EUROPA-FACHBUCHREIHE

Perspektiven Technik

Große-Beck Lehmke Nix Nowak Szmala Szünstein

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL
Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsselberger Straße 23
42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 14375

Autoren:
Andrej Große-Beck, Studienrat — Techniklehrer SI/II, Essen
Johannes Lehmke, Studiendirektor a. D. — Fachleiter Technik SII a. D., Recklinghausen
Frank Nix, Gesamtschuldirektor — Didaktischer Leiter, Dinslaken
W. Nowak, Assessor des Lehramts a. D. — Techniklehrer SII a. D., Mülheim an der Ruhr
Frank Szmala, Gesamtschuldirektor — stellv. Schulleiter, Bonn
Marcel Szünstein, Studiendirektor — Fachleiter Technik GyGe, Essen

Arbeitskreisleitung:
Marcel Szünstein

Gesamtdurchsicht:
Frank Nix

Bildbearbeitung:
Zeichenbüro des Verlages Europa-Lehrmittel, Ostfildern

1. Auflage 2019, korrigierter Nachdruck 2020
Druck 5 4 3 2

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Behebung von Druckfehlern untereinander unverändert sind.

ISBN 978-3-8085-1437-5

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fülle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2019 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
http://www.europa-lehrmittel.de

Umschlaggestaltung: braunwerbeagentur, Radevormwald unter Einsatz der Bilder von
© Raimundas – stock.adobe.com, © Valentina R. – stock.adobe.com,
© yelantsevv – stock.adobe.com
Satz: Typework Layoutsatz & Grafik GmbH, 86167 Augsburg
Druck: RCOM Print GmbH, 97222 Würzburg-Rimpar

Vorwort

Mitte der Siebzigerjahre wurde das Schulfach Technik im Rahmen eines vom Land NRW initiierten Pilotprojektes am Helmholtz-Gymnasium in Essen landesweit eingeführt. Seit dieser Zeit haben zahlreiche Schulen im Land den Lehrbetrieb in diesem Fach aufgenommen, Technik mit großem Engagement unterrichtet und weitergestaltet und haben damit ihren naturwissenschaftlichen Fächerkanon zum naturwissenschaftlich-technischen Fächerkanon erweitert. Bisher war es allerdings nie gelungen, ein Lehrwerk für das Schulfach zu etablieren. Zu groß war die Bandbreite der unterrichteten Inhalte, als dass diese nur ansatzweise in einem kompakten Schulbuch Platz gefunden hätten. Durch die Einführung des Zentralabiturs und der Kernlehrpläne wurden die landesweit zu unterrichtenden Themen festgelegt, sodass nun die Chance bestand, ein Lehrwerk zu erschaffen, welches die wesentlichen Inhalte des Faches abdeckt und hoffentlich ein treuer Begleiter nicht nur für Schülerinnen und Schüler, sondern auch für Fachkolleginnen und -kollegen, Referendare und Referendarinnen und Studierende wird.

Inhalte

Das vorliegende Werk legt Wert auf eine kompakte Darstellung der durch die Lehrpläne vorgegeben Inhalte des Schulfaches Technik. In besonderer Weise wurden auch neben den obligatorischen Inhalten der Leistungskurse (Wechselstrom, Drehstrom, Übertragung elektrischer Energie) die Themenfelder aufgegriffen, die durch die Kernlehrpläne neu hinzugekommen sind (Bionik, Elektromobilität, Statik).

Konzept

Dieses Buch hilft dabei, sich mit technischen Inhalten zu befassen, die zugrunde liegenden Kompetenzen zu erwerben und zu trainieren. Dabei stehen die zu erwerbenden Sachkompetenzen eindeutig im Vordergrund. Es ist orientiert am Kernlehrplan des Landes NRW für das gymnasiale Oberstufenfach Technik.

Alle Kapitel enthalten daher zusammenfassende und umfassende Sachinformationen über die jeweiligen Teildisziplinen. Diese Informationen eignen sich zur Vorbereitung auf Klausuren genauso wie zum direkten Einsatz im Unterricht oder zum Selbststudium für Technikinteressierte.

Neben diesen sachbezogenen Inhalten und Erläuterungen enthalten die meisten Kapitel Beispielexperimente, Beispielaufgaben und Übungsaufgaben. Diese sind allerdings nicht als abgeschlossene Sammlung zu verstehen: Technik lebt von der Vielfalt, deren komplette Abhandlung den Rahmen eines Lehrwerks bei Weitem gesprengt hätte. Vielmehr besitzen diese Elemente häufig exemplarischen Charakter, indem sie eine mögliche Art einer Problemlösung darstellen. Sie dienen als Anreiz zu ergänzenden oder alternativen eigenen Experimenten und Aufgaben.

Wir wünschen Ihnen viel Freude bei der Arbeit mit diesem ersten Technikbuch. Zögern Sie nicht, uns über den Verlag Ihre Rückmeldung in Form von Anmerkungen, Lob oder Kritik zukommen zu lassen.

Essen, im Sommer 2019

M. Szünstein, StD
für das Autorenteam

Inhaltsverzeichnis

Allgemeine Technologie

1 Allgemeine Technologie . . . 7
2 Produktionstechnik . . . 29
3 Statik . . . 54

Informationstechnische Systeme

4 Schaltungsentwicklung . . . 67
5 Programmentwicklung . . . 91
6 Regelungstechnik . . . 107
7 Automatisierung und Robotik . . . 122

Energieversorgung und Energieverteilung

8 Energiewirtschaft . . . 162
9 Versorgung mit elektrischer Energie durch thermische Kraftwerke . . . 169
10 Solarenergie . . . 180
11 Wasserkraft . . . 192
12 Windenergie . . . 197
13 Nutzung von Biomasse . . . 203
14 Wechselstrom . . . 205
15 Drehstrom . . . 233
16 Übertragung elektrischer Energie . . . 239

