung)
- Bewertung der Technik
(z.B. Entstehungs- und Verwertungszusammenhänge)

Dieser Liste lässt sich als weiterer wichtiger Lerninhalt noch die Technikgeschichte anfügen.

Lernzielkonstruktion

Sowohl der Inhaltsaspekt wie die Verhaltensperspektive müssen für eine Stunde oder Stundenfolge mit den Lernvoraussetzungen der Schüler bzw. den organisatorischen Voraussetzungen der Schule abgeglichen und ggf. modifiziert werden. Es entstehen so Feinziele. Den gesamten Zusammenhang didaktischer Entscheidungen zeigt die Abbildung 1.



12.3. Methoden im technisch orientierten Unterricht

Methoden dienen im unterrichtlichen Prozess der Umsetzung der Ziele, der Begegnung des Schülers mit der Sache, der Schaffung möglichst günstiger Lernbedingungen sowie der Rahmung des Unterrichtsprozesses (Terhart 2000, S. 26 f.). Für den technisch orientierten Unterricht steht ein methodisches Repertoire zur Verfügung, das sich zum Teil aus besonders **technikspezifischen Methoden** speist, die eine hohe Affinität zu realen technischen Handlungen oder Methoden aufweisen und damit in ihrer Struktur selbst zum technischen Lerninhalt werden (z.B. Konstruktions- und Herstellungsaufgabe). Von diesen Methoden, die die Technik eher in ihrer sachtechnischen Dimension, nämlich in der Realisierung eines technischen Artefakt erfassen, können diejenigen abgegrenzt werden, die eher der Thematisierung der human-sozialen Dimension dienen (z.B. Fallstudie, Planspiel oder Zukunftswerkstatt) (Schmayl 1999, S.5 f.). Nachfolgend findet sich eine Auswahl an Methoden, die entweder „technikaffin“ sind, oder aber dem Bildungsauftrag des Faches „Wirtschaft und Beruf“ oder Lernfel-

des „Berufsorientierung“ in besonderer Weise gerecht werden können, weil sie sich beispielsweise auch im Bereich der Verbraucherbildung einsetzen lassen. Andere Methoden, wie die Betriebserkundung oder das Betriebspraktikum, die natürlich auch zu den Zielen technischer Bildung beitragen können, sollen hier nicht weiter behandelt werden. Sie werden in entsprechenden Seminaren zur Berufsorientierung oder ökonomischen Bildung näher thematisiert.

12.3.1 Herstellungsaufgabe mittels Leittextmethode

Charakteristik: Etwas herzustellen ist eine Konstante der Technik und damit auch der technischen Bildung. Eine effektive Möglichkeit dem Schüler für und während des Herstellungsvorgangs Lernunterstützung anzubieten, ist die Leittextmethode. Sie ist gekennzeichnet durch eine Verschränkung materialgestützter, selbstgesteuerter Lern- und Arbeitsphasen mit personaler Lernhilfe. Die Leittextmethode soll nachfolgend als Organisationsmodell für eine Herstellungsaufgabe näher erläutert werden. Sie entstammt eigentlich der beruflichen Ausbildung im gewerblich-technischen Bereich, kommt mittlerweile jedoch in verschiedenen Lernbereichen zum Einsatz. Leittexte orientieren sich am Konzept der vollständigen Handlung und lassen sich nicht nur bei Herstellungsaufgaben, sondern auch für die Anleitung anderer Methoden wie Experimente oder Erkundungen einsetzen.



Abb. Xx: Konzept der vollständigen Handlung

Der Grundgedanke der Leittextmethode ist es, den Schülern ein System aufeinander abgestimmter Lernhilfen (Leittexte) an die Hand zu geben, so dass diese befähigt werden, möglichst selbstständig und selbstreflexiv zu Handlungsergebnissen zu kommen. Die Leittexte bestehen aus Leitfragen, Leitsätzen sowie dem Arbeitsplan und Kontrollbogen. Sie lassen sich grundsätzlich einteilen in Leittexte für die Bearbeitung spezieller Aufgaben (spezielle Leittexte) und Leittexte für eine ausschließliche heuristische Lenkung des Lernprozesses. Während sich bei der ersten Variante Leitfragen und Leitsätze inhaltlich auf eine konkrete Arbeitsaufgabe beziehen, fehlt dieser Bezug bei der zweiten Variante. Sie werden daher auch als inhaltsunabhängige Leittexte bezeichnet und lassen sich innerhalb eines Gegenstandsbereichs für unterschiedliche Lernaufgaben einsetzen.

Das zentrale Element der Methode stellen die Leitfragen dar. Mit ihnen soll die Informationsbeschaffung und die Ausarbeitung der Planungsunterlagen angeleitet werden. Die Fragen sind in der Regel schriftlich zu beantworten und geben dem Lehrer oder Ausbilder Hinweise auf den Lernstand sowie auf auftretende Probleme. Leitsätze sind kurze Informationseinheiten, die alle relevanten arbeitsspezifischen Informationen enthalten. Sie entlasten den Lehrer von der Wissensvermittlung. Umfang und Struktur hängen von der Aufgabenkomplexität, vom Vorwissen der Lerner sowie von den Informationsbeschaffungsmöglichkeiten ab. Die Arbeitsplanung soll von den Lernenden selbst entwickelt und im Rahmen von Arbeitsplänen und Materiallisten dokumentiert werden. Einheitliche Vorgaben erleichtern die Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Möglichst selbstständig sollen die Lernenden auch Qualitätskriterien für das technische Artefakt entwickeln und festhalten. Dazu dient der Kontrollbogen. Er kann im weiteren Verlauf der Methode zur Bewertung der Arbeitsergebnisse herangezogen werden.

Ablauf

Information

Zunächst soll sich der Lerner ein klares Bild vom angestrebten Endzustand, also vom Ziel machen. Dazu müssen zum Beispiel technische Zeichnungen eines Werkstücks oder Unterlagen eines angestrebten Produkts eingesehen und systematisch analysiert werden. Als Hilfestellung fungieren Leitfragen. Mit ihnen werden z.B. Form und Funktion des Werkstücks, Werkstoffe, einzuhaltende Toleranzen, Anforderungen an das Werkstück und andere Aspekte geklärt. Auch die zur Herstellung erforderlichen Arbeiten können anhand von Leitfragen analysiert werden. Sind zur Herstellung eines Produkts spezielle Kenntnisse oder Fertigkeiten notwendig, können ebenfalls Leitfragen bereitgestellt werden, die in Verbindung mit Leitsätzen eine weitestgehend selbstständige Erarbeitung der Fachinhalte ermöglichen sollen. In dieser Phase der Leittextmethode kann es unter Umständen sinnvoll sein, andere Methoden wie Arbeitsbeobachtungen, Befragungen oder auch Erkundungen mit zu integrieren. Durch Leitfragen können die Lerner auch dabei zu einer Analyse des Geschehens angehalten werden.

Planung

In dieser Phase ist von den Schülern der Arbeitsprozess zu antizipieren. Die Organisation der Arbeitsabläufe, die Festlegung der Werkzeuge und Hilfsmittel sowie die Abfolge und Abhängigkeiten der einzelnen Arbeitsschritte sind gedanklich durchzuspielen. Die Überlegungen sollen schließlich im Entwurf eines Arbeitsplans münden. Auch zur Unterstützung dieser Phase können wieder Leitfragen

bereitgestellt werden. Eventuell sind vom Schüler auch Material- und Werkzeuglisten anzufertigen sowie Qualitätskriterien für das Produkt zu formulieren und in einem Kontrollbogen einzutragen.

T9 – Der Arbeitsplan



ARBEITSPLAN FÜR: Fertigungsprozess der Spielschachtel und Spielzubehör			
WER ?	WAS?	Bis Wann?	Was wird benötigt?
	Spielschachtel		
	Einzelteile anreißen, einschließlich der zu konstruierenden Holzverbindungen, der Bohrlöcher für die Spielstecker oder sonstige Öffnungen für das Spielzubehör (Deckel, Boden, Seitenteile, Raumteiler für Spielzubehör, Deckelauflagen)		Material: Holzplatten, Vierkanthölzer, Holzleisten, etc. Bleistift, Schablone, Geodreieck, evtl. Zirkel
	Einzelteile aussägen		Laubsäge, PUK-Säge
	Einzelteile nachfeilen		Verschiedene Formfeilen
	Einzelteile schleifen (Deckel, Boden, Seitenteile)		Schleifklotz, Schleifpapier mit unterschiedlicher Körnung
	Teile kontrollieren, ob sie zusammen passen		
	Bohrlöcher vorstechen; Bohren mit Tiefeneinstellung und nachsenken der Löcher für die Spielfiguren		Holzbohrer/Forstnerbohrer: z.B. d=10,5 mm bei einem Holzrundstab mit d = 10 mm; Handsenker
	Aussägen der Öffnungen für das Spielzubehör		Laubsäge
	Nachfeilen der gesägten Öffnungen		verschiedene Formfeilen
	Nachschleifen der Bohrlöcher/Platten/Spielöffnungen		Schleifklotz, Schleifpapier mit unterschiedlicher Körnung
	Kontrolle ob alle Teile zusammenpassen und sauber verarbeitet sind		
	Teile der Spielschachtel zu einem Ganzen verleimen		Holzleim
	Oberflächen der Spielschachtel nachbehandeln		Salatöl
	z.B. Klettverschluss anbringen, damit der Deckel hält		Klettverschluss, Leim
	Spielzubehör Typ 1		
	Spielstecker auf Rundholzstab anreißen		Holzrundstab d = 10mm; Bleistift, Lineal
	Spielstecker ablängen		PUK-Säge
	Stecker an den Sägekanten abrunden		Schleifpapier
	Kontrolle ob Stecker in die Bohrungen passen		
	ein Teil der Stecker anmalen bzw. nachbehandeln		Farbe (Erdfarbe), Salatöl
	Spielzubehör Typ 2		
	Legfiguren anreißen, müssen entsprechend der Öffnungen etwas kleiner sein.		Holz/Holzreste: Bleistift, Schablone, Geo-Dreieck, evtl. Zirkel
	aussägen		PUK-Säge
	schleifen		Schleifpapier
	Kontrolle ob Legfiguren in Öffnung passen		
	Spielfiguren nachbehandeln		Salatöl, Erdfarben, kein Lack!
	Spielzubehör Typ 3 ...		

Abb. Xx: Beispiel für einen Arbeitsplan für eine Spielesammlung aus Holz

Entscheiden

Während dieser Phase soll der Lehrer stärker als in den ersten beiden Stufen in den Lernprozess eingreifen. Seine Aufgabe ist es, die Planungsvorschläge mit den einzelnen Gruppen gründlich zu erörtern. Das Gespräch sollte dabei nicht den Charakter eines Prüfungsgesprächs, sondern den eines Fachgesprächs haben. Grundlage des Fachgesprächs sind die Leitfragen aus der Informationsphase und der Arbeitsplan aus der Planungsphase. Die von den Gruppen erstellten Arbeitspläne und Kontrollbögen sind grundsätzlich kritisch zu reflektieren. Ziel ist es, Fehler im Arbeitsplan zu korrigieren. Auch in dieser Phase können Kenntnislücken auftauchen, die dann durch zusätzliche Unterweisungen oder andere methodische Arrangements geschlossen werden müssen.

