



Bach, Ewald
Gomeringer, Roland

Menges, Volker
Rapp, Thomas

Scholer, Claudius
Stenzel, Andreas

AUFSTIEG ZUM INDUSTRIEMEISTER

Naturwissenschaftliche und technische Gesetzmäßigkeiten

- Physik
- Chemie
- Statistik

3. Auflage

Arbeitsbuch für die Vorbereitung auf die Prüfung der Industriemeister
und Industriemeisterinnen.

Ausführliche Lösungen der Aufgaben stehen auf www.europa-lehrmittel.de/80264
zur Verfügung.

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

Europa-Nr.: 80264

Autoren:

Bach, Ewald	Oberstudienrat	Uhingen
Gomeringer, Roland	Studiendirektor	Meßstetten
Menges, Volker	Dipl. Ing.	Lichtenstein
Rapp, Thomas	Dipl. Ing.	Albstadt
Scholer, Claudius	Dipl. Ing.	Metzingen
Stenzel, Andreas	Dipl. Ing.	Balingen

Lektorat:

Roland Gomeringer, Meßstetten

Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlages Europa-Lehrmittel, Ostfildern

3. Auflage 2024, korrigierter Nachdruck 2026

Druck 5 4 3 2

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern identisch sind.

ISBN 978-3-8085-8438-5

Bei Fragen zur Produktsicherheit wenden Sie sich bitte an produktsicherheit@europa-lehrmittel.de.

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

© 2024 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
www.europa-lehrmittel.de

Umschlaggestaltung: Andreas Sonnhüter, 41372 Niederkrüchten

Umschlagfotos: © Eisenhans – stock.adobe.com

Satz: Satz+Layout Werkstatt Kluth GmbH, 50374 Erftstadt

Druck: UAB Balto Print, 08217 Vilnius, Litauen

VORWORT

Das vorliegende Buch „**Aufstieg zum Industriemeister – Naturwissenschaftliche und technische Gesetzmäßigkeiten**“ ist als Arbeits- und Übungsbuch angelegt, um den Einstieg in die naturwissenschaftlichen und technischen Gesetzmäßigkeiten zu erleichtern. Es soll aber auch vorbereiten auf die entsprechenden Prüfungen.

Zielgruppen dieses Buches sind alle, die sich auf eine Weiterbildungsprüfung zum Industriemeister oder Fachwirt vorbereiten.

Das Buch beinhaltet die drei Grundlagenkapitel:

- A. **Physik** mit der Einführung in die *Mechanik*, in die *Festigkeits- und die Elektrizitätslehre*.
- B. **Chemie** mit den *Grundbegriffen*, den *chemischen Reaktionen* verschiedener Stoffe und der *Korrosion* mit dem *Korrosionsschutz*.
- C. **Statistik** mit den wichtigsten *Kenngößen*, den *Wahrscheinlichkeiten* und den *Qualitätsregelkarten*.

Die methodisch-didaktische Aufbereitung ergänzt die Arbeit des Dozenten. Eine abwechslungsreiche Darstellungsweise erleichtert das Selbststudium.

- Die Inhalte orientieren sich an der **Verordnung für die Meisterprüfung**.
- Die Themen werden **auf das Wesentliche konzentriert** angeboten.
- **Konkrete Beispiele mit graphischen Darstellungen** erleichtern das Verständnis.
- Auf eine **verständliche Sprache** wird geachtet.

Jeder Themenkreis schließt mit **Aufgaben zur Wiederholung** ab, die der Selbstkontrolle dienen.

Dort wo es sich thematisch anbietet, werden **Aufgaben zur Prüfungsvorbereitung** dargestellt, deren Inhalte immer wieder bei Prüfungen vorkommen.

Die **ausführlichen Lösungen der Aufgaben** stehen auf www.europa-lehrmittel.de/80264 zur Verfügung.

In der **3. Auflage** hat sich am bewährten Aufbau des Buches nichts geändert. Neben redaktionellen Korrekturen wurde die **Darstellung überarbeitet und verbessert**. Eine wichtige Ergänzung hat das Buch durch die **Aufgaben zur Prüfungsvorbereitung** erfahren.

Hinweise, die zur Verbesserung und Erweiterung dieses Buches beitragen, nehmen wir dankbar entgegen. Verbesserungsvorschläge können dem Verlag und damit den Autoren unter der Verlagsadresse oder per E-Mail (lektorat@europa-lehrmittel.de) gerne mitgeteilt werden.

Frühjahr 2024

Autoren und Verlag

INHALT

TEIL A | PHYSIK

GRUNDLAGEN DER PHYSIK

Definition und Teilgebiete der Physik	7
Physikalischer Erkenntnisprozess	8
Regeln für die Arbeit in der Physik	9
Teilgebiete der klassischen Physik	9
Physikalische Größen und ihre Einheiten	10
Messbarkeit und Bestandteile einer physikalischen Größe	10
Das SI-Einheitensystem	10
Umrechnung alter Einheiten in SI-Einheiten und umgekehrt	11
<i>Aufgaben zur Wiederholung</i>	12

MECHANIK DER FESTEN KÖRPER I KINEMATIK

Gleichförmige geradlinige Bewegung	13
Begriff Geschwindigkeit	13
Momentan- und Durchschnittsgeschwindigkeit	15
Ungleichförmige geradlinige Bewegung	16
Gleichmäßig verzögerte geradlinige Bewegung	17
Fallbeschleunigung, freier Fall und senkrechter Wurf nach oben	18
<i>Aufgaben zur Wiederholung</i>	19
<i>Aufgaben zur Prüfungsvorbereitung</i>	20
Vektoren und Skalare	21
Das Überlagerungsprinzip	21
Vektorielle Addition von Geschwindigkeiten	21
Grundsatz der Unabhängigkeit	22

KINETIK

Beschleunigende Wirkung einer Kraft	22
Erstes Newton'sches Axiom	22
Zweites Newton'sches Axiom	23
Krafteinheit und Gewichtskraft	23
Drittes Newton'sches Axiom	24
Verformende Wirkung der Kraft	24
Gesetz von Hooke	25
Messung von Kräften	26
<i>Aufgaben zur Wiederholung</i>	27
<i>Aufgaben zur Prüfungsvorbereitung</i>	28

KRAFT UND KRAFTKOMPONENTEN

Darstellung von Kräften	29
Zentrales Kräftesystem	30
<i>Aufgaben zur Wiederholung</i>	32

ALLGEMEINES KRÄFTESYSTEM

Das Kraftmoment	33
Hebelarten	34
Schwerpunkte	35
Kippen und Standsicherheit	36

Einfache Maschinen	37
<i>Aufgaben zur Wiederholung</i>	38

REIBUNG

Reibungsgesetz nach Coulomb	39
Reibung auf der Schiefen Ebene	40
Seilreibung	41
Rollreibung	42
<i>Aufgaben zur Wiederholung</i>	43
<i>Aufgaben zur Prüfungsvorbereitung</i>	44