Technologie der Zukunft

17 Bionik . . . 253
18 Wasserstofftechnologie . . . 271
19 Elektromobilität . . . 297

Themenbereich 1

Allgemeine Technologie

1 Allgemeine Technologie . . . 7
1.1 Was ist Technik? . . . 7
1.2 Entwicklungsstufen der Technik . . . 8
1.3 Systematik der Technik . . . 10
1.3.1 Technische Systeme . . . 11
1.3.2 Geräte und Maschinen . . . 12
1.3.3 Weitere Perspektiven der Technik . . . 13
1.4 Technik und Umwelt . . . 14
1.4.1 Umwelt – was ist das eigentlich? . . . 14
1.4.2 Landschaft und Klima . . . 14
1.4.3 Flora und Fauna . . . 15
1.4.4 Biologische und ökologische Systeme . . . 15
1.4.5 Die Umweltfaktoren Boden, Wasser und Luft . . . 15
1.5 Umweltschutz und Umwelttechnik . . . 16
1.5.1 Vermeidungsstrategien . . . 16
1.5.2 Reduktion . . . 16
1.5.3 Wiederverwendung . . . 17
1.5.4 Substitution . . . 17
1.5.5 Rehabilitation . . . 17
1.5.6 Ökobilanz technischer Produkte . . . 18
1.5.7 Umwelttechnische Systeme . . . 18
1.6 Technische Innovation: Beispiel Energiesparleuchte . . . 19
1.6.1 Vor- und Nachteile . . . 19
1.6.2 Entstehungsphase . . . 19
1.6.3 Nutzungsphase . . . 20
1.6.4 Entsorgungsphase . . . 22
1.6.5 Gesamtbilanz . . . 22
1.7 Soziotechnik – Beispiel geplante Obsoleszenz . . . 22
1.7.1 Was ist geplante Obsoleszenz? . . . 22
1.7.2 Geplante Obsoleszenz – nur eine Fiktion? . . . 23
1.7.3 Zuverlässigkeit technischer Produkte . . . 24
1.7.4 Ausfallraten . . . 26
2 Produktionstechnik . . . 29
2.1 Phasen der Produktentstehung . . . 29
2.1.1 Produktidee . . . 29
2.1.2 Anforderungsliste . . . 29
2.1.3 Teilfunktionen . . . 29
2.1.4 Lösungselemente . . . 29
2.1.5 Lösungskonzept . . . 30
2.1.6 Konstruktionen . . . 30
2.1.7 Baugruppen . . . 30
2.1.8 Gesamtprodukt . . . 30
2.1.9 Produktbewertung . . . 31
2.2 Planung eines technischen Produktes . . . 31
2.2.1 Der Erfindungspozess . . . 31
2.2.2 Technische Kommunikation . . . 32
2.3 Fertigungsorganisation . . . 33
2.3.1 Werkstattfertigung . . . 33
2.3.2 Verrichtungsprinzip . . . 34
2.3.3 Fluss- bzw. Fließprinzip . . . 34
2.3.4 Just in time / Just in sequence . . . 34
2.4 Fertigungsverfahren . . . 35
2.4.1 Urformen . . . 35
2.4.2 Umformen . . . 35
2.4.3 Trennen . . . 36
2.4.4 Fügen . . . 37
2.4.5 Beschichten . . . 37
2.4.6 Stoffeigenschaft ändern . . . 38
2.5 Betriebsgrenzen technischer Produkte . . . 38
2.5.1 Begrenzung des Betriebsumfangs . . . 38
2.5.2 Begrenzung der Betriebsdauer . . . 39
2.5.3 Betriebsberechtigte . . . 39
2.6 Nutzung technischer Systeme . . . 40
2.6.1 Kennzeichnung . . . 40
2.6.2 Sicherheit und Arbeitsschutz . . . 40
2.6.3 Nutzungsdauer technischer Produkte . . . 41
2.7 Entsorgung technischer Produkte . . . 42
2.7.1 Stoffliche Wiederverwendung und Rezyklierung . . . 42
2.7.2 Energetische Verwertung . . . 42
2.7.3 Beseitigung . . . 42
2.7.4 Wertstofftrennung . . . 42
2.8 Technische Verfahren – Beispiel Lebensmitteltrocknung . . . 43
2.8.1 Warum Trocknen die Haltbarkeit verlängert . . . 43
2.8.2 Dehydrierung aus physikalischer Sicht . . . 43
2.8.3 Trocknungsverfahren . . . 44
2.8.4 Aufbau und Funktion einer Gefriertrocknungsanlage . . . 46
2.8.5 Der Prozess der Gefriertrocknung . . . 46
2.9 Produktionstechnik – Beispiel Flachglas . . . 47
2.9.1 Der Werkstoff Glas . . . 47
2.9.2 Glasherstellung . . . 48
2.9.3 Herstellung von Flachglas . . . 49
2.9.4 Floatglasproduktion . . . 50
3 Statik . . . 54
3.1 Die Geschichte des Brückenbaus . . . 54
3.1.1 Die Tacoma-Narrows-Brücke . . . 54
3.1.2 Von der Balkenbrücke zur Hängebrücke . . . 55
3.2 Statik – ebenes Fachwerk . . . 57
3.2.1 Begriffe der Statik . . . 57
3.2.2 Statische Bestimmtheit . . . 58
3.2.3 Kräfte- und Momentengleichgewicht . . . 58
3.2.4 Ermittlung von Stabkräften . . . 60

1 Allgemeine Technologie

1.1 Was ist Technik?

Im umgangssprachlichen Gebrauch gibt es verschiedene Bedeutungsebenen für den Begriff „Technik“. Er kann beispielsweise eine bestimmte Technik beim Sport bezeichnen: „Meine Technik beim Volleyballaufschlag ist sehr erfolgreich!“ Er kann aber auch die einem Produkt innewohnende Technik meinen: „Dieses Gerät ist mit der neuesten Technik ausgestattet.“

Die Frage, was unter „Technik“ zu verstehen ist, hängt von der Perspektive ab, aus der man sie betrachtet. Zudem wird der Technikbegriff vom jeweiligen Zeitgeist geprägt. Die folgenden Zitate sollen dies verdeutlichen:

„Denn es ist zuletzt doch nur der Geist, der jede Technik lebendig macht.“ (Johann Wolfgang von Goethe)

„Technik ist Mittel zu Zwecken, nicht Selbstzweck.“ (Carl Friedrich von Weizsäcker)

„Die Technik von heute ist das Brot von morgen – Die Wissenschaft von heute ist die Technik von morgen.“ (Richard von Weizsäcker)

„Die technische Entwicklung wird nur ein Problem übrig lassen: die Hinfälligkeit der Menschennatur.“ (Karl Kraus)

„Durch die Kunst stellt sich der Mensch außerhalb der Natur, in der Technik setzt er sie fort.“ (Hans Poelzig)

„Technik ist die Anstrengung, Anstrengungen zu ersparen.“ (José Ortega y Gasset)

Der Technikphilosoph Günter Ropohl unterscheidet drei **Perspektiven der Technik:**

Technik als Fertigkeit oder Geschick: Technik bezeichnet alle Handlungen, bei denen Menschen zweckbestimmte Artefakte verwenden. Diese Perspektive ist **anwendungsbezogen,** sie umfasst z. B. die Programmierung und Bedienung eines 3-D-Druckers (Bild 1).

Technik als Mittel oder Verfahren: Technik bezeichnet alle menschlichen Handlungen und Einrichtungen, in denen zweckbestimmte Artefakte entstehen. Im Fokus dieser Sichtweise steht der Produktionsprozess, also z. B. der 3-D-Druck (Bild 2).

Technik als „Ding“: Technik ist die Menge aller künstlich hergestellten Gegenstände (Artefakte), die einem bestimmten „nützlichen“ Zweck dienen. Diese Perspektive betrachtet den **„Output“** von Produktionsprozessen, also z. B. das von einem 3-D-Drucker hergestellte Produkt (Bild 3).

Bild 1: Technik als Fertigkeit oder Geschick

Bild 2: Technik als Mittel oder Verfahren

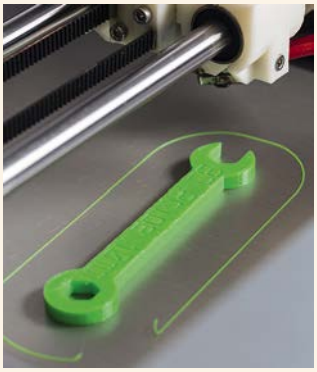

Bild 3: Technik als „Ding“

Der **VDI** (Verein Deutscher Ingenieure) ist die größte deutsche Vereinigung von Ingenieuren und Naturwissenschaftlern. Ein Teil der Arbeit des VDI besteht in der Erstellung und Pflege eines umfangreichen technischen Regelwerks, den **VDI-Richtlinien.**

In der VDI-Richtlinie 3780 wird der Technikbegriff ebenfalls durch Ropohls drei Perspektiven definiert:

„Technik im Sinne dieser Richtlinie umfasst:

- die Menge der nutzenorientierten, künstlichen, gegenständlichen Gebilde (Artefakte oder Sachsysteme),
- die Menge menschlicher Handlungen und Einrichtungen, in denen Sachsysteme entstehen,
- und die Menge menschlicher Handlungen, in denen Sachsysteme verwendet werden."