Ausführung

Aufgrund der intensiven Vorbereitung der einzelnen Arbeitsschritte geht man davon aus, dass die Ausführung der Arbeiten von den Schülern in dieser Phase weitgehend selbstständig geleistet werden kann. Bei komplexen Arbeiten kann auch arbeitsteilig vorgegangen werden, wobei der Lernfortschritt jedes Schülers gewährleistet sein muss. Selbstverständlich können Alternativen, die sich schon in der Planungsphase angeboten haben, Berücksichtigung finden. Der Lehrer steht dem Schüler unterstützend zur Seite und greift im Falle einer Fehlentwicklung ein.

Kontrolle

Schon während der Ausführung aber auch nach Fertigstellung des Werkstücks bzw. Produkts prüft der Lernende selbst, ob die Arbeiten von ihm fachgerecht ausgeführt werden. Die Ergebnisse der Selbstkontrolle trägt der Schüler in einen Kontrollbogen ein. Denkbar ist auch eine Fremdbewertung durch die Mitschüler bzw. Gruppenmitglieder. Darüber hinaus erfolgt auch eine Kontrolle durch den Lehrer. So werden z.B. die Zeichnungsmaße mit den Werkstückmaßen verglichen. Durch die Selbstausswertung soll der Schüler die eigene Leistung einschätzen sowie Fehler und deren Ursachen erkennen lernen.

Bewertung

Anhand der Gegenüberstellung von Auftragsunterlagen, fertiggestelltem Produkt und Kontrollergebnissen soll in der abschließenden Bewertungsphase ein Fachgespräch mit dem Lehrer stattfinden. Dabei sollen Fehler und Fehlerursachen analysiert werden, um sie zukünftig zu vermeiden. Erweist sich bei dieser Fremdkontrolle die Einschätzung des Schülers als falsch, so hat er noch nicht gelernt, die eigene Arbeitsqualität richtig einzuordnen. Auch in dieser Phase sollte noch die Möglichkeit bestehen, dass Kenntnis- oder Fertigungslücken beim Schüler nach Analyse durch den Lehrer durch geeignete methodische Maßnahmen behoben werden.

12.3.2 Erfinden bzw. Konstruktionsaufgabe

Charakteristik: Am Anfang von Entstehungsprozessen für technische Artefakte und Systeme stehen oftmals Erfindungen. Erfinden ist eine typisch menschliche, weil geistige Fähigkeit, die darauf beruht, Probleme exakt zu erfassen und davon ausgehend geeignete Lösungen auszuarbeiten. Das Ergebnis des Erfindens sind Erfindungen, also materielle oder auch immaterielle Hervorbringungen oder Prozesse, die im Vergleich zum bereits Vorhandenen einen innovativen Charakter besitzen, also bislang unbekannte Merkmale aufweisen (Pahl 2008b, S. 266). Ein Anlass, sich mit neuen Produkten, Funktionen oder Merkmalen zu befassen, ist stets die Unzulänglichkeit oder Fehlerhaftigkeit der vorhandenen Technik. Für Henry Petroski (1994, S. 51) zählen Erfinder deshalb zu den strengsten Kritikern der Technologie, weil sie in der Lage sind zu erkennen, was bei einem vorhandenen Gebrauchsgegen-

stand falsch ist und wie es eventuell zu verbessern ist. Da Produktinnovationen für Unternehmen essentiell sind, um am Markt bestehen zu können, zählt die systematische Suche nach Neuem zu den beständigen Aufgaben. Impulse dafür kommen entweder durch technische Innovationen selbst oder durch Methoden der Marktforschung bzw. durch spezielle Prozesse zur Findung von Produktideen. Zwei Suchrichtungen sind möglich: Entweder ist die neue Aufgabenstellung, also beispielsweise ein Produkt oder eine Produktfunktion, schon bekannt und soll nun mit neuen oder ebenfalls bekannten, aber noch nicht verwendeten Lösungsprinzipien verwirklicht werden, oder es sollen mit neuen oder bereits bekannten Lösungsprinzipien neue oder bereits bekannte Aufgabenstellungen realisiert werden (Grothe et al. 2012).

Der Erfindungsprozess mündet in der Regel in einem Konstruktionsprozess, in dem dann erst die eigentliche Lösungsgestalt realisiert wird (vgl. Benjes 1975, S. 31). „Konstruieren ist (dann) eine vorwiegend schöpferische, von Erkenntnissen aus Wissenschaft und Erfahrung getragene, eine optimale Lösung anstrebende Tätigkeit, die das Vorausdenken eines technischen Gebildes vom Entwerfen eines funktionellen und strukturellen Aufbaus bis zum Ausarbeiten fertigungsreifer Unterlagen umfasst.“ (VDI- Definition, zitiert nach Tuchel 1967, S. 16). Am Ende des Konstruktionsprozesses, des Konstruierens, steht die Konstruktion, also das durch Fertigungsunterlagen oder sonstige technische Unterlagen dokumentierte technische Gebilde.

Der Zwang zur Zeit- und Komplexitätsreduzierung in Schule und Unterricht führt in der Regel dazu, dass nicht eine Neuschöpfung (Neuerfindung oder Neukonstruktion) im Mittelpunkt des Lernprozesses steht, sondern eine Nacherfindung, beziehungsweise eine Varianten- oder Teilkonstruktion. Schäd (1977, S. 79 ff.) nennt folgende didaktisch reduzierte Optionen für Konstruktionsaufgaben:

- Finden von Varianten, Alternativen und Verbesserungen zur Änderung von Teilfunktionen eines technischen Systems.
- Nacherfinden von Teilelementen zur Vervollständigung einer Lücke in der Funktionsstruktur eines technischen Systems.
- Übertragen von funktionsanalytisch gewonnenen Lösungsprinzipien auf ähnliche Probleme.
- Überführen eines realen technischen Systems in ein berechenbares Ersatzsystem.
- Finden von Störungsursachen innerhalb eines defekten technischen Systems.
- Deuten eines naturwissenschaftlichen Effektes eines funktionstüchtigen technischen Systems.

Didaktisch lässt die Durchführung einer Nacherfindungs- oder Konstruktionsaufgabe die Anbahnung einer ganzen Reihe von Kenntnissen und Fähigkeiten erwarten. Die Bandbreite reicht vom Aufbau spezieller Fachkenntnisse, etwa über Produkte und Produktlebensphasen, naturwissenschaftliche Gesetze und übliche Konstruktionslösungen bis hin zur Entfaltung kreativer Fähigkeiten (vgl. Pahl 2008b, S. 267). Da es bei einer Nacherfindungs- oder Konstruktionsaufgabe nicht primär um ein mehr oder weniger rezeptiv zu lösendes Nachbauen von bereits vorgegebenen Artefakten geht, ist der Lerner mit offenen Entscheidungssituationen, Widersprüchen und Unklarheiten konfrontiert. Das Fortschreiten im Erfindungs- oder Konstruktionsprozess setzt den Einsatz verschiedenster Problemlösungsstrategien voraus. Je nach thematischer Steuerung eröffnet die Methode auch die Beschäftigung mit ethischen, sozialen oder ökologischen Aspekten der Konstruktion. Im Vergleich steht die Erfindungs- und Konstruktionsaufgabe wohl wie keine andere Methode für den Erwerb spezifisch technischen Wissens, formiert sie sich doch um das Problem, materiale Objektstrukturen mit imma-

teriellen Informationen wie naturwissenschaftlichen Gesetzmäßigkeiten und human-sozialen Wünschen und Bedürfnissen zu koppeln.

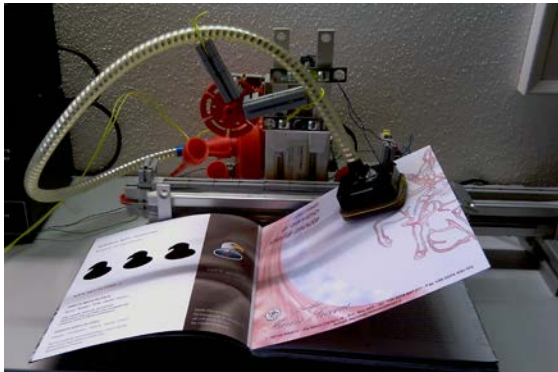


Abb. Xx und xy: „Nacherfinden“ eines Seitenwenders für Bücher - Schüler untersuchen ein unfertiges Modell und überlegen sich, wo Aktoren und Sensoren eingebaut werden müssen

In enger Verbindung zur Nacherfindungs- oder Konstruktionsaufgabe steht auch die Reparaturaufgabe. Reparieren im Sinne von Nacherfinden oder Konstruieren eines fehlerhaften oder defekten Teilsystems zielt dann nicht nur auf das bloße Auswechseln der Elemente, sondern auf eine teilweise Neuordnung oder Neuausrichtung der morphologischen, funktionalen oder informationellen Struktur eines technischen Systems. Der beim Konstruieren wie beim Reparieren größte Zugewinn in Bezug auf die technische Bildung bezieht sich unter Umständen nicht so sehr auf die spezifische Klasse technischen Tuns an sich, sondern auf die systematische Durchdringung eines Artefaktes oder eines technischen Systems selbst: *„Wir verstehen am besten, was wir selbst konstruktiv hervorzubringen imstande sind. Technik ist auch in diesem Sinne nicht nur Anwendung, sondern Instrument für unsere Erkenntnis.“* (Roth 1965, S. 22). Jenseits der rein technologischen Dimension lassen sich mit dem Reparieren noch andere Aspekte thematisieren. Aus einer ökonomisch-ethischen Perspektive betrachtet, bietet es Antworten auf die viel diskutierte Wegwerfmentalität ebenso wie auf bereits bei der Herstellung eingebaute Sollbruchstellen („geplante Obsoleszenz“) in technischen Produkten.²

Ablaufstruktur: Konstruieren ist eine typisch ingenieurmäßige Tätigkeit, die eine methodische Vorgehensweise verlangt und charakterisiert ist durch spezifische Ablaufschritte und Konstruktionsphasen. In ihnen wird die Arbeit durch Checklisten, Diagramme oder andere Hilfen unterstützt. Selbst das Erfinden kann zumindest teilweise methodisch angelegt werden.

² Dass Reparieren eine breite Anhängerschaft auch außerhalb von Bildungsinstitutionen aufweisen kann, zeigt die Seite <http://www.ifixit.com/> im Internet, auf der für Tausende von Technikproblemen Tipps und Reparaturanleitungen hinterlegt sind.

Auch im Rahmen didaktischer Zwecke ist der Konstruktionsprozess in unterschiedliche Phasen einzuteilen. Als Modell soll die in den Konstruktionslehren für Ingenieure üblicherweise aufgezeigte Abfolge an Einzelschritten dienen. Für einen unterrichtlichen Nachvollzug müssen ggf. einzelne Phasen übersprungen oder aber durch den Lehrer abgedeckt werden.

(1) Konkretisierung der Problem- und Aufgabenstellung

Methodische Vorgehensweisen bedürfen einer anfänglichen Durchdringung des sich damit eröffnenden Problemraums. Wenngleich die Aufgabenstellung im Verlauf des Lösungsprozesses mitunter modifiziert werden muss, ist eine möglichst präzise Definition der notwendigen Ausgangspunkt für die eigentliche Realisierung. In dieser ersten Phase ist daher das technische Problem bzw. die technische Aufgabenstellung ausführlich zu besprechen. Dabei geht es darum, einen Verständnisrahmen zu schaffen, der die Grundlage für eine konkrete Aufgabenstellung und die anschließende Arbeitsorganisation bildet.