ARBEIT, LEISTUNG, WIRKUNGSGRAD

Mechanische Arbeit	45
Hubarbeit und potenzielle Energie	46
Beschleunigungsarbeit und kinetische Energie	47
Mechanische Leistung	48
Der Mechanische Wirkungsgrad	49
<i>Aufgaben zur Wiederholung</i>	51
<i>Aufgaben zur Prüfungsvorbereitung</i>	52

KREISFÖRMIGE BEWEGUNG

Drehzahl und Umfangsgeschwindigkeit	53
Drehleistung	54
Winkelgeschwindigkeit und Drehwinkel	55
<i>Aufgaben zur Wiederholung</i>	57

GETRIEBEBERECHNUNGEN

Riemengetriebe (Riementrieb)	58
Zahnradgetriebe, Abmessungen	60
Schneckengetriebe	62
<i>Aufgaben zur Wiederholung</i>	62

FLUIDMECHANIK

MECHANIK DER RUHENDEN FLÜSSIGKEITEN

Oberflächenspannung, Benetzung und Kapillarität	63
Hydrostatischer Druck	65
Druckkraft auf Flächen	67
Hydraulische Kraftübersetzung	68

FLUIDE IN HYDRAULIK UND PNEUMATIK

Kolbenkraft in Zylindern	69
Luftverbrauch von Pneumatikzylindern	70
<i>Aufgaben zur Wiederholung</i>	71
<i>Aufgaben zur Prüfungsvorbereitung</i>	71

STRÖMUNG INKOMPRESSIBLER FLUIDE

Kontinuitätsgleichung (Durchflussgleichung)	72
Energiegleichung von Bernoulli	73
Energieerhaltungssatz	74

Kolbengeschwindigkeit und hydraulische Leistung 76
 Strömungsverluste 77
Aufgaben zur Wiederholung 78
Aufgaben zur Prüfungsvorbereitung 78

AUFTRIEB IN FLÜSSIGKEITEN UND GASEN

Prinzip von Archimedes 79
Aufgaben zur Wiederholung 80

WÄRMELEHRE | TEMPERATUR ALS ZUSTANDSGRÖSSE

Temperaturskalen 81
 Die absolute Temperatur 83
Aufgaben zur Wiederholung 84
 Wärmeausdehnung fester und flüssiger Stoffe 84
 Wärmeausdehnung von Flüssigkeiten 86
Aufgaben zur Wiederholung 87

DIE GASGESETZE

Luftdruck und absoluter Druck 88
 Die Zustandsgrößen der Gase 89
Aufgaben zur Wiederholung 90
 Wärme als Energie 90
 Die Mischungsregel 92
Aufgaben zur Wiederholung 96
 Änderung des Aggregatzustandes 97
Aufgaben zur Wiederholung 99
Aufgaben zur Prüfungsvorbereitung 100

FESTIGKEITSLAHRE

Grundlagen 101
Aufgaben zur Wiederholung 102
 Zug und Druck 103
Aufgaben zur Wiederholung 104
 Sicherheitsbegriff 107
Aufgaben zur Wiederholung 108
 Flächenpressung und Lochleibung 108
Aufgaben zur Wiederholung 110
 Querkontraktion 110
Aufgaben zur Wiederholung 111
 Wärmespannung 112
Aufgaben zur Wiederholung 113
 Abscherung 113
Aufgaben zur Wiederholung 115
 Biegung 116
 Die Biegespannung 116
Aufgaben zur Wiederholung 122
 Torsion 123
 Die Torsionsspannung 123
Aufgaben zur Wiederholung 124
Aufgaben zur Prüfungsvorbereitung 125

ELEKTRIZITÄTSLAHRE

Elektrische Ladung und elektrisches Feld 126
 Nachweis von elektrischen Ladungen 127
 Elektrisches Feld 128

Magnetisches Feld 133
 Merkmale der magnetischen Felder 134
 Elektromagnetische Strahlung 135
Aufgaben zur Wiederholung 137

DIE ELEKTRISCHEN GRUNDGRÖSSEN

Elektrische Stromstärke 138
 Stromarten 140
 Elektrische Spannung 141
 Definition und Messung der elektrischen Spannung 142
 Spannungsarten 142
 Spannungserzeugung 143
 Elektrischer Widerstand und Leitwert 146
Aufgaben zur Wiederholung 146

GESETZMÄSSIGKEITEN IM ELEKTRISCHEN STROMKREIS

Das Ohm'sche Gesetz 147
 Reihenschaltung von Widerständen 148
Aufgaben zur Wiederholung 149
 Parallelschaltung von Widerständen 150
 Kombinierte Schaltungen 152
 Wheatstone'sche Messbrücke 153
Aufgaben zur Wiederholung 154

ELEKTRISCHE ARBEIT, LEISTUNG UND WIRKUNGSGRAD

Elektrische Arbeit 155
 Elektrische Leistung 156
 Wirkungsgrad 157
Aufgaben zur Wiederholung 158
Aufgaben zur Prüfungsvorbereitung 159

TEIL B | CHEMIE

THEMENGEBIETE DER CHEMIE

GRUNDBEGRIFFE DER CHEMIE

Der Stoffbegriff 162
 Gemische (Mischungen) 163
 Phasen 164
 Atome, Moleküle und Ionen 165
 Atomare Masseneinheit 167
 Die Stoffmenge „Mol“ 168
 Molare Masse (Molmasse) 168
 Gesetz von Avogadro, molares Volumen und ideales Gasgesetz 169
Aufgaben zur Wiederholung 170

ATOMBAU UND PERIODENSYSTEM DER ELEMENTE

Atommodelle und Elementarteilchen 172
 Elektronenhülle 174
 Periodensystem der Elemente (PSE) 176
 Isotope 178
Aufgaben zur Wiederholung 179

CHEMISCHE BINDUNGEN

Primäre chemische Bindungen	180
Sekundäre chemische Bindungen	186
<i>Aufgaben zur Wiederholung</i>	187

CHEMISCHE REAKTIONSWÄRME

Exotherme und endotherme Reaktionen	188
<i>Aufgaben zur Wiederholung</i>	189

GRUNDLAGEN DER ELEKTROCHEMIE

Oxidation und Reduktion	190
Oxidation von Metallen	191
Oxidation von Nichtmetallen	191
Verallgemeinerung der Begriffe „Oxidation“ und „Reduktion“	191
Redoxsysteme	193
Elektrolyse	194
Elektrochemische Stromerzeugung	196
Galvanotechnik	199
<i>Aufgaben zur Wiederholung</i>	200