1.2 Entwicklungsstufen der Technik

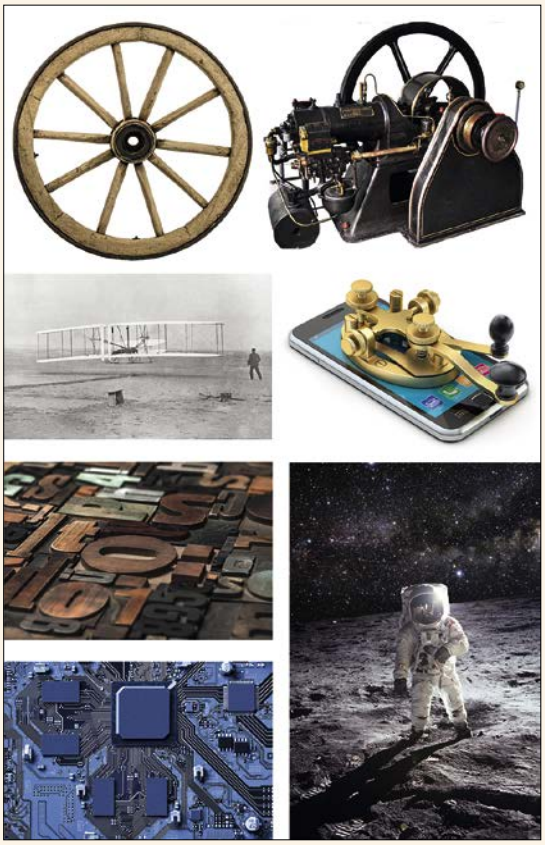

Bild 1: Meilensteine der Technik – Rad, Dampfmaschine, Motorflug, Telekommunikation, Buchdruck, Mikroprozessor, Raumfahrt.

Technik folgt einerseits gewandelten Anforderungen ndererseits prägen technische Meilensteine (Bild 1) chaft, die sie hervorbringt.

zeit spielte Technik eine wichtige Rolle im Leben **werke** boten Schutz und schufen die Möglichkeit rblicher Güter, Verbesserungen in der **Jagd- und** chterten die Nahrungsbeschaffung und mithilfe von **men** erschloss man sich neue Ackerflächen.

nden **Verkehrswege** und **Verkehrsmittel,** die einen schen weit voneinander entfernten Orten ermöglichden zu Städten. Durch technische Innovation wurden **Ver- und Entsorgungsprobleme** gelöst.

nte imposante Bauwerke wie z. B. **Kathedralen** hereröffnete eine völlig neue Dimension der **Informakation.** Technische Innovationen ermöglichten eine rschung und **Entdeckung der Welt,** führten aber **g** ihrer natürlichen **Ressourcen.**

ierung (Bild 1, nachfolgende Seite) wurden die Inner kurzlebiger. **Dampfmaschine, Elektrizität** und veränderten die Lebens- und Arbeitswelt und er- en Handlungs- und Bewegungsraum der Menschen. auch eine zunehmende Entfremdung von der Natur altigkeit angelegten Prinzipien.

Das digitale Zeitalter brachte immer schnellere und besser miteinander vernetzte **Kommunikations- und Informationssysteme** hervor, die unser Leben heute in nahezu jedem Teilbereich prägen und von denen unsere Gesellschaft zunehmend abhängig wird.

Viele technische Innovationen wurden zu allen Zeiten im Zuge der Entwicklung neuer **Waffen** und entsprechender **Verteidigungssysteme** hervorgebracht. Dies zeigt, dass nicht die Technik an sich, sondern die Art ihres Gebrauchs negative oder positive Auswirkungen haben kann.

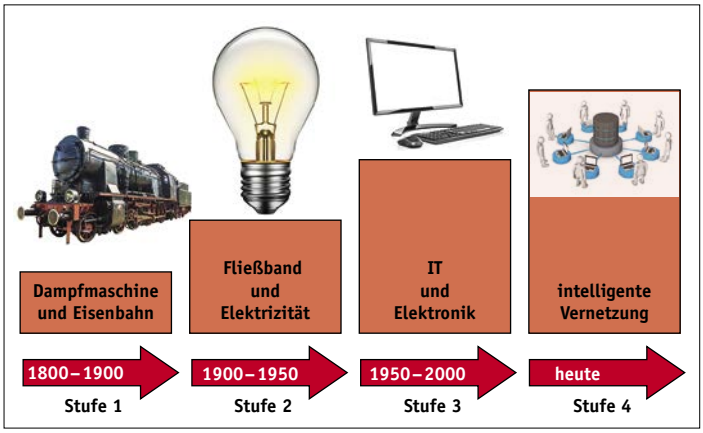

Bild 1: Entwicklungsstufen der Technik: Industrialisierung

Beispiel: Die Geschichte der Zeit

Das Leben der Menschen wurde über die **Antike** bis weit ins Mittelalter hinein fast ausschließlich von den natürlichen Tages- und Jahreszeiten bestimmt. Die Jahreszeiten diktierten die jeweiligen Tätigkeiten von der Bestellung der Felder bis zur Ernte. Die Tageslänge von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang gab die Dauer der Arbeitszeit vor.

Die **mittelalterliche** Zeit war eine lokale Zeit: Beim höchsten Sonnenstand war an einem Ort die Mittagsstunde erreicht, einzelne Minuten oder gar Sekunden spielten für das Leben keine Rolle. Die mechanischen Räderuhren dienten vornehmlich der Strukturierung des weltlichen und geistlichen Lebens.

Neben den meist an Kirchen oder Rathäusern angebrachten Großuhren kamen in der **Renaissance** kleinere Tisch- oder Wanduhren in Mode (Bild 2). Die Miniaturisierung wurde zu Beginn des 15. Jahrhunderts durch die Verwendung einer Feder als Energiespeicher weiter fortgesetzt. Die Uhr wurde zu einem tragbaren, ortsunabhängigen Instrument, das zunehmend auch als Kunstwerk eine Rolle zu spielen begann (Bild 3).

Im **17. Jahrhundert** setzte sich mit dem Pendeluhrwerk eine technische Innovation durch, die die Ganggenauigkeit mechanischer Uhrwerke noch einmal bedeutend verbesserte.

Bild 2: Pendeluhr mit Stundenanzeige

Bild 3: Uhr als Kunstwerk

Bild 4: Moderne multifunktionale Armbanduhr

Bild 1: Schiffschronometer

Eisenbahnzeit
Die Idee einer „Eisenbahnzeit" geht auf den kanadischen Eisenbahningenieur Sir Sandford Fleming (1827 – 1915) zurück. Auf der Internationalen Meridiankonferenz im Jahr 1884 in Washington, D.C. wurde die Erde in 24 Stundenzonen von je 15 Längengraden aufgeteilt.

Bild 2: Stoff-, Energie- und Informationsumsatz

Die Zeit konnte präziser gemessen werden, sodass zusätzlich zur Stundenanzeige Minuten- und auch Sekundenanzeigen möglich wurden.

Mit zunehmender Technisierung im Zuge der **Industrialisierung** wurde das Leben mehr und mehr in einen technisch bestimmten Zeittakt gebracht. Drei Entwicklungen spielten dabei eine zentrale Rolle:

- Die Entdeckung und Vermessung der Welt durch die **Seefahrt** im beginnenden **18. Jahrhundert** erforderten sehr präzise Zeitmesser (Chronometer) zur Bestimmung des Längengrads des Ortes, an dem man sich befand (Bild 1).
- Mithilfe künstlicher Gas- und später auch **elektrischer Beleuchtung** wurde die Nacht zum Tag gemacht, Arbeitszeiten waren nicht mehr an die natürliche Tageslänge gebunden.
- Im beginnenden **19. Jahrhundert** kam es durch die **Eisenbahn** zur Verbindung weit voneinander entfernter Orte. Die großflächige Koordination der Fahrpläne erforderte eine minutengenaue Zeitmessung und vor allem eine überregionale Anpassung der Zeit.