Die Präzisierung der Aufgabenstellung ist sowohl für den technischen Realisierungsprozess als auch für die methodisch-didaktische Umsetzung von großer Bedeutung. Für den technischen Realisierungsprozess deshalb, weil die evtl. vagen Ideen, Vorgaben oder Interessen hier einer ersten entscheidenden Prüfung unterzogen werden, hinsichtlich des Anforderungskontextes ebenso wie in Bezug auf die technische Machbarkeit. Im Idealfall enthält die präzierte Aufgabenstellung Angaben über das zugrunde liegende Bedürfnis der technischen Aufgabe, über das zu erreichende Ziel, über vorliegende oder zu schaffende Voraussetzungen, über relevante Umstände der Bearbeitung sowie über abschätzbare Nebenwirkungen (Müller 1990, S. 145).

Aus methodisch-didaktischer Perspektive betrachtet, eröffnet diese Phase die Chance, die Aufgabe allen Lernern ins Bewusstsein zu rücken. Damit können sich die Schüler der eigenen Präferenzen, Voraussetzungen oder auch Defizite gewahr werden, sich mit der Aufgabenstellung identifizieren und von Anfang an ihre Erfahrungen einbringen. Auch Kriterien für eine Bewertung der Schülerleistungen können hier besprochen werden.

(2) Sammeln von Informationen – Erstellen einer Anforderungsliste

Je nach Aufgabenstellung ist diese Phase mehr oder weniger umfangreich und dient u.a. dazu, die Anforderungen der Konstruktion zu ermitteln. Hinweise dafür ergeben sich aus der Betrachtung der Produktlebensphasen (s. Abb. xx). In dieser Phase können aber auch Lücken im Vorwissen oder bei speziellen Fähigkeiten festgestellt und gegebenenfalls über einen Lehrgang geschlossen werden. Aufgrund der vielfältigen Möglichkeiten der Informationsbeschaffung ist zudem vom Lehrer eine Teilauswahl vorzunehmen.

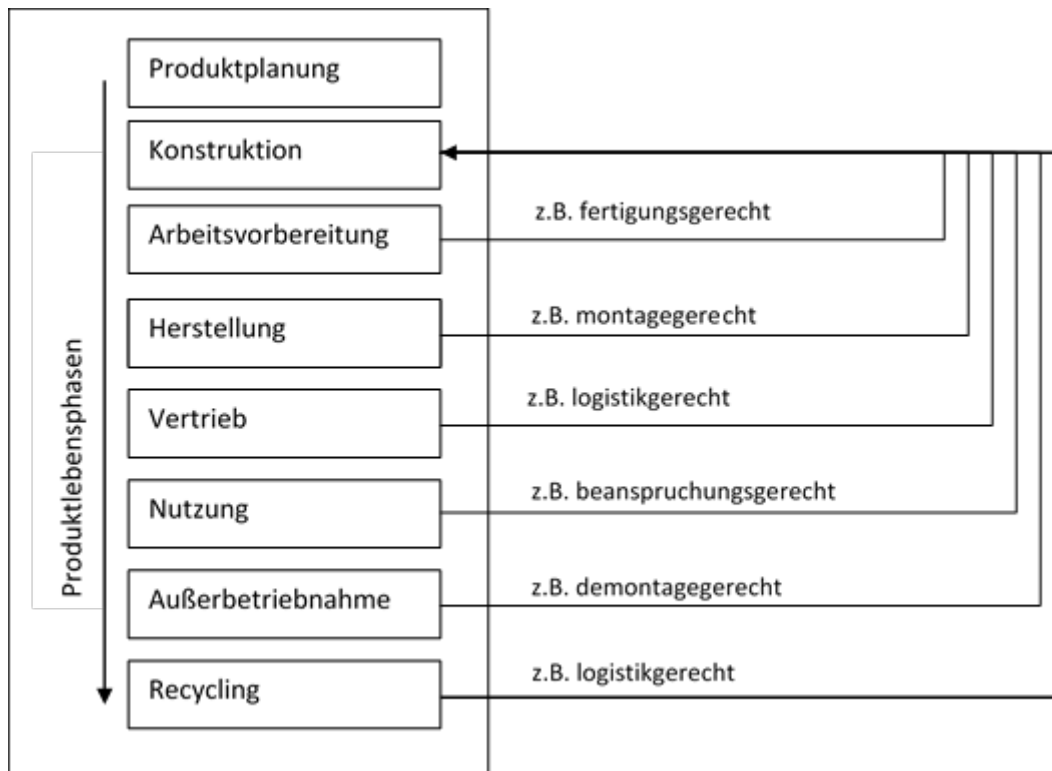


Abbildung xx: Anforderungen an die Konstruktion aus den Produktlebensphasen

(3) Funktionsanalyse

Ein wichtiger Schritt auf dem Weg zur strukturellen Klärung einer Konstruktion ist die Funktionsanalyse. Ausgehend von den vorher definierten Anforderungen werden nun Funktionen definiert, die das Produkt erfüllen soll und die anschließend konstruktiv, also unter Berücksichtigung chemisch-physikalischer Prinzipien und Erkenntnisse, realisiert werden müssen.

Technische Gebilde können hierfür als Systeme aufgefasst werden, die durch Eingangs- und Ausgangsgrößen mit ihrer Umgebung in Verbindung stehen. Ein komplexes technisches System besteht aus einer Vielzahl von Teilsystemen, die sich durch Systemgrenzen voneinander abgrenzen lassen. Ein- und Ausgangsgrößen überschreiten diese Systemgrenzen (vgl. Pahl & Beitz 2003, S. 38 f.). Bei der Analyse eines technischen Systems und seiner Teilsysteme wird offenbar, dass sie Teil eines technischen Prozesses sind, in dem immer entweder Energie, Stoff oder Information geleitet und/oder verändert wird (vgl. Pahl/ Beitz 2003, S. 40). Jedes Systemelement stellt eine bestimmte Teilfunktion eines Geräts, einer Maschine oder eines Apparates sicher.

Bei einer Funktionsanalyse werden daher zunächst die Gesamtfunktion und anschließend die davon abzuleitenden Teilfunktionen festgestellt. Die Gesamtfunktion (Beispiel: Gesamtfunktion einer Waschmaschine ist Wäsche waschen) lässt sich dabei soweit zerlegen, bis die elementaren Hauptfunktionen eines technischen Systems erreicht sind: Energie-, Stoff- und Informationsumsatz. Solche Grundfunktionen hinsichtlich des Stoff-, Energie- oder Informationsumsatzes lassen sich folgendermaßen unterteilen: Wandeln, Ändern, Verknüpfen, Leiten, Speichern. Tabelle xx zeigt Leitfragen für eine Funktionsanalyse auf: Zunächst wird die Gesamtfunktion und dann die daraus notwendig resultierenden Teilfunktionen ermittelt. Diese können auch zu den Hauptfunktionen gezählt werden, weil

sie unmittelbar der Gesamtfunktion des technischen Gebildes bzw. des Prozesses dienen. Davon zu unterscheiden sind die Nebenfunktionen. Sie tragen im Sinne von Hilfsfunktionen nur mittelbar zur Gesamtfunktion bei. So ist die Hauptfunktion eines Autositzes sicher das ergonomisch richtige Sitzen. Eine Nebenfunktion ist dann das sichere Sitzen. Haupt- und Nebenfunktionen können durch Tabellen, Skizzen und Flussdiagramme dargestellt werden.

Tabelle xx: Fragen zur Analyse von Teilfunktionen oder Teilprozessen

- Welche Hauptfunktion erfüllt das technische Gebilde bzw. der technische Prozess?
- Lässt sich die Hauptfunktion oder der Prozess in weitere Einzelfunktionen oder Teilprozesse zerlegen? (zum Beispiel mechanisch, elektrisch, optisch...)
- Welchen Zweck verfolgt die Teilfunktion oder der Teilprozess?
- Welche Zustandsgrößen werden bei dieser Teilfunktion oder diesem Teilprozess eingenommen?
- Was sind die Eingangsgrößen für diese Teilfunktion oder für diesen Teilprozess?
- Welche Teilfunktion ist Voraussetzung für diese Teilfunktion?
- Welche Ausgangsgrößen können bei der Teilfunktion oder dem Teilprozess auftreten?
- Für welche Teilfunktion ist diese Funktion die Voraussetzung?
- Wie wirken die Teilfunktionen/Teilprozesse zusammen?

(4) Lösungsansätze für die Teilfunktionen

Hier geht es zunächst darum, für die im Rahmen der Funktionsanalyse erhobenen Teilfunktionen geeignete technische Lösungsprinzipien zu finden, zu bewerten und auszuwählen. Dabei kann es sich um physikalische, chemische oder aber auch biologische Effekte oder Gesetze handeln. Diese wiederum beanspruchen einen bestimmten Wirkort und möglicherweise eine bestimmte Wirkrichtung. Damit determinieren sie Geometrie und Werkstoffe, also die Baustruktur die notwendig ist, um die jeweilige Teilfunktion zu erfüllen. Viele Teilfunktionen können über standardisierte Baueinheiten (z.B. Schraubenverbindungen) realisiert werden. Andere müssen neu entworfen werden. Tabelle xx gibt einen Überblick über die Leitfragen, die in dieser Phase gestellt werden können.

Tabelle xx: Fragen zur konstruktiven Lösung einzelner Teilfunktionen oder Teilprozesse

- Welche technisch-physikalischen, chemischen oder biologischen Grundprinzipien, Gesetze oder Effekte kommen bei der Teilfunktion oder dem Teilprozess zur Anwendung?
- Wie ist der Wirkort des physikalischen Effekts geometrisch zu beschreiben?
- Welche Form bzw. Geometrie muss der Wirkort zur Erfüllung der Teilfunktion haben?
- Welche Werkstoffe ergeben sich aus dem physikalischen, chemischen oder biologischen Gesetz oder Effekt?
- Mit welchen Baueinheiten lässt sich die Teilfunktion realisieren?
- Wie wirken die Teilfunktionen/Teilprozesse/Bauteile/Subsysteme/Strukturen zusammen?

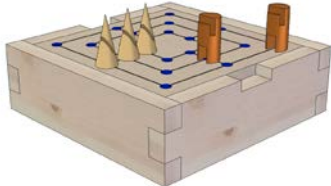
Baueinheiten bilden somit auch Funktionseinheiten. Zusammen garantieren sie die Gesamtfunktion eines technischen Systems. In Tabelle xx ist eine Auswahl grundlegender Funktionseinheiten mit den dazugehörigen Baueinheiten für Maschinen aufgeführt.

Tabelle 14: Gliederung von Maschinen in Funktions- und Baueinheiten

Funktionseinheiten	Entsprechende Baueinheiten (Beispiele)
Antriebseinheiten	Elektromotor, Hydraulikaggregat, Späneförderer
Spanneinheiten	Beispiel: Hydraulische Spanneinrichtung
Arbeitseinheiten	Arbeitsspindel mit Spannvorrichtung, Revolver mit Werkzeugen
Bedien- und Steuerungseinheiten	Schalter, Bedienpult
Kontroll- und Messeinheiten	Vorschubmessung bei CNC-Maschine
Stütz- und Trageeinheiten	Gestell, Gleitschlitten
Verbindungselemente	Schrauben, Muttern, Welle-Nabe-Verbindungen
Energieübertragungseinheiten	Riemen, Wellen, Spindeln, Kupplungen

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Sammlung mit Anforderungen/Funktionen und Lösungen für den Kasten und die Einzelteile einer Spielesammlung als schulisches Projekt.