SÄUREN, BASEN UND PH-WERT

Säure-Base-Theorien	201
Säure-Base-Reaktionen in wässrigen Lösungen	202
pH-Wert	203
Technisch wichtige Säuren – Erzeugung, Eigenschaften und Anwendungen	204
Technisch wichtige Basen – Erzeugung, Eigenschaften und Anwendungen	209
Indikatoren	209
Neutralisation	210
Regeln zum sicheren Umgang mit Säuren und Laugen	210
<i>Aufgaben zur Wiederholung</i>	211

LUFT, SAUERSTOFF UND WASSERSTOFF

Luft	212
Sauerstoff	212
Wasserstoff	215
<i>Aufgaben zur Wiederholung</i>	216

SALZE UND SALZBILDUNG

<i>Aufgaben zur Wiederholung</i>	218
--	-----

WASSER ALS LÖSUNGSMITTEL

<i>Aufgaben zur Wiederholung</i>	220
--	-----

WASSERHÄRTE UND WASSERENTHÄRTUNG

Wasserhärte	221
Nachteile von hartem Wasser	222
Nachteile von weichem Wasser	222
Einheit der Wasserhärte und Wasserhärtebereiche	223
Möglichkeiten der Wasserenthärtung	223
<i>Aufgaben zur Wiederholung</i>	224

KORROSION UND KORROSIONSSCHUTZ

Elektrochemische Spannungsreihe	225
Korrosionsprozesse	226
Korrosionsschutz	230
<i>Aufgaben zur Wiederholung</i>	236
<i>Aufgaben zur Prüfungsvorbereitung</i>	237

TEIL C | STATISTIK**GRUNDLAGEN**

Deskriptive und induktive Statistik	238
Merkmale	238

STATISTISCHE KENNGRÖSSEN

Kenngößenbildung	240
Kenngößen der Lage	240
Kenngößen der Streuung	241
<i>Aufgaben zur Wiederholung</i>	243

HISTOGRAMME

Absolute und relative Häufigkeit, Häufigkeitssumme ..	244
Erstellung von Histogrammen (Balkendiagrammen) ..	244
Summenkurven	247
<i>Aufgaben zur Wiederholung</i>	249

WAHRSCHEINLICHKEITS-VERTEILUNGEN

Histogramm und Verteilungsfunktion	250
Normalverteilung	250
Vertrauensbereich	253
<i>Aufgaben zur Wiederholung</i>	256

QUALITÄTSKENNZAHLEN FÜR MASCHINE UND PROZESS

Maschinen- und Prozessfähigkeitsuntersuchung	257
Maschinenfähigkeitskennwerte	257
Prozessfähigkeitskennwerte	259
<i>Aufgaben zur Wiederholung</i>	261

QUALITÄTSREGELKARTEN

Sinn und Zweck der Qualitätsregelkarte	263
Aufbau einer Qualitätsregelkarte	263
Gebräuchliche Qualitätsregelkarten	264
Bewertung von Prozessverläufen	267
<i>Aufgabe zur Wiederholung</i>	269
<i>Aufgaben zur Prüfungsvorbereitung</i>	270

SACHWORTVERZEICHNIS 272

TEIL A | PHYSIK

GRUNDLAGEN DER PHYSIK

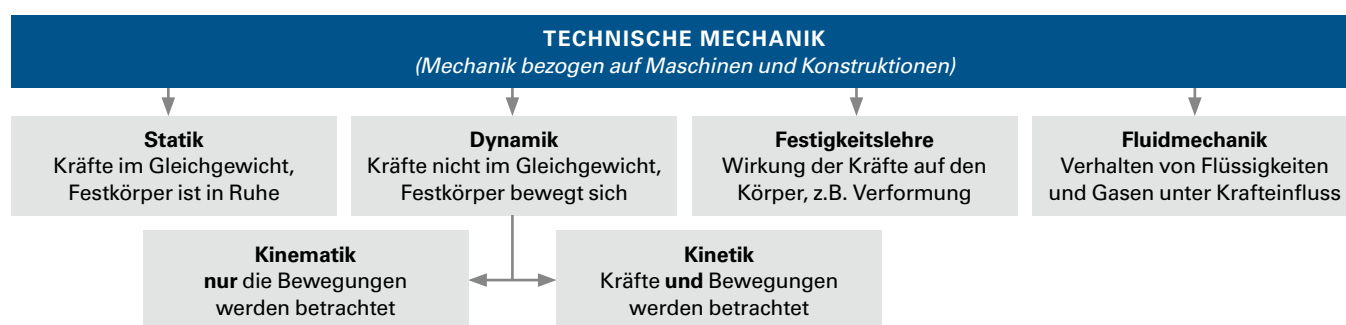
In der Technik können am Beispiel einer Karosserie-Pressen folgende Vorgänge beobachtet werden

- Ein Roboter bewegt mit hoher Geschwindigkeit ein Blech und legt es in die Presse.
- Hydrauliköl wird unter hohem Druck in einen Hydraulikzylinder gepumpt, der die Presse schließt.
- Das Blech wird in der Presse verformt. Anschließend öffnet die Hydraulik die Presse wieder.
- Druckluft lässt einen Pneumatikzylinder ausfahren, der das verformte Blech auswirft.

Nachfolgend wird beschrieben, was Physik ist und wie mit ihr Lösungsansätze für die Technik gewonnen werden

können. Die Physik (griech. Physis – Natur) befasst sich mit Vorgängen in der Natur. Beispielsweise kann die in der Natur vorkommende **Materie** drei verschiedene **Zustandsformen** annehmen. Es sind die **Aggregatzustände** fest, flüssig und gasförmig. Damit werden **Festkörper**, **Flüssigkeiten** und **Gase** unterschieden. Die Aggregatzustände von Materialien und Medien sind eine erste Verbindung zur Physik.

Um die Vorgänge in der Karosserie-Pressen noch genauer mit der Physik erschließen zu können, muss geklärt werden, worum es sich bei der technischen Mechanik handelt, und in welche Teilgebiete sie sich aufgliedert.



Nun werden die Vorgänge in der Karosserie-Pressen den Teilgebieten der Physik zugeordnet, sodass dort Lösungsansätze gefunden werden können.

- | | | |
|---|--------------------|---------------------------------------|
| ■ Ein Blech wird bewegt: | › Festkörper | › Mechanik (Dynamik, Kinematik) |
| ■ Hydrauliköl schließt/öffnet die Presse: | › Flüssigkeit | › Fluidmechanik |
| ■ Ein Blech wird verformt: | › Festkörper | › Mechanik (Statik, Festigkeitslehre) |
| ■ Druckluft wirft das Blech aus: | › Gas (Gasgemisch) | › Fluidmechanik |

DEFINITION UND TEILGEBIETE DER PHYSIK

In der Physik werden Naturerscheinungen untersucht und gedeutet. Bei der Untersuchung wird zuerst versucht Regelmäßigkeiten zu erfassen, wenn dies gelungen ist, kann daraus ein Gesetz formuliert werden.