Im **20. Jahrhundert** ersetzten ganggenaue elektrische Quartzuhrwerke die mechanischen Uhrwerke. Armbanduhren wurden zum unverzichtbaren Alltagsgegenstand (Bild 4, vorhergehende Seite). Die Zeit wurde ein so bedeutender Faktor, dass mittlerweise auch Bruchteile einer Sekunde bedeutsam sind: An der Börse werden An- und Verkäufe getätigt, bei denen es auf den Wert einer Aktie zu einem genauen Zeitpunkt ankommt. Die Ortsbestimmung mithilfe der Satellitennavigation erfordert eine hochgradig präzise Zeitbestimmung mittels Atomuhren mit einer Abweichung von einer Sekunde in 20 Milliarden Jahren.

1.3 Systematik der Technik

Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Systematiken für technische Artefakte und verschiedene Bezeichnungen für „sichtbare" Technik: Es ist die Rede von **Maschinen, Werkzeugen, Geräten** und **Apparaten.** Diese bestehen aus Bauteilen und Baugruppen, sie besitzen Motoren, Platinen, Getriebe sowie Schalter oder Displays.

Zweckbestimmung stellt ein wesentliches Merkmal technischer Artefakte dar. Eine systematische Unterscheidung aller dieser technischen Artefakte kann man dadurch vornehmen, dass man sie nach ihrem **Hauptzweck** einteilt. Es ist üblich, die Zweckbestimmung in drei Hauptkategorien vorzunehmen (Bild 2):

- **Stoffumsatz** (z. B. Mixer)
- **Energieumsatz** (z. B. Heizlampe)
- **Informationsumsatz** (z. B. Multimeter)

Stoffe, Energie und Informationen können dabei **weitergeleitet, umgewandelt** oder **gespeichert** werden.

1.3.1 Technische Systeme

Ein **technisches System** ist ein Artefakt, das die folgenden Merkmale aufweist (Bild 1):

- Es ist nach außen hin **abgegrenzt,** d. h., es gibt Eingangs- und Ausgangsgrößen (Input und Output).
- Es erfüllt eine bestimmte Funktion (**Hauptzweck**) im Bereich Stoff-, Energie- oder Informationsumsatz.
- Es hat eine **Struktur,** d. h., es ist in Funktionseinheiten (Subsysteme) mit unterschiedlichen Teilfunktionen und Funktionselementen aufgeteilt.

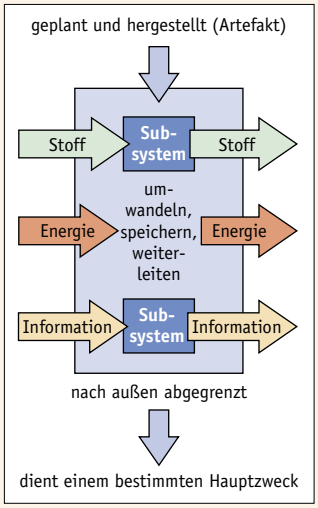

Bild 1: Technisches System

Beispiel

Ein Kühlschrank ist ein technisches System.

- Er ist ein Artefakt, weil er geplant und hergestellt wurde.
- Er ist durch sein Gehäuse nach außen abgrenzt.
- Er hat Eingangs- und Ausgangsgrößen (Bild 2).
- Er erfüllt den Hauptzweck, Lebensmittel zu kühlen und zu lagern und damit ihre Haltbarkeit zu verlängern.
- Er besteht aus verschiedenen Funktionseinheiten, die ihrerseits als technische Subsysteme verstanden werden können (z. B. Display, Kompressor; Bild 3 und 4).

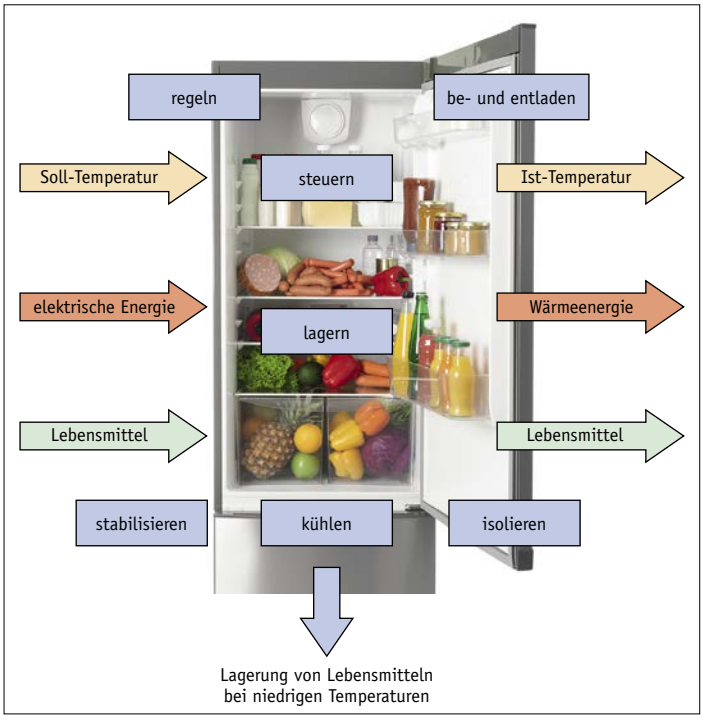

Bild 2: Kühlschrank als technisches System

Bild 3: Digitales Display als Subsystem des Kühlschranks

Bild 4: Kompressor als Subsystem des Kühlschranks

Viele technische Systeme lassen sich in verschiedene **Subsysteme** mit **Teilfunktionen** zerlegen. Diese bestehen jeweils aus **Funktionselementen** wie z. B. Schrauben, Lager, Zahnräder, elektronische Bauteile, Gehäuseteile usw.

Staubsauger
Im Jahr 1908 wurde der erste elektrische Staubsauger auf den Markt gebracht. Erst in den 1950er Jahren entwickelte er sich zu einem erschwinglichen Massenprodukt.

Bild 1: Historischer Staubsauger

Bild 2: Staubsaugroboter

Beispiel

Ein Staubsauger dient als technisches System dem Hauptzweck „Stoffumsatz". Um diesen Hauptzweck erfüllen zu können, gibt es verschiedene Teilfunktionen, die mithilfe unterschiedlicher Funktionseinheiten realisiert werden:

Teilfunktionen	Subsysteme (Funktionseinheiten)
Antreiben	Elektromotor
Arbeiten	Saugturbine
Energie übertragen	Antriebswelle
Stützen und Tragen	Gehäuse
Speichern	Staubsaugerbeutel
Arbeits- und Umweltschutz	Mikrofilter / Pollenfilter

Tabelle 1: Teilfunktionen und Subsysteme eines Staubsaugers

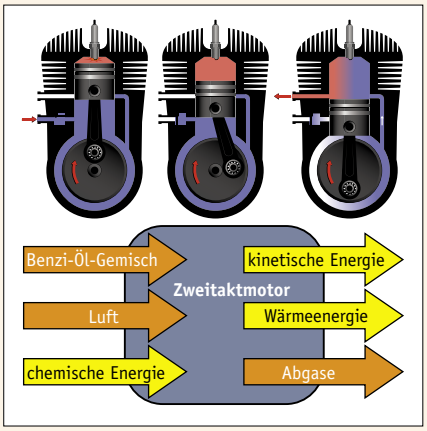

Bild 3: Zweitaktmotor als Prozess und als Blackbox

Komplexere technische Systeme werden auch als **Systemverbünde** bezeichnet.