Tabelle. Xx: Anforderungen, Funktionen und Lösungsmöglichkeiten für den Kasten einer Spielesammlung

Funktionsanalyse Spielesammlung			
			
Nr.	Teil	Anforderung/ Funktionen	Mögliche Lösungen
1	Kastenwand	Behältnis bilden Eckverbindung Bodenverbindung	Feste Verbindung mit Boden durch Befestigungsmittel (Leimen, nageln...) Nageln; Leimen; Im Falz nageln/leimen; Auf Gehrung nageln /leimen; Stumpf dübeln/leimen; Zinken Mindestwandstärke in Abhängigkeit

		Kräfte aufnehmen Auflager für Deckel Zugriff auf Deckel ermöglichen Schmutzabweisend sein	von der Art der Eckverbindungen Mit innen angeleimtem Auflager; oder Nut zum Einschieben Eckige Aussparung; Bänder an Deckel zum Anheben Wachsen; Ölen, Lackieren
2	Kastendeckel	Behälter bilden Kräfte aufnehmen Bohrungen bzw. Aussparungen aufnehmen Schmutzabweisend sein	Lose Verbindung mit Wänden durch Auflager; Einschub durch Nut... Mindestwandstärke in Abhängigkeit von der Art der Eckverbindungen Wachsen; Ölen, Lackieren
3	Kastenboden	Behälter bilden Kräfte aufnehmen Bohrungen bzw. Aussparungen aufnehmen Schmutzabweisend sein	Feste Verbindung mit Wänden durch Befestigungsmittel (Leimen, nageln...) Mindeststärke in Abhängigkeit von der Art der Eckverbindungen Wachsen; Ölen, Lackieren
4	Spielsteine Raumpuzzle	Sicheres Spiel ermöglichen Schmutzabweisend sein	Nicht zu klein Wachsen; Ölen, Lackieren
5	Spielsteine Brettspiele	Sicheres Spiel ermöglichen Schmutzabweisend sein	Nicht zu klein Wachsen; Ölen, Lackieren
6	Kreisel	Zufällige Auswahl ermöglichen	Konstante Radien durch Zukaufteile

(5) Zusammenfassung der einzelnen Lösungsansätze

Nun müssen die evtl. von einzelnen Schülergruppen festgehaltenen Lösungen für die Teilfunktionen oder die bereits entworfenen und in Skizzen und Beschreibungen definierten Baueinheiten zu einem Gesamtsystem, zur Baustruktur zusammengefügt werden.

Zu beachten ist dabei, dass die Baustruktur technischer Systeme eben nicht nur der Erfüllung der Gesamtfunktion dient, sondern auch die Nebenfunktionen erfüllen muss, die sich aus den verschiedenen Anforderungen der Produktlebensphasen ergeben. Erst die Beachtung dieser Anforderungen – zum Beispiel aus der Fertigung, der Montage, der Ergonomie und des Transports – macht eine abschließende Klärung des Bauzusammenhangs, also die Anordnung und Fügung der Baueinheiten möglich. Das Resultat dieser Phase besteht dann in detaillierten und kommentierten technischen Unterlagen für die anschließende Umsetzung (technische Zeichnungen, Skizzen, Materiallisten).

(6) Erstellung eines Prototyps

Auf der Basis der in der vorhergehenden Phase erstellten Unterlagen (z.B. technische Zeichnungen, Skizzen oder bereits Stücklisten) kann ein Prototyp realisiert werden. Unter Umständen müssen dafür weitere Arbeitsunterlagen wie Arbeitspläne oder Programme für Werkzeugmaschinen erstellt werden.

(7) Überprüfung und Verbesserung des Prototyps

Nach der Fertigstellung des Prototyps ist dieser anhand der in Phase 2 gestellten Anforderungen zu überprüfen und zu bewerten. Mögliche alternative Lösungsmöglichkeiten können noch einmal diskutiert werden. Zweckmäßig ist es auch, hier die während der Konstruktionsphasen aufgetretenen Probleme und gemachten Erfahrungen zu reflektieren.

12.3.3 Werkbetrachtung, Werk- oder Produktanalyse

Charakteristik: Gegenstände wie Besteck, Geschirr, Möbel, Haushaltsgeräte oder Werkzeuge fügen sich in den Alltag durch ihre eigentliche Funktion. Dafür, dass die Interaktion mit diesen Objekten mehr oder weniger unbewusst erfolgt, sind Eigenschaften verantwortlich, die auch als Qualitätsmerkmale bezeichnet werden können. Gebrauchstauglichkeit, ergonomische Gestaltung oder leichte Bedienbarkeit sind solche Merkmale, die entweder während der Planung und Entwicklung bewusst als Anforderungen an das Objekt definiert wurden oder aber das Ergebnis einer langen Evolution des Gebrauchs sind. Die Reibungslosigkeit der Interaktion mit einem Produkt zu untersuchen, kann sich im Rahmen technischer Bildung oder Verbraucherbildung als durchaus lohnend erweisen. Die Frage lautet dann, warum sich das Produkt so gut eingliedert, welche Merkmale dafür ausschlaggebend sind bzw. warum es genau so und nicht anders konstruiert wurde.

Eine weniger technologisch oder ergonomisch inspirierte als vielmehr kulturelle Deutung einzelner Objekte ist das Ziel technikhistorischer Analysen. Untersucht wird hier, welche Ursachen für die Evolution der technischen Artefakte und Sachsysteme ausschlaggebend waren, welche Bedürfnisse oder Wünsche die Entstehung begleiteten, wie sich die Lebens- und Arbeitsbedingungen der Menschen gestalteten, die in den Lebenszyklus des Artefaktes involviert waren. Dass alle Interpretationen dem Vorbehalt der Zufälligkeit unterliegen – zumal, wenn die Analyse nur auf einem einzelnen Objekt gründet – ist dabei genauso zu beachten, wie die fokussierende Wirkung des gegenwartsbezogenen Vorverständnisses.

Methoden, mit denen den Dingen ihre innewohnenden Botschaften durch das „Vordergründige“ hindurch abgerungen werden sollen, sind sowohl in der Werk- und Kunstpädagogik als auch im technikdidaktischen Bereich beheimatet. Ob Werkbetrachtung, Werk- oder Produktanalyse, alle Methoden basieren auf der Annahme, dass sich der Blick hinter die Dinge inhaltlich als lohnend erweist und die „Lesbarkeit“ eines Objekts methodisch angelegt werden kann. Je nach Zielrichtung lassen sich die Gegenstände etwa in Bezug auf Bedürfnisse oder Intentionen, Entstehungs- und Herstellungszusammenhänge oder in Bezug auf die mit ihnen verbundenen Effekte untersuchen. Konkret kann die Auseinandersetzung mit spezifischen technischen Artefakten oder Produkten das ästhetische Formempfinden oder Materialbewusstsein schulen, ein reflektiertes Verbraucherverhalten anbahnen oder

Verständnis für historische Zusammenhänge aufbauen. Wieder ist es die bewusste Auswahl eines bestimmten Aspekts (sozialer, ergonomischer, ökonomischer, ökologischer oder technologischer Aspekt), die den Analyse- und Raum begrenzen hilft.

Ablauf: Am Anfang der Methode steht die Vorstellung des Analysegegenstandes. Bereits hier kann eine bestimmte Erkenntnisrichtung eingeschlagen werden, indem nämlich erklärt wird, zu welchem Ziel die Analyse führen soll. Geht es um eine ergonomische, ökonomische, technologische oder technikhistorische Aufklärung? Möglich, dass zuerst ein spezifisches Vorwissen aufgebaut werden muss, das für den weiteren Gang der Methode unentbehrlich ist. Ausgehend von einer Leitfrage können die Schüler dann Hypothesen aufstellen. Anschließend geht es darum, wie sich die Hypothesen überprüfen lassen, bzw. welche Schritte am Objekt selbst oder darüber hinaus unternommen werden müssen, um die Vermutungen zu verifizieren oder falsifizieren. Hilfreich für das weitere Vorgehen ist eine Einordnung des Gegenstandes in eine Systematik. Im Vorgang der Einordnung und gedanklichen Reflexion kann es zu einer ersten Annäherung an die technische Hervorbringung kommen. Handelt es sich beispielsweise um Geräte (z.B. Werkzeuge, Vorrichtungen, Hausgeräte, Armaturen, Beschläge), Mobiliar (z.B. Hocker, Stühle, Tische, Aufbewahrungs- und Abstellmobiliar), Gebäude, Maschinen, Behälter, Gefäße, Gehäuse, Gegenstände mit Bewegungsfunktion (z.B. Briefwaage, Büchsenöffner, Zange) oder Gegenstände mit statischer Funktion (z.B. Tasse, Regal, Besteck).

Wie lässt sich der Gegenstand in Bezug auf Produktionsprozess und -bedingungen einordnen, könnte eine weitere Frage sein. Ausgehend vom Objekt soll auf den Produktionsprozess und seine sozio-technischen Rahmenbedingungen geschlossen werden. Folgende Merkmale des Produktionsprozesses können dabei einer näheren Betrachtung unterzogen werden: Werkstoff, Produktcharakter, Produktform, Produktzweck, Produktvarianz, Technisierungsgrad oder der Grad der Arbeitsteilung bei seiner Herstellung.

Neben der Einordnung des Gegenstandes in eher technologisch orientierte Klassifikationsschemata stellt eine andere Reflexionsrichtung das Objekt in Beziehung zum Menschen oder sozialen Systemen: Denkbar sind hier etwa ergonomische Analysen oder auch die Untersuchung der Wechselbeziehungen zwischen Objekt und gesellschaftlichen, historischen oder ökonomischen Verhältnissen und Kriterien. Am Schluss der unterschiedlichen Betrachtungen steht ein Resümee in Bezug auf die Anfangshypothesen sowie evtl. eine Dokumentation der gesamten Analyse, bei der die Erkenntnisse verallgemeinert werden (vgl. Henseler/ Höpken 1996, S. 93ff.).

12.3.4 Produktprüfung und Benutzertest

Charakteristik: Bei so manchem Produkt, das heute in den Handel gelangt, fehlt anscheinend von vorneherein der feste Vorsatz, dass dieses seinen Nutzen auch tatsächlich dauerhaft, effektiv oder sicher unter Beweis stellen soll. Zu diesem Eindruck kann man gelangen, wenn man sich beispielswei-

se die ständig aktualisierten Berichte des *Rapid Exchange of Information System* der Europäischen Union (kurz RAPEX) zum Verbraucherschutz anschaut. Mit diesem Schnellwarnsystem werden Erkenntnisse aus den Mitgliedsstaaten über bestimmte gefährliche oder potentiell gefährliche Verbrauchsgüter ausgetauscht. Manche der dort dokumentierten Sicherheitsrisiken hätten möglicherweise vermieden werden können, wären im Entwicklungsprozess ausreichende Produktprüfungen durchgeführt worden. Doch nicht nur Sicherheitsaspekte, sondern auch die angestrebte Wirkung eines Produkts, das Verhältnis von Aufwand und Nutzen, die Zufriedenheit des Nutzers oder die Bedienbarkeit („Usability“) kann über Produktprüfungen untersucht werden.