Bei der Erforschung von Naturerscheinungen haben sich im Laufe der Zeit zwei **Wissenschaften** besonders hervorgetan, die **Philosophie**, deren metaphysische Richtung die Natur durch einen übernatürlichen Steuerungsmechanismus zu deuten versucht und die **Physik**, die Natur als einen Erfahrungsgegenstand begreift. Durch die vielfältigen Erfahrungen hat der Mensch gelernt, dass es für den Ablauf der natürlichen Vorgänge Gesetzmäßigkeiten gibt, die man als **Naturgesetze** begreift und deren Gesamtheit es ermöglicht, die Naturerscheinungen zu beschreiben.

Das, was in der deutschen Sprache mit dem Wort „Natur“ bezeichnet wird, heißt im Griechischen Physis. Eine umfassende Definition der Natur kann wie folgt lauten:

Die Natur (physis) ist der gesamte Kosmos mit seiner sich ständig ändernden Materie und all seinen Kräften.

Physik ist die Wissenschaft, die **Naturgesetze** formuliert, mit deren Hilfe die **Naturerscheinungen** beschrieben werden können. So gesehen, kann man der Physik zwei verschiedene Funktionen zuordnen. Dies zeigt das folgende Schema:



■ Klassische Physik

Physikalische Gesetze folgen aus allgemeinen Erfahrungen (z. B. eine Kraft ist von der Masse und der Beschleunigung abhängig) und aus empirisch gefundenen Tatsachen (z. B. durch systematisches Messen der Fallbeschleunigung).

■ Moderne Physik

Die moderne Physik berücksichtigt, dass die Gesetze der klassischen Physik bei sehr kleinen Abmessungen (Atome und noch kleiner) und sehr großen Geschwindigkeiten (bezogen auf die Lichtgeschwindigkeit) ihre Gültigkeit verlieren. Die Quanten- und die Relativitätstheorie sind die wichtigsten Zweige. Die **Quantentheorie** befasst sich mit Elementarteilchen, die **Relativitätstheorie** mit Energie, Masse, Lichtgeschwindigkeit, Raum und Zeit. Die **Lichtgeschwindigkeit** ist eine Naturkonstante und die obere Grenze für die Ausbreitung von elektromagnetischen Signalen.

BEISPIEL 1

Meterdefinition der klassischen Physik

Ein Meter ist der zehnmillionste Teil der Strecke, die vom Nordpol über Paris zum Äquator geht (Erdmeridianquadrant).

Meterdefinition der modernen Physik

Ein Meter ist die Länge der Strecke, die das Licht im Vakuum während der Dauer von $1/299792458$ Sekunde zurücklegt.

BEISPIEL 2

Ein Bus fährt mit 82,8 km/h und ein Fahrgast läuft mit 7,2 km/h in Fahrtrichtung. **Nach moderner Physik** (Einstein) nimmt ein ruhender Beobachter am Fahrbahnrand die Geschwindigkeit des Fahrgastes mit 90 km/h wahr. Das ist das gleiche Ergebnis wie bei der **klassischen Physik**. Wenn ein Raumschiff 22 Millionen km/h schnell fliegen würde und ein Astronaut darin mit 11 Millionen km/h in einem Transporter in Fahrtrichtung fliegt, dann ergeben sich für den ruhenden Beobachter **nach moderner Physik** 32,993145 Millionen km/h, nicht 33 Millionen km/h wie **nach klassischer Physik**. Immerhin 8855 km/h weniger.

Während sich also die moderne Physik mit der Erforschung kleinster und größter Strukturen der Natur befasst, ist das Betätigungsfeld der klassischen Physik im Bereich der uns üblicherweise berührenden Vorgänge und Techniken angesiedelt.

Die Gesetze der klassischen Physik bilden die Grundlage des Maschinen- und Anlagenbaus sowie der Bautechnik und der allgemeinen Elektrotechnik.

PHYSIKALISCHER ERKENNTNISPROZESS

Insbesondere Galileo **Galilei** (1564...1642) und Isaak **Newton** (1643...1727) haben die physikalische Forschung bis heute beeinflusst. Die von ihnen erforschten Gesetzmäßigkeiten sind auf viele andere Wissenschaften übertragbar. So ergibt sich z. B. ein hoher Nutzungsgrad in den **Ingenieurwissenschaften**, d. h. in der gesamten Maschinen- und Anlagentechnik. An einer sehr großen Anzahl von Naturgesetzen ist zu erkennen, dass sich der physikalische Erkenntnisprozess meistens in vier Schritten entwickelt. Dies sind das **Experiment**, die **Induktion**, die **Formulierung des physikalischen Gesetzes** und die **Deduktion**.

■ Experiment

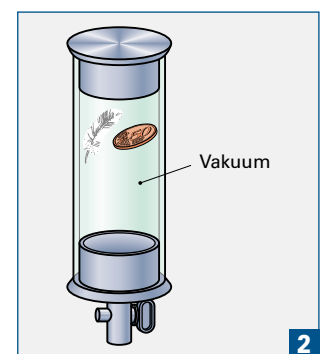
Allein durch die Beobachtung der Natur ist es nur sehr eingeschränkt möglich, die physikalischen Gesetze zu formulieren. Diese Erkenntnis führte ab etwa dem Jahr 1500, vor allem ab Galilei, dazu, dass die natürlichen Vorgänge bewusst und sehr planmäßig eingeleitet und beobachtet wurden. Solche künstlich eingeleiteten natürlichen Vorgänge und die anschließende Beobachtung und Auswertung der Messreihen werden als **physikalische Versuche** oder als **physikalische Experimente** bezeichnet. Als ein berühmtes Beispiel sollen hier die von Galilei am schiefen Turm von Pisa (Bild 1) durchgeführten **Fallversuche** genannt werden, die angeblich zur Formulierung der **Fallgesetze** führten.

In diesem Zusammenhang gelang Galilei auch der Nachweis, dass im luftleeren Raum (**Vakuum**) schwere Körper genauso schnell fallen wie leichte Körper. Dieser Nachweis konnte von Galilei mit einer luftleer gepumpten Glasröhre, einer **Fallröhre** (Bild 2) erbracht werden. Als Fallkörper benutzte er – laut Überlieferung – eine Flaumfeder und eine Geldmünze.