Soziotechnische Systeme bestehen aus einer technischen Komponente und aus einer zugehörigen Personengruppe im Rahmen der Mensch-Maschine-Interaktion.

Funktionsprinzipien technischer Systeme können als **Kreisläufe** oder **Prozesse** dargestellt werden.

Wechselwirkungen technischer Systeme mit ihrer Umgebung werden durch die Betrachtung der **Ein- und Ausgangsgrößen** analysiert. Das technische System wird dabei als **„Blackbox"** dargestellt (Bild 3).

EVA-Prinzip
Geräte funktionieren nach dem sogenannten EVA-Prinzip, d. h., sie folgen der Ereigniskette Eingabe-Verarbeitung-Ausgabe.

1.3.2 Geräte und Maschinen

Geräte verfügen über eine **Eingabe-, Verarbeitungs-** und **Ausgabeeinheit.**

Beispiel

Ein Computer ist ein Gerät. Es verfügt über Eingabeeinheiten (Tastatur, Maus), Verarbeitungseinheiten (CPU) und Ausgabeeinheiten (Bildschirm, Drucker).

Maschinen sind technische Systeme mit einem **Antriebs-, Übertragungs-** und **Arbeitsteil** als Subsystem (Bild 1). Sie lassen sich nach ihrem Hauptzweck in die drei Kategorien einteilen:

Arbeitsmaschinen (Stoffumsatz)	Kraftmaschinen (Energieumsatz)	Informationsverarbeitende Maschinen (Informationsumsatz)
Baumaschinen, Transportmaschinen, Werkzeugmaschinen, Haushaltsmaschinen, Landmaschinen	Wärmekraftmaschinen, elektrische Maschinen, Windkraftmaschinen, Wasserkraftmaschinen	Kommunikationsgeräte, Datenverarbeitungsanlagen, Steuer- und Regeleinrichtungen, Rechenmaschinen

Tabelle 1: Kategorien von Maschinen

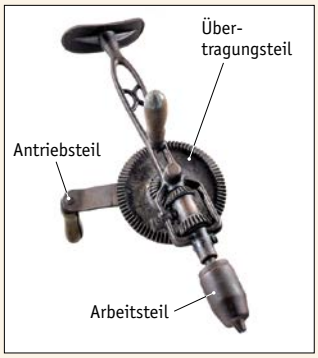

Bild 1: Bohrmaschine mit Handbetrieb

1.3.3 Weitere Perspektiven der Technik

Neben der fachwissenschaftlichen Betrachtungsweise gibt es weitere Perspektiven der Technik (Bild 2):

- Perspektive der **Ökonomie:** Unter welchen Bedingungen kann ein Produkt wirtschaftlich hergestellt, betrieben oder entsorgt werden?
- **Gesellschaftliche** Perspektive: Unter welchen gesellschaftlichen Bedingungen entsteht Technik und wie beeinflusst sie die Gesellschaft? Hier wird auch die historische Perspektive einbezogen.
- **Ökologische** Perspektive: In welchem Verhältnis stehen die Schad- und Nutzwirkungen eines technischen Systems bei Betrieb, Nutzung und Entsorgung?

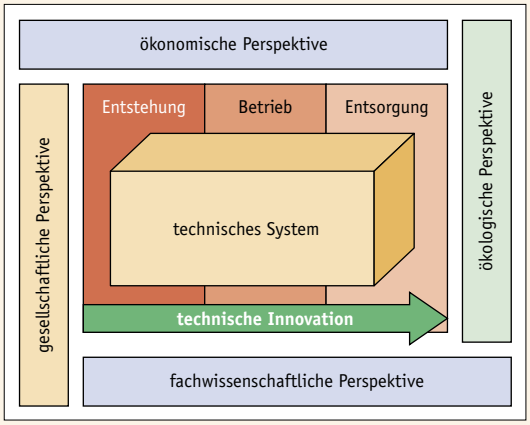

Bild 2: Perspektiven der Technik

Technik bewegt sich im Spannungsfeld zwischen dem technisch oder ökonomisch **Machbaren** und dem ökologisch oder gesellschaftlich **Wünschenswerten**. Wie eine technische Innovation bewertet wird, hängt von der eingenommenen **Perspektive** und der jeweiligen **Zweckbestimmung (Finalität)** ab.

Beispiel

Das Bohren von Platinen (Bild 3) wird durch den Einsatz von Robotern automatisiert (fachwissenschaftliche Perspektive). Dadurch sinken die Produktionskosten (ökonomische Perspektive), Arbeitsplätze fallen weg (gesellschaftliche Perspektive). Der vollautomatische Betrieb führt zu einem höheren Bedarf an elektrischer Energie (ökologische Perspektive).

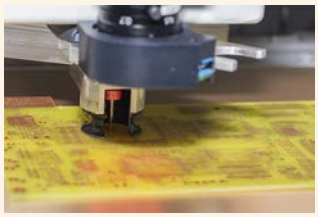

Bild 3: Bohren einer Platine

1.4 Technik und Umwelt

Umwelt
Der Begriff „Umwelt“ ist im deutschen Sprachraum etwa seit dem Jahr 1800 bekannt. Er stammt vom dänischen Wort *„omverden“* (umgebendes Land) ab. Die Verwendung des Begriffs „Umwelt“ im heutigen Sinne geht auf das im Jahr 1909 von Jakob Johann von Uexküll veröffentlichte Buch „Umwelt und Innenwelt der Tiere“ zurück.

Technische Systeme stehen in Wechselwirkung mit ihrer Umwelt. Dies kann negative Auswirkungen haben, die als Umweltbelastungen in Erscheinung treten. Innovative Technik kann aber auch dazu beitragen, Umweltbelastungen zu verringern oder zu vermeiden.

1.4.1 Umwelt – was ist das eigentlich?

Innerhalb technischer Systeme sowie auch in Systemverbünden werden Stoffe, Energien und Informationen weitergeleitet, umgewandelt und gespeichert. Diese „Innenwelt“ tritt beim Überschreiten der Systemgrenzen zwangsläufig in Wechselwirkung mit der natürlichen Außenwelt – der **Umwelt.**

Die Gesamtdarstellung (Bild 1) ermöglicht eine systematische Analyse der Wechselwirkungen eines technischen Produktes mit seiner Umwelt in der Entstehungs-, Betriebs- und Entsorgungsphase.