Eine Methode der Produktprüfung ist der Benutzertest. Dabei führt eine vorher festgelegte Anzahl an Nutzern verschiedene Aufgaben mit einem Produkt durch. Aus technikwissenschaftlicher Sicht unterscheidet sich der Test vom Experiment dadurch, dass hier keine Generalisierbarkeit im Sinne einer Theorie angestrebt wird, sondern allein die Erfüllung einer bestimmten Funktion bewiesen werden soll (vgl. Kornwachs 2015, S. 74f.). Die Auswertung der erhobenen Daten soll zum Beispiel Aufschluss über die Gebrauchstauglichkeit oder Benutzungsfreundlichkeit eines Produktes geben. Angewendet werden Benutzertests etwa zur Optimierung von Produkten während der Entwicklungsphase oder aber auch im Rahmen von Produkt-Vergleichsstudien von Verbraucherschutz-Organisationen.

Die Grundlage für die Planung und Durchführung eines Benutzertests bildet eine Analyse des Nutzungskontextes. Dieser muss verstanden werden, um Testaufgaben so zu gestalten, dass sie der realen Nutzung des Produktes entsprechen. Des Weiteren ist das Ziel des Tests genau zu spezifizieren (Adler et al. 2010, S. 56). Für die Erhebung der Daten können verschiedene empirische Methoden eingesetzt werden (vgl. Jordan 1998, S. 51ff.; Stanton/ Young 1998, S. 21ff.): Feldbeobachtung, Videoaufzeichnung, lautes Denken, Interview bzw. Befragung, Experiment, Nutzungstagebuch, Eingabeprotokoll (Logfiles), Aufmerksamkeitsanalyse (Eye-Tracking), Messung (Zeit- und Fehlerdaten) oder teilnehmende Beobachtung mit anschließender Benutzerbefragung. Fragen können sich beispielsweise auf Bedienung, Lernbarkeit, Steuerbarkeit, Größe und Form, Übersichtlichkeit, Kraftaufwand, Lautstärke, Erreichbarkeit oder Zugänglichkeit beziehen.

Die Wahl von Testumgebung und Methode ist abhängig vom Produkt selbst, von der Häufigkeit, mit der es benutzt werden soll, von Zeit und Aufwand sowie weiteren Aspekten.

Ein Ziel der ökonomischen Bildung, besonders der Verbraucherbildung, ist es, Schülerinnen und Schüler mit Institutionen des Verbraucherschutzes bekannt zu machen, deren Testergebnisse als wichtige Information im Vorfeld von Kaufentscheidungen zu thematisieren und eventuell auch Verständnis für Testmethoden aufzubauen. Im schulischen Bereich wird zwar – wie etwa im bayerischen Lehrplan für das Fach Arbeit-Wirtschaft-Technik – die Durchführung von Produkttests angeregt, eine tiefere didaktische Auseinandersetzung ist bisher in der Literatur jedoch nicht auszumachen. Dabei kann der Benutzertest im Rahmen technischer Bildung durchaus selbst zur Methode werden. Denkbar sind Benutzertests im Rahmen von Konstruktionsaufgaben, etwa wenn es gilt, ein vorhandenes Produkt oder einen Prototypen zu verbessern. Die Technikbewertung ist ein weiteres Einsatzfeld für Benutzertests. Benutzertests können einen Beitrag zur funktionalen Klärung eines technischen Systems ebenso leisten wie bei der Klärung der Frage helfen, ob und inwiefern die für die Planung und Konstruktion des Produkts relevanten Anforderungen angemessen in Produkteigenschaften umgesetzt wurden. Die Planung, Durchführung und Auswertung eines solchen Produkttests setzt auf ein wissenschaftlich-distanziertes Verhältnis zum Produkt, seinen Eigenschaften und seinem Funktionsvorrat. Wenngleich die Methode viel Raum für Kreativität vermuten lässt und handlungsorientiertes und

entdeckendes Lernen fördert, dürfte auch hier die empirische Erkenntnisgewinnung nicht ohne Hilfe des Lehrers auskommen. Unterstützung ist gegebenenfalls sinnvoll für eine Reduzierung der Anzahl der zu untersuchenden Kriterien oder Eigenschaften, für den Ausschluss potenzieller Sicherheitsrisiken oder bei der Planung von Ablauf und Gestaltung der Tests.

Ablauf: Adler et al. (2010, S. 56) schlagen in Anlehnung an Rubin (1994) für einen Benutzertest sechs Schritte vor. Voraussetzung für den Ablauf ist eine genaue Spezifizierung des Nutzungskontextes eines Produktes sowie eine Festlegung der Ziele der beabsichtigten Prüfung. Danach sollte der Test folgende Phasen durchlaufen: Erstellung eines Testplans, Auswahl von Probanden, Vorbereitung der Testumgebung, Durchführung der Prüfung, Nachbesprechung und Auswertung. In der nachfolgenden Tabelle sind Phasen, die jeweilige Funktion sowie dabei zu beachtende Punkte aufgeführt.

Tabelle xx: Ablauf eines Benutzungstests (Adler et al. 2010, S. 56 ff.)

Phase	Funktion	Aspekte für die Durchführung
Testplan	Erstellung einer Verfahrensanweisung für die Durchführung eines konkreten Benutzertests mit folgenden Punkten:	- Ziel des Benutzertests - Benutzerprofile - Spezifikation der zu verwendenden Methoden - Aufgabenliste - Kriterienliste - Beschreibung der Testumgebung und Ausrüstung - Zeitplan
Auswahl der Probanden	Repräsentative Auswahl der Benutzer gemäß der Analyse des Nutzungskontextes. Die Anzahl ist von folgenden Faktoren abhängig:	- Anzahl unterschiedlicher Benutzergruppen - Komplexität des Produktes - Verfügbarkeit potentieller Probanden - Sicherheitsrelevanz
Vorbereitung der Testumgebung	Überprüfung und Vorbereitung der Testumgebung für die Durchführung eines störungsfreien Tests nach folgenden Kriterien:	- Ablenkungen ausgeschlossen - Produkt auf Werkeinstellungen zurückgesetzt - Peripheriegeräte und Verbrauchsmateri-

	alien in ausreichender Menge vorhanden
Durchführung des Benutzer-tests	Jeder Proband führt den Benutzer-test separat durch, dabei sind folgende Unterpunkte zu berücksichtigen: Einführung der Probanden: Beteiligte vorstellen und Grund der Testes erläutern. Information über Versuchsumstände. Hinweis, dass das Produkt und nicht der Proband getestet wird. Erhebung von Hintergrundinformationen: Erhebung von Daten für die spätere Auswertung, wie Alter, Geschlecht, Händigkeit usw.. Einführung der Probanden in das Produkt: Zeit einräumen, damit sich der Proband auf seine Weise mit dem Produkt und noch losgelöst von Aufgaben vertraut machen kann. Bearbeitung von Aufgaben und Datenerhebung: Der Prüfer legt dem Probanden die im Testplan aufgeführten Aufgaben zur Bearbeitung vor. Nachbesprechung: Überprüfung der Bewertungen und Bemerkungen um sicherzustellen, dass der Prüfer den Probanden richtig verstanden hat. Auswertung des Benutzertests: Die Aufarbeitung der Daten hängt von den Prüfzielen und der Art der erhobenen Daten ab.

12.3.5 Arbeit mit Checklisten

Charakteristik: Eine Checkliste ist allein für sich genommen natürlich noch keine Methode, die Arbeit mit ihr dagegen schon. Checklisten bestehen in der Regel aus geschlossenen Fragen mit nur wenigen Auswahlmöglichkeiten. Ziel ist es, durch die Vorgabe bestimmter Kriterien, ein standardisiertes Verfahren für die Prüfung oder Bewertung von technischen Artefakten, Systemen oder auch technischen Dienstleistungen zu gewährleisten. Im Rahmen technischer Bildung ist die Erstellung von eigenen Checklisten – etwa im Vorfeld einer Produkt- oder Dienstleistungsprüfung – genauso möglich, wie die Arbeit mit bereits ausformulierten.

Das entscheidende Moment bei der Anwendung von bereits vorhandenen Checklisten ist, dass hier bereits expliziertes und kategorial geordnetes Wissen abgerufen werden kann. Die Suche nach Kriterien, Eigenschaften oder Aspekten innerhalb eines bestimmten Wissensbereichs wird damit überflüssig.

sig oder zumindest abgekürzt. Technische Planungs-, Konstruktions- oder Bewertungsaufgaben bei denen es um die Identifikation, Analyse, Findung, Komplettierung oder Bewertung von Teilschritten, Elementen oder ihren Wechselbeziehungen geht, können damit effizient ablaufen. Anwendung finden solche Listen etwa bei der Anforderungsermittlung im Rahmen einer Konstruktionsaufgabe, bei der Qualitätssicherung oder –überprüfung innerhalb von Produktionsprozessen oder bei Auswahl und Bewertung technischer Systeme oder Artefakte im Rahmen von Investitions- oder Kaufentscheidungen.

Checklisten eignen sich besonders gut auch für die Bewertung von Technik. Verbraucher können sich beispielsweise im Vorfeld einer Kaufentscheidung an den Checklisten von Testzeitschriften oder Verbrauchereinrichtungen orientieren. Auch für die Beurteilung technischer Großprojekte können vorgefertigte Checklisten herangezogen werden. Grupp (1994, S. 78) stellt vier Checklisten vor, die am Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung eingesetzt werden. Zwei davon sind nachfolgend abgebildet (Abb. xx und xy). Das erste Raster dient der Bewertung möglicher Auswirkungen eines Technikeinsatzes auf den Menschen, das zweite Raster der Bewertung möglicher Wirkungen auf die Umwelt.