Bei der Formulierung der Naturgesetze nehmen die Experimente eine zentrale Stellung ein. Dabei werden die **Messwerte** (z. B. Zeit, Geschwindigkeit, Temperatur, Druck usw.) mathematisch verknüpft. So wird das Naturgesetz durch **Formeln** mathematisch handhabbar.



Schiefer Turm von Pisa



Fallversuch

■ Induktion

Die Formulierung eines Naturgesetzes mithilfe eines Experimentes setzt voraus, dass eine genügend große Anzahl von Experimenten immer wieder zum gleichen Ergebnis führt. Ist dies der Fall, dann kann man daraus schließen, dass auch der nächste Versuch – zu jeder Zeit an jedem beliebigen Ort – zum gleichen Ergebnis führt. Ein solcher Schluss heißt **Induktion**. Man spricht auch vom **Induktionsschluss**.

Der Induktionsschluss ist der Schluss vom Besonderen auf das Allgemeine. Die Mittel der Mathematik lassen die nebenstehende Definition des Induktionsschlusses zu.

Beim Induktionsschluss wird von **n auf $n + 1$** geschlossen. Dabei ist n die Anzahl der bisherigen Experimente.

Formulierung des physikalischen Gesetzes

Durch den Induktionsschluss, d.h. durch die Verallgemeinerung, ist der nächste Schritt im physikalischen Erkenntnisprozess vollzogen. Die Formulierung kann verbal oder auch mithilfe der Mathematik – durch eine Formel oder ein **Diagramm** – erfolgen.

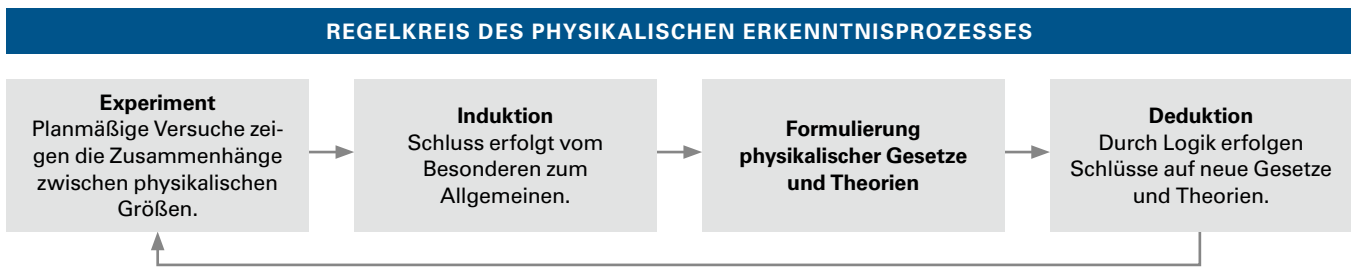
Deduktion

Die Beschreibung eines Wissensgebietes durch eine Vielzahl von Naturgesetzen wird als Theorie bezeichnet. Ergäbe sich auch nur ein einziger experimenteller Befund, der sich nicht mit der Theorie deckt, würde dies zwangsläufig zur Änderung dieser Theorie führen. Im Extremfall müsste eine bisher bewährte Theorie aufgegeben werden, was in der Entwicklung der Wissenschaften auch hin und wieder der Fall war. Solange sich neue Experimentalbefunde in die Theorie ohne Widerspruch einordnen lassen, gilt:

Mithilfe der **Logik** kann man aus den Naturgesetzen und den daraus gebildeten Theorien Aussagen bezüglich eines speziellen physikalischen oder technischen Problemfeldes formulieren.

Dieser Vorgang heißt **Deduktion**, und im Gegensatz zu den **induktiven Verfahren**, die ihre Schlüsse aus Experimenten ableiten, gilt

Die deduktiven Verfahren führen auf theoretischem Weg, ausgehend von bestehenden Theorien, zu neuen physikalischen Gesetzen oder Theorien. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von der **theoretischen Physik**.



REGELN FÜR DIE ARBEIT IN DER PHYSIK

Der Physiker ordnet, unabhängig von der angewandten Arbeitsmethode die natürlichen Abläufe nach dem Gesichtspunkt von Ursache und Wirkung. Dieses Ordnungsprinzip heißt **kausale Verknüpfung** oder auch **Kausalitätsprinzip**.

Solche Ordnungsprinzipien zu erstellen, setzt neben Intelligenz auch Neugierde, Fleiß und Beobachtungsgabe voraus. Bereits René **Descartes** (1596...1650) hat entsprechende untenstehende Regeln formuliert.

Jeder Handlung folgt ein Ereignis. Umgekehrt geht jedem Ereignis eine Ursache voraus. Beispiele: Beim Schlag eines Hammers (Ursache) erwärmt sich der getroffene Gegenstand (Wirkung). Der Finger schmerzt (Wirkung) weil wir ihn in der Tür eingeklemmt haben (Ursache). Dies sind Beispiele aus dem Bereich der klassischen Physik.

Jede Wirkung hat eine Ursache, und jeder Ursache folgt eine Wirkung.

Mit den Methoden der modernen Physik, und zwar der Relativitätstheorie, wurde nachgewiesen, dass sich die Wirkung höchstens mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten kann.

- Vermeide Übereilungen und vorgefasste Meinungen.
- Teile jede der einzelnen Schwierigkeiten in so viele Teile wie möglich. So müsste eine Lösung möglich sein.
- Halte nur das für wahr, was du wirklich eingesehen hast.
- Schreite vom Einfachsten, welches leicht einzusehen ist, zum Komplizierten.

TEILGEBIETE DER KLASSISCHEN PHYSIK

Aus Zweckmäßigkeitsgründen wird die **Klassische Physik** in verschiedene Gebiete unterteilt. Diese sind nebenstehend genannt.

- Mechanik der festen Körper
- Mechanik der Flüssigkeiten und Gase
- Wärmelehre
- Optik und Wellenlehre
- Elektrizitätslehre und Magnetismus

In der **modernen Physik** unterscheiden wir die **Quantentheorie** von der **Atom- und Kernphysik**.

PHYSIKALISCHE GRÖSSEN UND IHRE EINHEITEN

Weltweit gibt es eine Einigung auf gemeinsame Einheiten für physikalische Größen. Diese Einheiten werden in der Wissenschaft verwendet. Für die Größe „Länge einer Strecke“ gilt beispielsweise das Meter als Grundeinheit. Trotz dieser Einigung gibt es aber auch noch Einheiten wie Zoll, Inch, Meile oder Fuß (foot), die im Alltag und auch in der Industrie verwendet werden. Dies hat oft historische Gründe, um dennoch miteinander kommunizieren zu können, gibt es genaue Definitionen und Umrechnungszahlen.