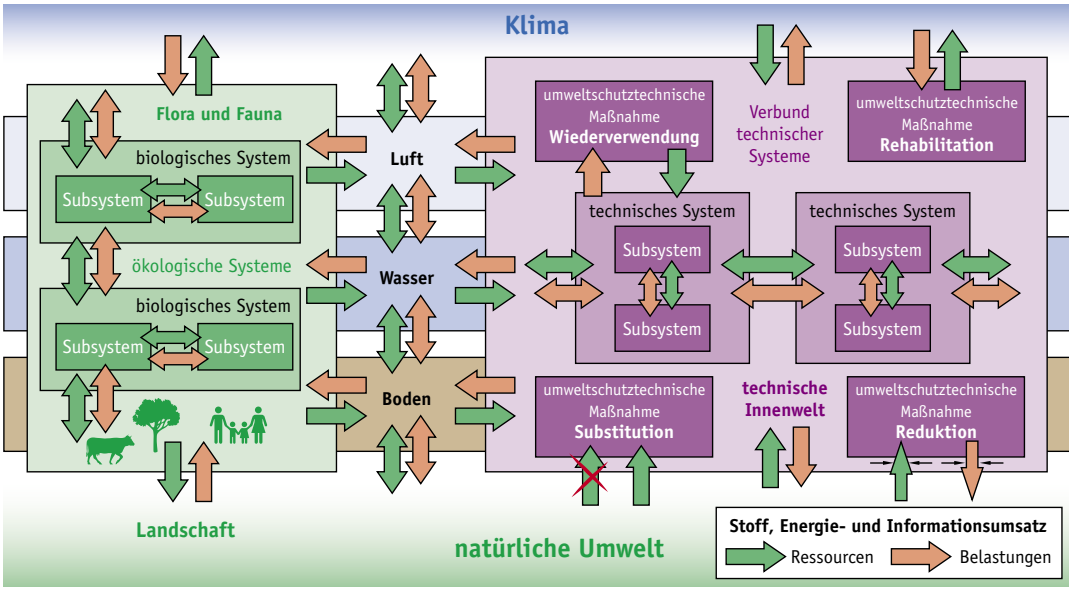

Bild 1: Technische Systeme und natürliche Umwelt

Bild 2: Tagebau

1.4.2 Landschaft und Klima

Technische Systemverbünde können die landschaftlichen oder klimatischen Verhältnisse in ihrem Umfeld beeinflussen: Sie nehmen einen bestimmten Raum ein, ersetzen also naturgewachsene Landschaften durch geplante Landschaftsstrukturen.

Beispiele für Landschaftsveränderungen sind der Braunkohletagebau (Bild 2) oder das Aufstauen von Flussläufen zu Stauseen.

1.4.3 Flora und Fauna

Tier- und Pflanzenarten beeinflussen das Erscheinungsbild der Landschaft und das Klima.

Beispiel

Das Wurzelgeflecht von Pflanzen trägt dazu bei, dass Sanddünen weniger stark erodieren.

Umgekehrt führen Klimaänderungen oder die Umgestaltung der Landschaft dazu, dass die Tier- und Pflanzenwelt sich anpasst und verändert.

Beispiel

Durch den **internationalen Warenverkehr** gelangen Tier- und Pflanzenarten als „blinde Passagiere" in Regionen, in denen sie ursprünglich nicht vorkommen **(„biologische Invasion").**

Neozoen und Neophyten

Als Neozoen bezeichnet man exotische Tierarten, die aus ihrer Heimat absichtlich oder unabsichtlich in Gebiete verbracht wurden, in denen sie nicht heimisch sind. In Deutschland handelt es sich z. B. beim Waschbären (Bild 1), beim amerikanischen Ochsenfrosch oder auch beim Graskarpfen um Neozoen. Der Begriff Neophyten wird im gleichen Sinne für exotische Pflanzenarten verwendet. In Deutschland ist z. B. der Japan-Knöterich eine Neophyte.

1.4.4 Biologische und ökologische Systeme

In Analogie zum technischen Systembegriff können Lebensformen als **biologische Systeme** bezeichnet werden, die über Stoff-, Energie- und Informationsumsatz in Wechselwirkung mit ihrer Umgebung stehen.

Gemeinschaften biologischer Systeme lassen sich als mehr oder weniger „abgeschlossene" Systeme verstehen. Diese werden als **ökologische Systeme** bezeichnet.

Beispiel

Ein stehendes Gewässer (Bild 2) bildet ein ökologisches System. Innerhalb des Systemverbundes gibt es Lebensformen, Nahrungsketten und symbiotische Abhängigkeiten. Nach außen gibt es Zu- und Abflüsse, Energie wird gespeichert, Stoffe aufgenommen und abgegeben.

Bild 1: In Europa ist der Waschbär ein Neozoe.

1.4.5 Die Umweltfaktoren Boden, Wasser und Luft

Stoffliche und energetische Wechselwirkungen zwischen Umwelt und Technik erfolgen über die Träger- und Speichermedien **Boden, Wasser** und **Luft**.

Beispiel

Wärmeenergie im Meerwasser wird tausende von Kilometern weitergleitet und beeinflusst damit die globalen klimatischen Verhältnisse.

Nährstoffe und Schadstoffe sowie unterschiedliche Energieformen können über den Boden, die Luft oder das Wasser in biologische bzw. ökologische Systeme gelangen oder aus ihnen abgeführt werden.

Beispiel

Regenwasser wäscht Stoffe aus dem Boden aus. Durch Verdunstung gelangen sie in die Luft, regnen an anderer Stelle ab und gelangen zurück in den Boden.

Bild 2: Ein stehendes Gewässer ist ein ökologisches System.

Bei der Analyse von Umweltbelastungen oder bei Studien zur **Umweltverträglichkeit** wird besonders die stoffliche oder energetische Boden-, Wasser- oder Luftbeeinträchtigung analysiert.

Bild 1: Ausgelaufenes Öl ist eine Umweltbelastung, weil es das Grundwasser verunreinigt.

1.5 Umweltschutz und Umwelttechnik

Der **Umweltschutz** umfasst alle gesellschaftlichen, politischen und technischen Maßnahmen, deren Ziel die Bewahrung natürlicher Ressourcen und die Vermeidung von Umweltbelastungen ist.

Umweltbelastungen sind Beeinflussungen des Gesamtsystems Umwelt oder seiner Subsysteme, die sie in ihrem Bestand, ihrer Zusammensetzung oder ihrer Funktion beeinträchtigen oder insgesamt nachteilig verändern (Bild 1).

1.5.1 Vermeidungsstrategien

Dem Umweltschutz stehen **Bedürfnisse** (z. B. Mobilität) und **Erfordernisse** (z. B. medizinische Versorgung) gegenüber, die die Entstehung und Nutzung umweltbelastender technischer Systeme begünstigen. Kurzfristige, individuelle oder lokale Interessen sind dabei oft nicht mit langfristigen, allgemeinen oder globalen Zielen in Einklang zu bringen.

Umweltschutz stellt deshalb kein ursächlich technisches Problem dar, sondern hängt von gesellschaftlichen und individuellen **Wertvorstellungen** und vom resultierenden **Verhalten** ab (Bild 2).

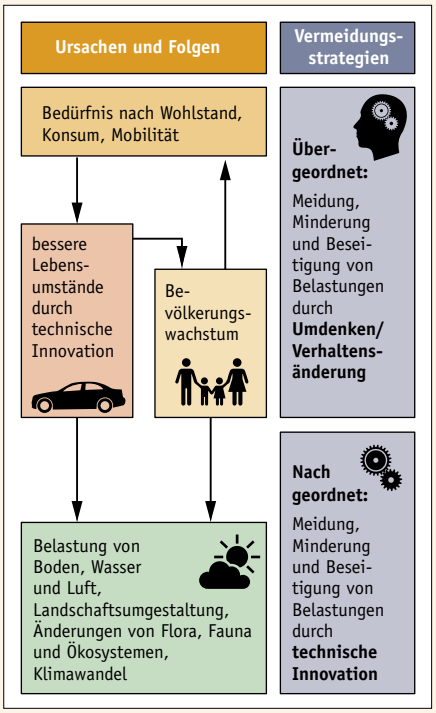

Bild 2: Vermeidungsstrategien

Umweltbelastungen entstehen sowohl mittels als auch mangels technischer Innovation. Umwelttechnische Maßnahmen sind insofern als nachgeordnete Vermeidungsstrategien zu verstehen.