Raster für mögliche Wirkungen des Technikeinsatzes für den Menschen (in der Bundesrepublik) auf			
		+	-
A	Lebenserwartung	steigt	fällt
B	Gesundheit	verbessert	verschlechtert
C	Intimsphäre	geschätzt	weniger geschätzt
D	Individueller Freizeitzeitraum	vergrößert	verkleinert
E	Sicherheit am Arbeitsplatz	steigt	fällt
F	Verkehrssicherheit	steigt	fällt
G	Sicherheit vor Katastrophen	steigt	fällt
H	Beschäftigung und Arbeitsbedingungen	verbessert	verschlechtert
I	Wissen und Bildung	verbessert	verschlechtert
K	Soziales und ethisches Verhalten, gesellschaftlicher Konsens	gefestigt	gefährdet
L	Verfassung und Rechtssystem	gefestigt	gefährdet
M	Erhaltung der Flexibilität künftiger Generationen	gewährleistet	eingeschränkt

Abb. xx: Raster für mögliche Wirkungen des Technikeinsatzes auf den Menschen (Grupp 1994, S. 81)

Raster für mögliche Wirkungen des Technikeinsatzes für die Umwelt (in der Bundesrepublik) auf			
		+	-
A	Boden	geschützt	gefährdet
B	Land	geschützt	gefährdet
C	Tektonische und geomorphologische Aspekte der Erdoberfläche	geschützt	gefährdet
D	Ökosysteme einschließlich Pflanzen, Wälder, Tiere	geschützt	gefährdet
E	Bauten, Bau- und Naturdenkmäler	geschützt	gefährdet
F	Luft einschließlich Strahlen und Lärm	geschützt	gefährdet
G	Wasser (Regen-, Grund-, Fluss-, See-, Meer-, Trinkwasser)	geschützt	gefährdet

Abb. xx: Raster für mögliche Wirkungen des Technikeinsatzes auf die Umwelt (Grupp 1994, S. 81)

Die Anwendung von Checklisten setzt – soll unreflektierte Rezeption vermieden werden – Hintergrundwissen über die einzelnen Kategorien voraus. Für unterrichtliche Zwecke ist daher nicht nur die Anwendung vorhandener Checklisten interessant, sondern ggf. auch deren Erstellung durch die Schüler selbst. Dabei müssen Informationen erhoben, ausgewählt und kategorial geordnet werden. Bei der Erstellung von Checklisten zur ergonomischen Prüfung empfehlen Adler et al. (2010, S. 53) Feststellungen und Fragen immer positiv zu formulieren, um Fehlinterpretationen durch doppelte Verneinungen zu vermeiden. Zudem sollten Fragen immer eindeutig beantwortet werden können, d. h. unterschiedliche Sachverhalte sollten nicht in einer Frage zusammengefasst werden. Auch die Anordnung von Antwortkategorien sollte innerhalb der Checkliste konsistent sein (z.B. „ja“ immer links von „nein“), um Fehler bei der Eingabe und bei der Auswertung zu vermeiden.

Checklisten können im Unterricht auch für die Selbst- und Fremdevaluation verwendet werden, beispielsweise wenn am Anfang einer Fertigungsaufgabe Eigenschaften oder Merkmale technischer Artefakte oder Prozesse von den Schülern definiert werden, und diese später als Grundlage für die Bewertung herangezogen werden.

12.3.6 Wechselwirkungsanalyse

Charakteristik: Die Bewertung der Technik beziehungsweise einzelner Technologien setzt in der Regel eine systematische Erfassung, Beschreibung und Ordnung der Bedingungen, Gestaltungsfaktoren und Folgen ihrer Entstehung und Verwendung voraus. Wünschenswert ist dabei oftmals eine hierarchische Ordnung der betrachteten Faktoren, etwa um Abhängigkeiten ersichtlich zu machen. Genau hier setzt die Wechselwirkungsanalyse (auch Verflechtungsmatrix-Analyse oder Cross Impact Analyse) an. Sie ist eine quantitativ orientierte Methode zur Betrachtung von Wechselwirkungen bzw. Interaktionen zwischen verschiedenen Faktoren. Eine Rangfolge zwischen verschiedenen Systemvariablen zeichnet sich ja nicht immer eindeutig ab. Um trotzdem zu hierarchischen Abhängigkeiten zu gelangen, wird mittels der Methode versucht, die Wechselwirkungen heuristisch zu bestimmen. Dazu werden die Faktoren in Zeilen und Spalten angeordnet und ihr gegenseitiger Einfluss eingeschätzt. Die grundsätzliche Frage lautet dabei jeweils: Wenn ich Variable A verändere, wie stark verändert sich Variable B, C usw.

Durch die Anwendung der Matrix lassen sich die Abhängigkeiten von Faktoren eines Systems untereinander untersuchen, möglich ist aber auch die Einschätzung der Auswirkungen einer Gruppe von Systemfaktoren auf andere Systeme oder Faktoren. Abbildung xx zeigt eine Matrix aus dem Buch „Ausfahrt Zukunft. Strategien für den Verkehr von morgen“ von Frederic Vesters aus dem Jahr 1990. Hier wird die Wirkung eines Satzes von Variablen untereinander untersucht. Der jeweilige Einfluss wird mit Zahlen von 0 bis 3 quantifiziert. Die Zahlen werden in die Matrix eingetragen und zwar ungeachtet dessen, ob es sich dabei um eine positive oder negative Wirkung handelt (0 = kein Zusammenhang, 1 = schwacher Zusammenhang, 2 = mittlerer Zusammenhang, 3 = starker Zusammenhang). Die wechselseitige Analyse aller Faktoren führt am Schluss zur Ermittlung von Aktivsummen am Ende der Zeilen und Passivsummen am Ende der Spalten. Die Aktivsummen der Faktoren geben Aufschluss darüber, welcher Faktor die anderen am meisten beeinflusst, die Passivsummen, welcher Faktor von anderen am meisten beeinflusst wird.

Wirkung von | auf →

GESELLSCHAFT UND POLITIK		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1 Kritisches Verhalten der Bevölkerung	1	0	3	1	3	1		1	2		1	2	1	2
2 Umweltfreundliche Politik (Gesetze und Verordnungen)	2	2	0	2	2	1	2	2	3	2	1	1	2	2
3 Solider öffentlicher Haushalt	3	1	2	0		2		1		1		2	1	
4 Einfluß der Straßenverkehrslobby	4	2	3		0			1	2	2		3	1	
GESAMTWIRTSCHAFT		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5 Gesunde Wirtschaftslage (nicht BSP!)	5	1	1	3		0	2	2		2	1	1	2	1
6 Verhältnis von Dienstleistungen zu materieller Produktion	6				1	2	0	1		1		2	1	1
7 Allgemeine Sicherheit	7	2				1	1	0		1	1	1	3	2
8 Zukunftsorientierte Denkweise von AI und Zulieferern	8	1	2		2	1	2	1	0	2		1	1	
9 Verkehrsdienstleistungen (Qualität und Angebot)	9	1	1		1	1	1	1		0		1	1	
MENSCH		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
10 Bevölkerungsentwicklung	10	1		1		1	2			1	0		2	
11 Ausbildung und Information der Bevölkerung	11	3	2		2	1	2	1	2		2	0	1	1
12 Lebensqualität	12	2	1		1	1	1	1			2	1	0	3
13 Gesundheit	13	3	1	1	1	2	1	1			1		3	1

Neben der Ermittlung der Abhängigkeiten untereinander, können auch Auswirkungen einer Gruppe von Systemfaktoren auf andere Systeme oder Faktoren untersucht werden. Dazu werden in die Zeilen der Beurteilungsmatrix die betrachteten Ursachen, Entwicklungen etc. und in die Spalten die möglichen Auswirkungen, Strategien etc. eingetragen. Anschließend ist wiederum einzuschätzen, welchen Einfluss die Faktoren paarweise aufeinander ausüben. Das kann qualitativ (z. B. starker, kein, schwacher Einfluss) oder quantitativ, also wieder über Zahlen erfolgen. Alternativ können in die Matrixfelder auch Wahrscheinlichkeitswerte eingesetzt werden.

Das Einsatzspektrum der Wechselwirkungsanalyse ist relativ breit, sinnvoll ist sie beispielsweise auch als Bestandteil der Szenariomethode (VDI 2013). Im Rahmen technischer Bildungsprozesse kann die Methode die mehrperspektivische Auseinandersetzung mit technischen Problemen unterstützen. Sie eröffnet die Einsicht in kausale, funktionale und intentionale Abhängigkeiten und Wechselwirkungen und weitet den Blick auf die externen Beziehungen technischer Systeme. Eine empirisch abgesicherte Analyse der Abhängigkeit unterschiedlicher Faktoren wird sich aus verschiedenen Gründen im Unterricht verbieten, so dass die Methode dort eher von gemeinsam im Gespräch erarbeiteten Analysen lebt. Die Fixierung auf spezifische Faktoren oder Systemelemente setzt die Ordnung und Reduktion von Informationen über den zu untersuchenden Systemzusammenhang voraus.

Ablauf: Vorbedingung für die Durchführung einer Wechselwirkungsanalyse ist die Definition unterschiedlicher, ein technisch bedingtes Problem kennzeichnender Faktoren oder Aspekte. Die Findung und Klassifizierung dieser Faktoren kann durch die Bereitstellung geeigneter Informationen oder auch durch Verfahren wie Brainstorming unterstützt werden. Aus Gründen der Komplexitätsreduktion ist eine Beschränkung auf maximal 4-5 Faktoren sinnvoll. Diese werden dann in die Zeilen und Spalten der Matrix eingetragen. Die Wechselwirkungsanalyse der Faktoren kann in Gruppenarbeit oder auch im Unterrichtsgespräch erfolgen. Auch für quantitative Einschätzung der Wirkungen empfiehlt sich eine Beschränkung auf die bereits oben aufgezeigte Skalierung (0 = kein Zusammenhang, 1 = schwacher Zusammenhang, 2 = mittlerer Zusammenhang, 3 = starker Zusammenhang). Nach dem Zusammenzählen der Aktiv- und Passivsummen wird das Ergebnis interpretiert.

12.3.7 Nutzwert-Analyse

Charakteristik: Entscheidungen gehören zum Alltag. Sie erfolgen in vielen Fällen spontan, ohne größeren gedanklichen Vorlauf und oftmals auch ohne die Notwendigkeit anschließender Rechtfertigung. Mit Blick auf mögliche Konsequenzen erscheint es jedoch geboten, nicht alle Entscheidungen aus dem Bauch heraus zu fällen. Eine Methode, um Entscheidungen planmäßig vorzubereiten, stellt die Nutzwert-Analyse dar. Sie wird auch als Scoring-Modell oder Punktebewertungsverfahren bezeichnet (Wildner 2007, S. 35). Wie die Bezeichnung Punktebewertungsverfahren ausdrückt, geht es darum, Entscheidungskriterien zu suchen, zu gewichten und anschließend den verschiedenen Entscheidungsalternativen oder den Merkmalen der Alternativen mit dem Ziel zuzuordnen, die optimale Lösung zu finden.

Eingesetzt werden kann das Scoring-Modell überall dort, wo ein komplexer Entscheidungsraum zu bewältigen ist, der nicht einfach über quantitative Faktoren eingegrenzt werden kann, zum Beispiel beim Abgleich von Kundenanforderungen mit Produktmerkmalen, bei der Entscheidung für oder gegen einen Unternehmensstandort, bei der Personalauswahl oder bei Investitionsentscheidungen im Unternehmen oder Privathaushalt. Damit wird die Nutzwert-Analyse auch für die Technische Bildung interessant. So kann sie zum Beispiel im Rahmen der Planungsphase eines Projektes bei der Gewichtung einzelner Merkmale eines technischen Produktes gemäß der Anforderungen einer bestimmten Zielgruppe zum Einsatz kommen. Auch im Vorfeld einer Kaufentscheidung für technische Produkte oder als Methode für die Bewertung technischer Lösungen im Rahmen politischer Entscheidungsprozesse ist die Anwendung der Methode sinnvoll. Immer zielt sie auf die Ermittlung des nicht-monetären (relativen) Nutzwertes verschiedener Handlungsalternativen. Dies setzt die Suche und Gewichtung von Entscheidungs- oder Bewertungskriterien bzw. Anforderungen voraus, die für die Auswahl von Alternativen generell von Bedeutung sind. Anschließend wird analysiert, in welchem Umfang das Bewertungskriterium oder die Anforderung durch die unterschiedlichen Systeme, Produkte, Produktmerkmale oder auch Personen berücksichtigt wird. Am Schluss führen die verschiedenen, auf einzelne Bewertungskriterien bezogenen Teilnutzwerte zu einem Gesamtnutzwert, der einen Vergleich der Handlungsalternativen zulässt (Grupp 1994, S. 77).