Aus dem bisher Gesagten ist zu erkennen, dass physikalische Vorgänge und Begriffe eindeutig und mit großer Exaktheit definiert sein müssen. Solche Definitionen setzen aber voraus, dass die **physikalischen Vorgänge objektiv beurteilt** werden können. Dies ist z. B. im Bereich der Gefühle oder bei Zuständen wie Einsamkeit, Freude, Lust, Trauer oder Schönheit unmöglich, da wegen der individuellen Subjektivität keine Messbarkeit gegeben ist.

MESSBARKEIT UND BESTANDTEILE EINER PHYSIKALISCHEN GRÖSSE

Vorausgesetzt, dass es subjektive und objektive Zustände und Größen gibt, dann kann dies nur bedeuten, dass die Physik alleine nicht in der Lage ist, ein Gesamtbild der Natur, d. h. der gesamten Wirklichkeit, zu formulieren.

Die physikalischen Größen sind objektiv messbare Eigenschaften von Vorgängen, Zuständen oder Objekten.

Für die objektive Messung einer physikalischen Größe gibt es allgemein anerkannte Messverfahren. Die folgende Tabelle zeigt Beispiele, wie bestimmte Eigenschaften oder Zustände mithilfe einer physikalischen Größe beschrieben werden können:

VORGANG, ZUSTAND ODER OBJEKT	PHYSIKALISCHE GRÖSSEN
Länge einer Strecke	5 Meter, 57 Millimeter, 1362 Kilometer
Zeit für das Zurücklegen einer Strecke	3 Sekunden, 15 Stunden
Temperatur eines Körpers	37 Grad Celsius
Größe einer Masse	3,5 Kilogramm, 1221 Tonnen
Verschiedene elektrische Größen	230 Volt, 18 Kilowatt, 50 Hertz, 17 Kilowattstunden
Wärmemenge (Wärme, Wärmeenergie)	270 Kilojoule

Aus diesen Beispielen ist zu ersehen, dass die Messung einer physikalischen Größe nichts anderes ist als ein Vergleich der Vorgänge, Zustände oder Objekte mit einer vorher definierten **Einheit**. Solche **Einheitendefinitionen** wurden bereits an der Definition des Meters dargestellt. Dabei war auch der Unterschied zwischen der klassischen und der modernen Methode erkennbar. Eine solche Einheitendefinition wird auch als **Einheitennormal** bezeichnet.

Die Definition einer physikalischen Größe ist immer mit der Angabe eines Messverfahrens verbunden.

Eine Einheit ergibt sich aus einer Größendefinition, und die Messung einer physikalischen Größe ergibt sich aus dem Vergleich mit der Einheit.

Eine physikalische Größe besteht aus dem Produkt eines Zahlenwertes mit einer Einheit.

DAS SI-EINHEITENSYSTEM

Die Einheitendefinitionen sind vom Entwicklungsstand der Physik abhängig. Außerdem gehen Länder dieser Erde teilweise mit unterschiedlichen Einheitensystemen um. Dennoch gibt es ein **internationales Einheitensystem**, das **Système International d'Unités (SI)**. Diesen **SI-Einheiten** hat sich die Bundesrepublik Deutschland mit dem **Gesetz über die Einheiten im Messwesen** angeschlossen. Man unterscheidet in diesem System die **Basisgrößen** von den **abgeleiteten Größen**.

Die nebenstehende Tabelle enthält die **Basisgrößen** mit den zugehörigen **Basiseinheiten** (SI-Einheiten) und den **Einheitenkurzzeichen**. Alle abgeleiteten Größen lassen sich auf insgesamt **sieben Basisgrößen** zurückführen.

In den Definitionsgleichungen werden die Größen durch **Formelzeichen** und **Einheitenzeichen** ausgedrückt. Formelzeichen und Einheitenzeichen sind eindeutig zu unterscheiden. Die Unterscheidung im Druck erfolgt dadurch, dass Formelzeichen kursiv und Einheitenzeichen gerade gesetzt werden.

Die **abgeleiteten Größen** und deren Einheiten setzen sich aus den Basisgrößen und deren Einheiten zusammen. Sie stellen also sozusagen eine „Verknüpfung“ von Basiseinhei-

ten dar. Dies zeigen die folgenden Beispiele, die (ausnahmsweise und aus pädagogischen Gründen) einige Begriffe und Sachverhalte vorwegnehmen. Als Formelbuchstaben werden sowohl lateinische als auch griechische Groß- und Kleinbuchstaben verwendet. In Verbindung mit diesen Buchstaben werden zur Unterscheidung auch Indices und Exponenten gesetzt (z. B. F_1 oder α').

SI-BASISEINHEITEN NACH DIN 1301-1		
Basisgröße	Basiseinheit	Einheitenkurzzeichen
Länge	Meter	m
Masse	Kilogramm	kg
Zeit	Sekunde	s
Elektrische Stromstärke	Ampere	A
Thermodynamische Temperatur	Kelvin	K
Lichtstärke	Candela	cd
Stoffmenge	Mol	mol

BEISPIELE VON ABGELEITETEN PHYSIKALISCHEN GRÖSSEN

VERBALE DEFINITION DER PHYSIKALISCHEN GRÖSSE	DEFINITIONS-GLEICHUNG	EINHEITEN-VERKNÜPFUNG	ABGELEITETE EINHEIT
Geschwindigkeit = $\frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}}$	$v = \frac{s}{t}$	$[v] = \frac{[s]}{[t]} = \frac{m}{s}$	$\frac{m}{s}$
Beschleunigung = $\frac{\text{Geschwindigkeitsänderung}}{\text{Zeit}}$	$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$	$[a] = \frac{[v]}{[t]} = \frac{m}{s^2}$	$\frac{m}{s^2}$
Kraft = Masse · Beschleunigung	$F = m \cdot a$	$[F] = [m] \cdot [a] = kg \cdot \frac{m}{s^2}$	$\frac{kgm}{s^2} = N$

► Anmerkungen zum Beispiel

1. In der Definitionsgleichung der Beschleunigung wurde das Zeichen Δ (großes griechisches Delta) verwendet. Mit diesem Zeichen wird nach **DIN 1302** „Mathematische Zeichen“ eine Änderung oder Differenz bezeichnet.
2. Abgeleitete Einheit der Kraft: $1 \text{ kgm/s}^2 = 1 \text{ Newton} = 1 \text{ N}$
3. Die Schreibweise der Einheitenverknüpfung entspricht der **DIN 1313** „Physikalische Größen und Gleichungen“.

Aus den in der Tabelle gezeigten Beispielen ergibt sich die folgende Regel:

An die den Formelzeichen der Definitionsgleichung entsprechenden Stellen werden die Einheitenzeichen der jeweiligen physikalischen Größen gesetzt und mathematisch verknüpft. Das erzielte Ergebnis wird als **abgeleitete Einheit** der entsprechenden physikalischen Größe bezeichnet.