Bei den technischen Möglichkeiten zur **Vermeidung, Minderung** oder **Beseitigung** von Umweltbelastungen lassen sich vier **umweltschutztechnische Strategien** unterscheiden: Reduktion, Wiederverwendung, Substitution und Rehabilitation (Bild 1, auf S. 14).

1.5.2 Reduktion

Technische Maßnahmen der **Reduktion** können sowohl bei den Systemeingängen wie auch an den Systemausgängen erfolgen. Ziel ist eine Reduzierung der ein- bzw. ausgehenden Stoff- oder Energiemengen.

Beispiele

Die Spartaste an einer WC-Spülung senkt den Wasserverbrauch (Reduktionsprinzip: Stoffeingang); ein Rußpartikelfilter bei einem Dieselkraftfahrzeug reduziert den Ausstoß an Ruß (Reduktionsprinzip: Stoffausgang).

1.5.3 Wiederverwendung

Bei der **Wiederverwendung** werden Ausgangsstoffe oder -energien eines technischen Systems als Eingangsgrößen oder -energien eines anderen technischen Systems genutzt. Die Nutzung von aufbereiteten Sekundärrohstoffen bezeichnet man als **Recycling.**

Beispiel

Bei der Stahlherstellung wird Stahlschrott in einem Lichtbogenofen (EAF – Electric Arc Furnace) geschmolzen und als Stahl-Neuprodukt weiterverwertet.

Bild 1: Metalle können wiederverwendet werden.

1.5.4 Substitution

Umweltbelastende Eingangsgrößen technischer Systeme werden durch weniger belastende Stoffe oder Energien ersetzt. Die Substitution kann sich auf den Herstellungsprozess, auf die Nutzung oder die Entsorgung eines technischen Systems beziehen.

Beispiel: Kunststoffe

Herstellung: Bio-Kunststoffe bzw. technische Biopolymere (Bild 2) sind Kunststoffe, die auf Basis nachwachsender Rohstoffe hergestellt werden. Ein möglicher Ausgangstoff ist dabei Stärke aus Mais oder Zuckerrüben.

Nutzung: Viele Kunststoffe beinhalten zur Verbesserung der Werkstoffeigenschaften **Weichmacher.** Mehr und mehr wird das dabei eingesetzte **Phthalat** DEHP durch weniger schädliche Weichmacher wie z. B. Diisononylcyclohexan-1,2-dicarboxylat (DINCH) ersetzt.

Entsorgung: Weil Kunststoffe nicht verrotten, stellt Kunststoffmüll ein großes Problem dar. Daher wurden biologisch **abbaubare Kunststoffe** entwickelt, die grundsätzlich kompostierbar sind.

Bild 2: Verpackungschips aus Stärke

1.5.5 Rehabilitation

Maßnahmen der **Rehabilitation** haben die Verminderung oder Beseitigung bereits entstandener Umweltbelastungen zum Ziel. Die Rehabilitation ist eine nachgeordnete Maßnahme, die einsetzt, wenn die zuvor beschriebenen Prinzipien nicht oder nicht in ausreichendem Maße angewendet wurden. Solche Maßnahmen sind technisch meist sehr aufwendig und in der Regel mit enormen Kosten verbunden. Zudem ist die vollständige Wiederherstellung des ursprünglichen Zustands meist nicht umsetzbar.

Beispiel

Seit 1990 ist man dabei, die vollständig kanalisierte Emscher (Bild 3) im Ruhrgebiet wieder in ein natürliches Fließgewässer umzuwandeln. Hierzu wird u. a. ein 50 km langer unterirdischer Abwasserkanal parallel zur Emscher gebaut. Für die **Renaturierung** sind ca. 4,5 Milliarden Euro vorgesehen.

Bild 3: Die Emscher als offener Abwasserkanal

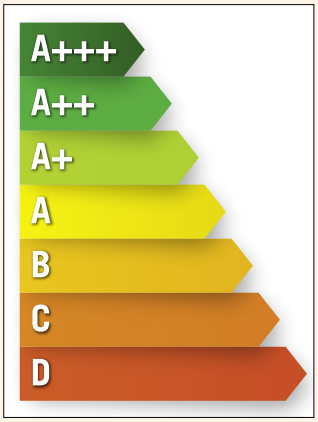

Bild 1: Energieeffizienzklassen

1.5.6 Ökobilanz technischer Produkte

Gesetzliche Bestimmungen und Auflagen verlangen von Entwicklern, Herstellern und Verbrauchern, sich mit der Umweltverträglichkeit technischer Produkte hinsichtlich ihrer Entstehung, Nutzung und Entsorgung auseinanderzusetzen. Der Grad der **Umweltverträglichkeit** eines technischen Produktes kann z. T. freiwillig, teilweise auch aufgrund gesetzlicher Bestimmungen mit bestimmten Siegeln oder Prüfklassen gekennzeichnet werden.

Beispiele

Der **Blaue Engel** ist ein staatlich herausgegebenes Zeichen für umweltfreundliche Produkte; das EU-Energielabel für Elektrogeräte teilt Elektrogräte in unterschiedliche **Energieeffizienzklassen** ein (Bild 1).

Die Umweltverträglichkeit eines Produktes muss über den gesamten Lebenszyklus als **Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Assessment / LCA bzw. Ökobilanz)** geprüft werden, um aussagekräftig zu sein.

Ökobilanz
Nach ISO 14040 gehören zu einer Ökobilanz:
- Definition von Ziel und Untersuchungsrahmen,
- Sachbilanz,
- Wirkungsabschätzung,
- Auswertung.

1.5.7 Umwelttechnische Systeme

Die **Umwelttechnik** (auch Umweltschutztechnik) umfasst alle technischen Systeme oder Subsysteme mit dem Hauptzweck Umweltschutz. Hierzu gehören insbesondere die technische Erfassung, Vermeidung und Verminderung von Umweltbelastungen.

Beispiele

Die **Rauchgasentschwefelungsanlage (DeSOx)** eines Kohlekraftwerks dient dem Hauptzweck der Luftreinhaltung, indem sie die Verbrennungsabgase von schädlichen Schwefelverbindungen befreit.

Grundsätzlich werden bei umwelttechnischen Systemen zwei Prinzipien unterschieden: **additive Verfahren** (End-of-pipe-Technologie) und **integrierter Umweltschutz.** Die additiven Verfahren setzen an den Systemausgängen technischer Systeme oder Systemverbünde an, während der integrierte Umweltschutz Veränderungen innerhalb des technischen Systems bezeichnet.

Beispiele

Additive Maßnahme	Integrierter Umweltschutz
Der Katalysator eines Kraftfahrzeugs (Bild 2) reduziert entstandene Abgasemissionen.	Verbrennungsprozesse im Motor werden optimiert, sodass weniger Abgase entstehen.
Industrielle Abwässer werden vor Einleitung in die Kanalisation gereinigt.	Wasser wird im Kreislaufprozess verwendet, sodass weniger Frischwasser benötigt wird.

Bild 2: Kfz-Katalysator zur Reduzierung der Abgasemissionen

1.6 Technische Innovation: Beispiel Energiesparleuchte

2009 wurden von der EU die sogenannten Ökodesign-Effizienzverordnungen beschlossen. Auf dieser Grundlage wurde in der Bundesrepublik Deutschland die Beleuchtungsverordnung erlassen, die das schrittweise Verbot herkömmlicher Leuchtmittel beinhaltet. Seit 2018 sind nur noch LED-Lampen oder Energiesparleuchten auf dem Markt. Ziel dieser Maßnahme ist es, damit einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten.