Beachtet werden muss, dass die Entscheidungskriterien inhaltlich richtig und vollständig formuliert werden müssen, damit später eine Bewertung bei jeder Alternative möglich wird. Die Methode eignet sich daher beispielsweise nicht bei K.O.-Kriterien, also Eigenschaften, die eine Handlungsalternative gänzlich ausschließen. Zu beachten ist ferner, dass das Verfahren eine mathematische Logik nahe legt, die de facto gar nicht erreicht wird.

Wie bei anderen Verfahren auch, bei denen Merkmale, Kriterien oder Anforderungen gesucht und in Beziehung gesetzt werden, muss auch im Rahmen einer Nutzwertanalyse das Wissen um diese Aspekte erst aufgebaut werden. Dazu eignen sich etwa Dokumenten- oder Literaturanalysen sowie Befragungen. Eine spontane Sammlung von Kriterien ist mit anderen Kreativitätstechniken wie Brainstorming möglich. Während sich die Kriterien meist auf empirischem Weg finden lassen, bleiben die Einschätzungen zur Wertigkeit in der Regel subjektiv. Die Methode baut auf Mutmaßungen und Schlussfolgerungen und zeichnet sich damit durch einen heuristischen Charakter aus. Induktion, Deduktion, Analogieschlüsse und Generalisierungen spielen eine wichtige Rolle und bedürfen mitunter des Korrektivs durch den Lehrer.

Ablauf: Die übliche Vorgehensweise in sechs Schritten wird an einem Beispiel aufgezeigt (s. Abb. xx):

1. Zuerst wird das Ziel der Nutzwertanalyse definiert. Es kann sich beispielsweise um die Auswahl eines Produktes bei Kaufentscheidungen handeln oder um die Auswahl bestimmter Produktmerkmale im Rahmen der Produktentstehung. Im dargestellten Beispiel geht es um die Bewertung der Qualität eines Softwareproduktes im Vorfeld einer Investitionsentscheidung.
2. Nun müssen Bewertungskriterien des zu bewertenden Sachverhalts, bzw. die Anforderungen an das Produkt gefunden werden. Dabei kann die Auswertung von Verbrauchermagazinen, Internetforen oder auch Fachartikeln helfen. Kriterien können beispielsweise Preis, Qualität, Service, Sicherheit, Bedienbarkeit oder ökologische Eigenschaften sein. Die Kriterien werden in Zeilen untereinander angeordnet. Für die Bewertung der Software wurden folgende Kriterien ausgewählt: Aufgabenangemessenheit/Nützlichkeit der einzelnen Funktionen und Inhalte, Lernbarkeit, Rationalisierung/Zeitersparnis, Kooperationsmöglichkeit, Quantität der Informationen, Integrierbarkeit in Arbeitsabläufe und Gewohnheiten, Steuerbarkeit und Führung durch den Prozess, Qualitäts- und Effizienzsteigerung durch das Werkzeug.
3. In Phase drei erfolgt eine Gewichtung der einzelnen Bewertungskriterien mit Prozentwerten. Die Frage lautet generell, wie wichtig dieses Kriterium für das Ziel oder das Produkt ist, im vorliegenden Fall also beispielsweise: Wie bedeutsam ist die Lernbarkeit in Bezug auf die Qualität der Software bzw. welcher Anteil in Prozent der Gesamt-Qualität entfällt auf die Lernbarkeit? Die Prozentwerte werden neben die Kriterien oder Anforderungen in die Zeilen eingetragen. Bei diesem Schritt wird deutlich, dass die Gewichtung subjektiven Urteilen folgt.
4. In nächsten Schritt geht es darum, Lösungs- bzw. Handlungsalternativen zu finden, also in unserem Fall die Frage zu beantworten, welche Softwareprodukte es gibt. Wird die Methode in der Produktplanung eingesetzt, geht es nicht so sehr um Lösungsalternativen, sondern eher um die Frage mehr oder weniger geeigneter oder erforderlicher Produktmerkmale.
5. Jetzt werden die einzelnen Handlungsalternativen nach den zuvor aufgestellten Kriterien bewertet bzw. die Merkmale für ihren Beitrag zu Erfüllung der Anforderungen. In unserem Beispiel setzt dies eine eingehende Beschäftigung mit den Softwareprodukten auseinander. Das Maß der Kriterienerfüllung (z.B. 0 % = keine Erfüllung, 100 % = volle Erfüllung) wird in eine Wertspalte eingetragen. Neben der prozentualen Kriterienerfüllung gibt es auch die Kategorisierung mit ABC oder die Vergabe von Punkten. Wie dargestellt, erfüllt Software A das Kriterium Lernbarkeit zu 80 Prozent.
6. Die Gewichtungen für die Kriterien oder Anforderungen werden abschließend mit den Zielerreichungswerten multipliziert. Im Beispiel: Lernbarkeit Produkt A: $0,08 \times 80\% = 6,4\%$.
7. Die Addition der Spalten der Entscheidungsmatrix ergibt die Rangfolge. Für die Softwarealternativen ergibt sich, dass Produkt C vor A und B am besten abschneidet.

Claudia Wildner schlägt für die Anwendung der Methode in Schule und Unterricht eine leicht geänderte Schrittfolge vor: Nach der Bestimmung der Entscheidungskriterien sollte gleich die Bewertung der Lösungsalternativen innerhalb eines festgelegten Punkterahmens erfolgen. Erst danach würde dann die Gewichtung der Entscheidungskriterien kommen. Bei sonst gleichen Entscheidungskriterien und gleicher Punktezuordnung für die Lösungsalternativen würde den Schülern auf diese Weise bewusst, dass persönliche Präferenzen für ihre Entscheidungen eine bedeutende Rolle spielen. Dieses

Vorgehen trägt ihrer Meinung nach wesentlich zum Verständnis der Nutzwertanalyse bei (Wildner 2007, S. 39).

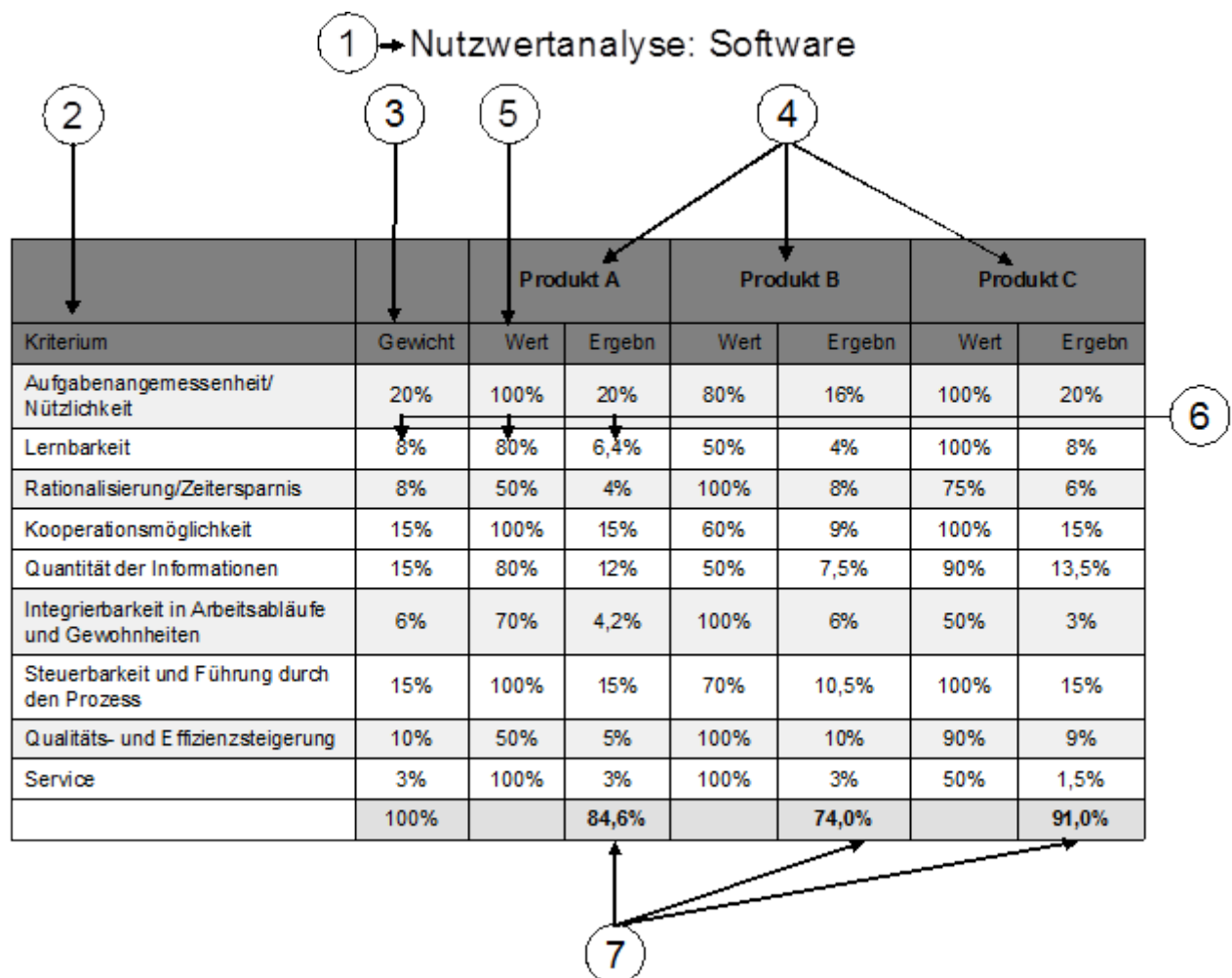


Abb. xx: Beispiel einer Nutzwertanalyse

12.3.8 Simulationen

Charakteristik: Technische oder soziotechnische Systeme sind oftmals sehr komplex und daher einer einfachen analytischen Betrachtung nicht zugänglich. Geeignete Modelle können jedoch helfen, das Systemverhalten zu verstehen. Eine Simulation lässt sich als Nachahmung des Verhaltens eines realen Systems auf der Grundlage eines dynamischen Modells verstehen. In der VDI-Richtlinie 3633 (Blatt 1, S. 3) wird Simulation definiert als „das Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind. Insbesondere werden die Prozesse über die Zeit entwickelt. [...] Im weiteren Sinne wird unter Simulation das Vorbereiten, Durchführen und Auswerten gezielter Experimente mit einem Simulationsmodell verstanden“. Die für die Simulation erforderlichen Modelle der Wirklichkeit lassen sich folgendermaßen unterscheiden: In Formmodelle (z.B. Spielzeugautos, Funktionsmodelle, die genau so funktionieren wie das Original, aber evtl. eine andere Form besitzen) und Verhaltensmodelle. Dabei handelt es sich zumeist um Simulationsmodelle, „also mathematische Beschreibungen“.

gen, deren Lösungsmannigfaltigkeiten den Verhaltensverlauf des Originals mehr oder weniger gut wiedergeben können (Kornwachs 2015, S. 92). Besonders Computersimulationen sind heute in allen technischen Bereichen auf dem Vormarsch.