UMRECHNUNG ALTER EINHEITEN IN SI-EINHEITEN UND UMGEKEHRT

Im Einheitengesetz ist festgelegt, dass die alten, d.h. die bis zum Jahr 1970 üblichen Einheiten, nicht mehr verwendet werden dürfen. In der Praxis des Technikers werden diese aber noch für längere Zeit von Bedeutung sein. So ist es z. B. erforderlich, bei Anlagenumbauten die ursprünglichen Berechnungsunterlagen heranzuziehen. Dies bedeutet aber, dass alte Einheiten in SI-Einheiten umgerechnet werden müssen und umgekehrt auch SI-Einheiten in alte Einheiten.

So war z. B. früher als Krafteinheit das Kilopond gebräuchlich: **1 Kilopond = 1 kp = 9,80665 N \approx 9,81 N**

In England und den USA werden noch heute Einheiten verwendet, die nicht in das Dezimalsystem passen (z. B. **Zoll** oder **Grad Fahrenheit**). Das hat auch in der neben genannten Norm ihren Niederschlag gefunden. Noch deutlichere

Angaben als in der **DIN 1301**, die eine **Grundlagennorm** ist, findet man in **Fachnormen**. Eine solche ist z. B. die **DIN 1314** „Druck“. Dort findet man spezielle Angaben über die Umrechnung von Druckeinheiten.

Industriemeister haben oft internationale Kontakte und reisen ins englischsprachige Ausland. Im Flugverkehr wird die Flughöhe in Fuß angegeben und in den Nachrichten wird die Erdölfördermenge in Barrel angegeben. Nachfolgend gibt es eine Auswahl mit nützlichen Einheiten aus dem anglo-amerikanischen Bereich.

DIN 1301 „Einheiten“: Umrechnung für nicht mehr anzuwendende Einheiten.

EINHEIT	ANWENDUNGSBEISPIELE	UMRECHNUNG
inch (Zoll)	Rohre u. Gewinde, Längen	1 inch = 2,54 cm
foot (Fuß), pl.: feet	Flughöhe, Entfernung	1 foot = 30,48 cm
yard	Entfernung	1 yard = 0,9144 m
mile (Meile an Land)	Entfernung auf Straßenschildern	1 mile = 1 609,344 m
ounce (Unze)	Volumen (Masse weiter unten)	1 ounce (engl.) = 2,8413 cl; 1 ounce (am.) = 2,9574 cl
gallon (Gallone)	Benzinvolumen	1 gallon (engl.) = 4,5461 l; 1 gallon (am.) = 3,7854 l
petrol barrel (Ölbarrel)	Erdölförderung	1 barrel = 158,987294928 l
Fahrenheit	Temperaturangabe	$t \text{ }^\circ\text{C} = 5/9 (t \text{ in } ^\circ\text{F} - 32) \text{ }^\circ\text{C}; t \text{ }^\circ\text{F} = (9/5 t \text{ in } ^\circ\text{C} + 32) \text{ }^\circ\text{F}$
pound (Pfund)	Gewicht, Masse	1 pound = 453,59237 Gramm
ounce (Unze)	Masse (Volumen weiter oben)	1 ounce = 28,349523125 Gramm
stone	Masse, Körpergewicht	1 stone = 6350,293186 Gramm = ca. 6,35 kg

BEISPIEL

Laut statista.com wurden im Jahr 2016 in Deutschland pro Tag durchschnittlich rund 2,4 Millionen Barrel Öl verbraucht. Wie viel Liter sind das? Welcher pro-Kopf-Verbrauch ergibt sich, wenn man von einer Bevölkerungszahl von 80 Millionen Menschen ausgeht?

Lösung $2400000 \text{ Barrel} = 2400000 \text{ Barrel} \cdot 158,987294928 \frac{\text{Liter}}{\text{Barrel}} = 381569507,83 \text{ Liter}$
 pro-Kopf-Verbrauch = $\frac{381569507,83 \text{ Liter}}{80000000 \text{ Menschen}} = 4,77 \text{ Liter pro Kopf}$

AUFGABEN ZUR WIEDERHOLUNG

METHODEN DER PHYSIK

1. Nennen Sie einige Naturerscheinungen.
2. Worin unterscheiden sich Kinematik und Kinetik?
3. Nennen Sie Teilgebiete der Technischen Mechanik, die in folgenden Situationen zur Anwendung kommen:
 - a) Drei Kräfte greifen an einem in Ruhe befindlichen Mast an;
 - b) Ein Auto mit der Masse 800 kg beschleunigt von 0 auf 100 km/h in 7 Sekunden;
 - c) Ein Crashtest wird durchgeführt;
 - d) Bahnkurvenberechnung.
4. Wie kommt man bei deduktiven Verfahren zu neuen, physikalischen Erkenntnissen?
5. Verknüpfen Sie verschiedene Naturerscheinungen nach dem Kausalitätsprinzip.
6. In welchen physikalischen Bereichen versagen die Gesetze der klassischen Physik?
7. Definieren Sie mit einem Lexikon oder über das Internet das **Plank'sche Wirkungsquantum**.
8. Welche Aussage können Sie über die Wirkungsgröße bei den Abläufen innerhalb der klassischen Physik machen?
9. Welche maximale Wirkungsgeschwindigkeit wurde mit der Relativitätstheorie definiert?
10. Welcher Schritt geht im physikalischen Erkenntnisprozess der Induktion voraus?
11. Ermitteln Sie mit einem Lexikon oder über das Internet die Größe der Lichtgeschwindigkeit.
12. Wie lauten die Regeln von Descartes?

PHYSIKALISCHE GRÖSSEN UND IHRE EINHEITEN

13. Aus welchen „Bestandteilen“ besteht eine physikalische Größe?
14. Welche Voraussetzung muss gegeben sein, damit eine physikalische Größe eindeutig definiert werden kann?
15. Was versteht man unter einem „Einheitennormal“? Welche Aussage können Sie über die immer wieder veränderten Definitionen der Einheitennormale machen?
16. Warum ist es für einen Techniker unabdingbar, alte Einheiten in SI-Einheiten und umgekehrt umrechnen zu können?
17. Sehen Sie in einem Lexikon oder im Internet den Begriff „Internationale Meterkonvention“ nach.
18. Schreiben Sie fünf physikalische Größen aus Ihrer täglichen oder beruflichen Erfahrung auf.
19. Für die Dichte ρ ist das Verhältnis (Quotient) der Masse m in kg und das von der Masse eingenommene Volumen V definiert. Schreiben Sie unter Zuhilfenahme dieser verbalen Definition die Definitionsgleichung, die entsprechende Einheitenverknüpfung und die abgeleitete SI-Einheit für die Dichte auf.
20. Ermitteln Sie mithilfe eines Lexikons oder über das Internet bzw. auch mit einem Fachbuch für Elektrizitätslehre die Definitionsgleichung für die elektrische Ladung (Elektrizitätsmenge). Bestimmen Sie daraus durch Einheitenverknüpfung die abgeleitete SI-Einheit für die Ladung, die man nach dem französischen Physiker Charles **Coulomb** (1736...1806) auch als Coulomb (Einheitenzeichen C) bezeichnet.
21. In der Technik werden manchmal „Zahlenwertgleichungen“ verwendet. Darin ist ein Faktor so bestimmt, dass er dem Anwender der Gleichung die Umrechnung in SI-Basiseinheiten und eventuell weitere Umrechnungen abnimmt. Der Anwender muss nur die gegebenen Zahlenwerte einsetzen und erhält das Ergebnis in einer vorgegebenen Einheit.