Im Folgenden wird die **Ökobilanz** der Energiesparleuchte im Vergleich zu einer herkömmlichen Glühfadenlampe analysiert. Hierzu werden beide Produkte hinsichtlich ihrer Entstehung, Nutzung und Entsorgung sowohl stofflich als auch energetisch untersucht.

Bild 1: Kompaktleuchtstofflampen

1.6.1 Vor- und Nachteile

Die meisten Vor- und Nachteile der herkömmlichen Leuchtstofflampe (s. Kasten rechts) treffen auch auf die Kompaktleuchtstofflampe zu. Insbesondere wegen ihrer besseren Energieeffizienz und ihrer längeren Lebensdauer sind sie als **Energiesparleuchten** im Handel. Nach der Beleuchtungsverordnung ersetzen sie zusammen mit der LED-Technik sukzessive die Allgebrauchslampe.

Im Vergleich zu den herkömmlichen Leuchtstoffröhren wurde das **Flackerverhalten** der Energiesparlampen deutlich reduziert, da ihre Elektronik die Netzfrequenz von 50 Hz auf eine Betriebsfrequenz von 45 kHz transformiert. Energiesparlampen benötigen allerdings eine gewisse Startzeit und erreichen erst einige Zeit nach dem Einschalten ihre eigentliche Farbe und Helligkeit. Außerdem können sie nicht ohne Weiteres gedimmt, also in ihrer Helligkeit verändert werden.

Geschichte der Energiesparleuchte

Leuchtstoffröhren werden seit 1938 kommerziell vertrieben. Ihr Einsatzbereich beschränkte sich aufgrund ihrer Größe und ihrer Lichtfarbe zu Beginn hauptsächlich auf **Arbeitsplatzbeleuchtungen** in Werkhallen oder sie wurden für die Beleuchtung von Kellerräumen genutzt. Teilweise wurden sie auch als indirekte Tageslichtbeleuchtung in Wohnräumen verwendet, vorzugsweise verdeckt oberhalb der Fenster.

In den 80er Jahren des 20. Jahrhunderts wurden Leuchtstoffröhren in einer kompakten Form mit integriertem Vorschaltgerät und Schraubsockel entwickelt, die in bestehende Lampenfassungen an Stelle der herkömmlichen Glühlampe eingedreht werden konnten. Das Grundprinzip besteht darin, den Durchmesser der Röhre zu verkleinern und die Röhre durch eine gebogene oder spiralförmige Formgebung an das Format herkömmlicher Allgebrauchslampen anzupassen.

Diese **Kompaktleuchtstofflampen** (Bild 1) wurden bis heute immer weiter verbessert: Sie wurden immer kleiner, damit sie besser in bestehende Lampenfassungen passen, und man entwickelte Kompaktleuchtstofflampen mit Farbvarianten, die das „wärmere“ Licht der Glühlampe zu imitieren versuchen.

Mittlerweile gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Typen von Energiesparleuchten für fast alle Einsatzbereiche. Die ursprünglich sehr hohen Verkaufspreise konnten nach und nach gesenkt werden, liegen aber immer noch deutlich über dem Preis einer Glühfadenlampe.

1.6.2 Entstehungsphase

Prinzipiell ist eine Energiesparleuchte viel komplexer aufgebaut als eine Glühfadenlampe. Daher fällt die **Energiebilanz** in der **Entstehungsphase** deutlich zugunsten der Glühfadenlampe aus: Etwa 3,3 kWh Primärenergie fallen bei der Energiesparleuchte gegenüber 0,3 – 0,8 kWh bei der Glühfadenlampe an.

Bild 2: Herstellung von Kompaktleuchtstofflampen

Bild 1: Das komplexe Innenleben einer Kompaktleuchtstofflampe

Die **stoffliche Bilanz** in der Entstehungsphase entscheidet sich ebenfalls recht klar zugunsten der Glühfadenlampe: Eine Allgebrauchslampe besteht aus Blech, Kupfer oder anderen Metallen in geringer Menge, Wolfram für den Glühdraht, Glas, Lötzinn und Isolier- bzw. Klebmasse. Insgesamt wiegt eine Glühlampe durchschnittlich um die 30 Gramm.

Eine Energiesparleuchte enthält diese Stoffe (bis auf den Wolfram) ebenfalls, es kommen aber weitere Stoffe hinzu. In erster Linie fällt dabei das **Quecksilber** ins Gewicht: Eine Energiesparlampe kann ca. 3 mg Quecksilber enthalten. Zudem werden Kunststoffe für den Sockel sowie Halbleiterbausteine verwendet. Das führt dazu, dass Energiesparlampen u. a. auch Blei, Antimon, Barium, Arsen, Yttrium, Phosphor, Cadmiumbromide, Vanadium, Thorium und bromierte Flammschutzmittel enthalten können (Bild 1). Mit ca. 90 Gramm ist eine Energiesparlampe etwa dreimal so schwer wie eine Glühlampe.

Berücksichtigt man auch den Energiebedarf für den Vertrieb beider Typen, so müssen das unterschiedliche Gewicht sowie der Herstellungsort berücksichtigt werden. Größtenteils werden Energiesparlampen in Fernost hergestellt. Da der insgesamt für den Vertrieb anzusetzende Energieaufwand erheblich über dem für die Herstellung liegt, ist dieser Wert nicht vernachlässigbar. Es gibt Berechnungen, nach denen allein der Vertrieb einen Energiebedarf um die 14 kWh verursacht. Positiv geht hier die aufgrund der längeren Lebensdauer geringere Stückzahl, negativ das höhere Gewicht der Energiesparlampe ein.

1.6.3 Nutzungsphase

In der **Nutzungsphase** geht es um eine energetische Betrachtung. Beim Vergleich einer herkömmlichen Glühlampe mit einer Energiesparleuchte sind zwei Faktoren zu berücksichtigen, die der Energiesparlampe einen klaren Vorteil verschaffen: Dies sind ihre längere Lebensdauer und die höhere Energieeffizienz. Beide Faktoren sind aber mit gewissen Unsicherheiten behaftet: Die Lebensdauer beider Leuchtmittel ist stark von den Nutzungsbedingungen abhängig.

Langlebigkeit
Auch wenn Glühfadenlampen nur eine durchschnittliche Betriebsdauer von 1000 Stunden haben, gibt es erstaunliche Ausnahmen: Die langlebigste Glühlampe der Welt wurde im Jahr 1901 in einer Feuerwache in Livermore / Kalifornien in Betrieb genommen und leuchtet seitdem nahezu ununterbrochen. Statt der ursprünglichen 60 W Leistung liefert die als „Cenntennial light“ bekannte Glühlampe aber heute nur noch „sparsame“ 4 W.

Beispiele

Häufiges Ein- und Ausschalten (z. B. Flurbeleuchtung) wirkt sich nachteilig auf die Lebensdauer aus; wird eine Glühlampe gedimmt, erhöht das die Lebensdauer und senkt den Energiebedarf; wegen der Einschaltverzögerung der Energiesparlampe verzichten Verbraucher ggf. auf kurzfristig aufeinanderfolgende Ein- und Ausschaltvorgänge.

Somit ist es schwierig, standardisierte Durchschnittswerte zu ermitteln. Eine weitere wichtige Frage ist die, welche konkreten Leuchtmittel man miteinander vergleicht. Traditionell wurde bei Leuchtmitteln die elektrische Leistung als Maß für die Helligkeit verwendet. Da Energiesparleuchten eine vergleichbare Helligkeit schon bei einer deutlich geringeren Leistung erreichen, muss die in **Lumen** gemessene Helligkeit als Ver-