In der technikwissenschaftlichen Forschung dienen Simulationen dazu, Sachverhalte kausal oder funktional zu erschließen. Mit ihnen lassen sich Experimente und Vorgänge studieren, die eine tatsächliche Realisierung nicht zulassen, weil die Durchführung entweder risikobehaftet ist und organisatorisch wie finanziell einen zu hohen Aufwand bedeuten würde, beziehungsweise weil die wirklichen Vorgänge zeitlich zu schnell oder zu langsam ablaufen und sich so einer genaueren Analyse entziehen würden. Die Simulationen ermöglichen es Daten und Informationen zur Steuerung von Prozessen zu finden und Prozesse zu rekonstruieren. Auch in der Produktentwicklung, in Produktion und Arbeitsvorbereitung zeigen sich Simulationen als mächtige Werkzeuge. Unter dem Stichwort „Digitale Fabrik“ spielen Simulationen bei allen Planungs-, Entwicklungs-, Herstellungs- und Distributionsprozessen eine große Rolle. Lange bevor beispielsweise der erste Prototyp einer Maschine, eines Flugzeuges oder eines Fahrzeugs gebaut ist, können am Modell Untersuchungen vorgenommen und Vorgänge experimentell geplant, gesteuert oder evaluiert werden. Außerdem sind Verknüpfungen zum Originalsystem möglich, mit denen entweder während des Durchlaufs des Originalsystems das Verhalten eines simulierten Systemteils abgebildet oder aber die während der Simulation optimierten Daten anschließend für Steuerungs- und Regelungsaufgaben eingesetzt werden können (vgl. Brychta/ Müller 2004, S. 9f.).

Der didaktische Nutzen von Modellen und Simulationen für technische Bildungsprozesse liegt ebenfalls auf der Hand: Bereits durch die Nutzung von technischen Baukästen oder didaktischen Lernsystemen mit umfangreichen Geräte-Elementen lässt sich das statische, dynamische oder regelungstechnische Verhalten technischer Systeme am überschaubaren Modell erfahren. Diese Verknüpfung von Theorie und Praxis entspricht der Vorstellung von Aufbau und Struktur technischer Kompetenzen. Rechnergestützte Simulationen erweitern das Feld didaktisch-methodischer Möglichkeiten noch einmal. Während anfänglich die Simulationsmodelle aufwändig programmiert werden mussten, haben Simulationswerkzeuge mit grafischen Editoren zu einer wesentlichen Vereinfachung der Modellbildung geführt.

Mit der rechnergestützten Simulation kann die Anschaulichkeit komplexer Technik erhöht werden. Dies ist besonders dort von Bedeutung, wo konkrete Erfahrungen am System aus Gründen wie Sicherheit oder Größe ausgeschlossen werden müssen. Ferner können Kostengründe eine Rolle spielen, beispielsweise wenn vor dem eigentlichen Zerspanungsprozess mit einem CNC-Automaten der Prozess simuliert wird, um Maschine und Material zu schonen. Durch Interaktionsmöglichkeiten und sofortige Rückmeldungen, wie sie computersimulierte elektrische Schaltkreise und pneumatische Anlagen oder Simulationsumgebungen in CAD-Systemen bieten, wird forschendes und experimentelles Lernen unterstützt.

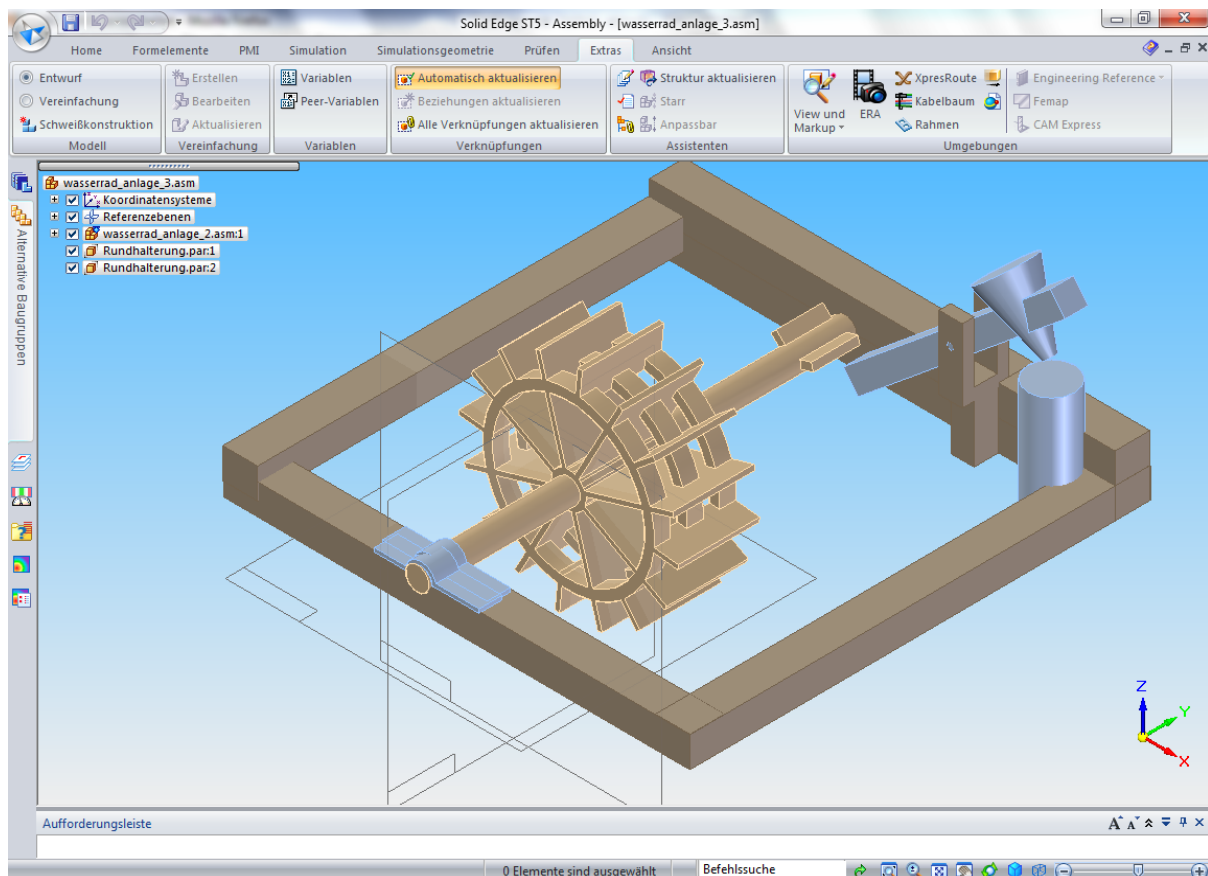


Abb. Xx: Wasserrad zum Antrieb eines Hammers – Bewegungsanalyse mittels CAD

Gerade der Nutzen rechnergestützter Modellierung und Simulation mittels CAD ist für technische Bildungsprozesse ein mehrfacher: Handelt es sich bei der Simulation um das Endergebnis eines Konstruktionsvorganges, kann am fertigen Modell eine Art Qualitätskontrolle durchgeführt werden, beispielsweise inwiefern Morphologie oder Funktionalität der Bauteile stimmig gewählt wurden. Außerdem beinhaltet die Dynamisierung des Systems ein motivierendes Potenzial. Ein weiterer Nutzen liegt in den Möglichkeiten, das System im Hinblick auf die Änderung einzelner Parameter zu untersuchen. Simulationen erlauben somit eine Vorhersage des Systemverhaltens in verschiedenen Situationen und können zum Aufbau eines Systemverständnisses beitragen. Die Reproduzierbarkeit, also die Option, rechnergestützte Simulationen immer wieder ablaufen zu lassen, stellt einen weiteren gewichtigen Vorteil dar. Als „didaktische Werkzeuge“ tragen Simulationen damit zum Aufbau naturwissenschaftlich-technischer Kompetenzen bei, ihre Verbreitung in gewerblich-technischen Domänen macht sie aber auch zum lohnenden Lerninhalt für die Berufs- und Studienorientierung.

Nicht jede Simulation muss jedoch am Computer ablaufen, beziehungsweise allein auf technisch-funktionale Parameter abheben. Methoden wie das Rollenspiel, das Planspiel oder auch die Fallstudie zählen zu den simulativen Methoden. Durch bestimmte Aufgabenstellungen und die entsprechende Ausgestaltung der Lernumgebung können auch ohne Computer komplexe Handlungsprozesse für Schule und Ausbildung nachgestellt werden. Ein deutscher Automobilbauer etwa schult seine Mitarbeiter im Vorfeld ihres Einsatzes in der Montagelinie dadurch, dass sie Legoautos in Fließfertigung zusammenbauen müssen. Dadurch sollen sie Abläufe und Arbeitsprozesse einstudieren, um später die Fehlerquote bei der realen Montage zu reduzieren. Der Einsatz einer solchen „Montageli-

nie“ verspricht auch Effekte für schulische Bildungsanliegen. Die Planung und Gestaltung einer solchen Linie kann beispielsweise der Aneignung von Kenntnissen in der industriellen Fertigungstechnik dienen, die Simulation der Arbeitsprozesse wiederum erscheint im Rahmen der Berufsorientierung sinnvoll.

Trotz der besonders bei didaktischen Lernsystemen bereits berücksichtigten Komplexitätsreduzierung muss der Nutzer Bedeutung und Eigenschaften der einzelnen Elemente und Teilsysteme zunächst kennenlernen. Sollen beispielsweise Änderungen eines Schaltkreises innerhalb einer virtuellen Lernumgebung simuliert werden, müssen die Funktionen der einzelnen Elemente bekannt sein. Zudem muss sich der Lerner der didaktischen Reduktion des Systems bewusst sein, damit eine unangemessene Hypothesenbildung verhindert wird. Simulationen sind daher, ähnlich wie bei anderen Medien, in eine Lernumgebung bzw. einen Lernkontext zu integrieren, der einerseits den fachlichen Grundlagen des simulierten Prozesses und andererseits der Handhabung der Simulationsumgebung gerecht wird.

Ablauf: Die Verschiedenartigkeit der Simulationen lässt ein einheitliches Ablaufschema kaum zu, zumal ein erheblicher Unterschied darin besteht, ob die Simulation selbst erstellt, also entweder grafisch, algorithmisch oder stochastisch konzeptioniert werden soll, oder ob eine bereits vorhandene Simulation zum Einsatz kommt. Da bei der Simulation rein technischer Systeme eine Konstruktions- oder Fertigungsphase vorausgehen muss, soll an dieser Stelle auf die entsprechenden Verfahren verwiesen werden. Ähnliches gilt für die Simulation von Handlungsprozessen, die im Grunde auf der Projektarbeit, auf Rollen- oder Planspielen aufbauen können.

Der Ablauf bei der Erstellung rechnergestützter Simulationen unterliegt ferner den Arbeitstechniken des jeweiligen Programms. So setzt die Erstellung einer Bewegungssimulation mittels CAD-Programm zuerst die Planung und Konstruktion der Einzelteile voraus. Anschließend müssen die Teile angeordnet und kombiniert werden, sowie die Art der Verbindung (starr, oder beweglich) festgelegt werden. Bewegung wird durch die Zuordnung von Motoren (radial oder linear) zu einzelnen Bauteilen erzeugt. Über Kollisionsanalysen können Anordnungsfehler korrigiert werden. Die Definition von Material- und Oberflächeneigenschaften kann die Simulationen realistischer gestalten.