Anwendung: Für einen Motor wird die Leistung $P = 5$ kW und die Drehzahl $n = 1000$ 1/min angegeben. Das Drehmoment M soll in Nm berechnet werden. Hierzu gibt es folgende Zahlenwertgleichung:

$$M = 9550 \cdot \frac{P}{n} \quad \text{Drehmoment } M \text{ in Nm; Leistung } P \text{ in kW; Drehzahl } n \text{ in 1/min}$$

- a) Berechnen Sie das Drehmoment M in Nm.
- b) In welchen Einheiten müsste man P und n angeben, wenn man Sie mit SI-Basiseinheiten darstellt?
22. Eine Werkshalle in Florida hat eine Fläche von 5382 square-foot (Quadratfuß). Die Außentemperatur beträgt dort zur Zeit 86° Fahrenheit.
Rechnen Sie die Fläche in m^2 und die Temperatur in $^\circ\text{C}$ um.
23. Warum ist das Meter über die Lichtgeschwindigkeit definiert?

MECHANIK DER FESTEN KÖRPER | KINEMATIK

GLEICHFÖRMIGE GERADLINIGE BEWEGUNG

In der Industrie gibt es viele Vorgänge, die mit gleichbleibender Geschwindigkeit auf gerader Strecke ablaufen, z. B.

- ein Drehmeißel im Vorschub oder Eilgang,
- ein Greifer eines Roboters, der sich direkt vom Punkt A zum Punkt B bewegt,
- ein Portalkran, der sich längs einer Werkshalle bewegt,
- das Stückgut auf einem Förderband.

Um Wege, Zeiten oder Geschwindigkeiten zu bestimmen, werden die folgenden Kenntnisse benötigt.

BEGRIFF GESCHWINDIGKEIT

Bei der **Dynamik**, dem Teilgebiet der Mechanik, das die Bewegungsvorgänge von Körpern auf den Einfluss von Kräften zurückführt und die Beziehungen zwischen den **Beschleunigungen** und den sie verursachenden Kräften aufstellt, unterscheiden wir zwei **Bewegungskriterien**:

ZEITLICHE BEWEGUNGSKRITERIEN

BEISPIEL

Konstante Geschwindigkeit (gleichförmige Bewegung) oder sich zeitlich verändernde Geschwindigkeit (Beschleunigung oder Verzögerung).

RÄUMLICHE BEWEGUNGSKRITERIEN

BEISPIEL

Bewegungsrichtung ist konstant (geradlinig) oder sich zeitlich veränderliche Bewegungsrichtung (z. B. kreisförmig).

Die zeitlichen und räumlichen Bewegungskriterien können in beliebiger Kombination in Erscheinung treten, so z. B. die **gleichförmige geradlinige Bewegung**, die einfachste Bewegungsart eines Körpers.

Bei einer gleichförmigen geradlinigen Bewegung bewegt sich ein Körper mit konstanter Geschwindigkeit auf einer geraden Bewegungsbahn.

Dies bedeutet, dass der Körper in beliebig großen, aber gleichen Zeitintervallen Δt stets gleich große Weglängen Δs zurücklegt. Die dabei vorhandene **Geschwindigkeit** v ist als Quotient aus Wegintervall Δs und dem Zeitintervall Δt definiert.

Unter der Geschwindigkeit v wird der Quotient aus der vom Körper zurückgelegten Wegstrecke Δs und der dafür benötigten Zeitspanne Δt verstanden.

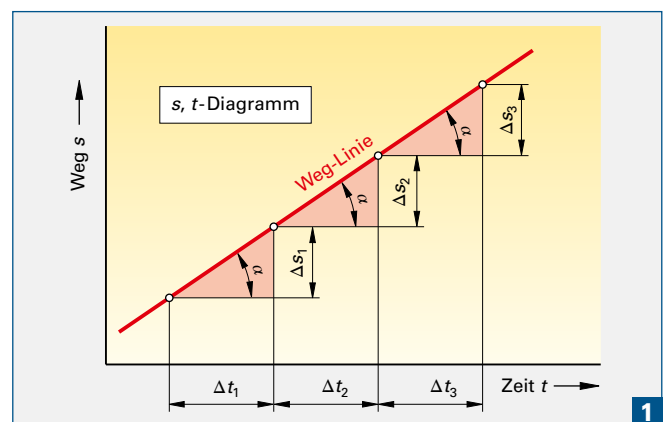
Die abgeleitete Einheit der Geschwindigkeit ist der Meter durch die Sekunde.

Natürlich sind auch alle anderen Quotienten aus gesetzlichen Wegeinheiten und gesetzlichen Zeiteinheiten abgeleitete Einheiten der Geschwindigkeit. Im täglichen Gebrauch und in der Technik sind außer m/s vor allem noch m/min und km/h gebräuchlich. Diese verschiedenen Einheiten können leicht umgerechnet werden, was die folgende Aufgabe zeigt.

GESCHWINDIGKEIT

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

$$[v] = \frac{[\Delta s]}{[\Delta t]} = \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



Weg-Zeit-Diagramm

BEISPIEL

Ein Körper wird bei konstanter Geschwindigkeit in 10 s 100 m fortbewegt. Wie groß ist seine Geschwindigkeit a) in m/s, b) in km/h?

Lösung a) $v = \frac{s}{t} = \frac{100 \text{ m}}{10 \text{ s}} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ b) $10 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = 36000 \frac{\text{m}}{\text{h}} = \frac{36000 \frac{\text{m}}{\text{h}}}{1000 \frac{\text{m}}{\text{km}}} = 36 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

Lösung b) zeigt, bei der Umrechnung von m/s in km/h wird mit der Zahl 3,6 multipliziert. Umgekehrt, beim Umrechnen von km/h in m/s, wird durch die Zahl 3,6 geteilt.

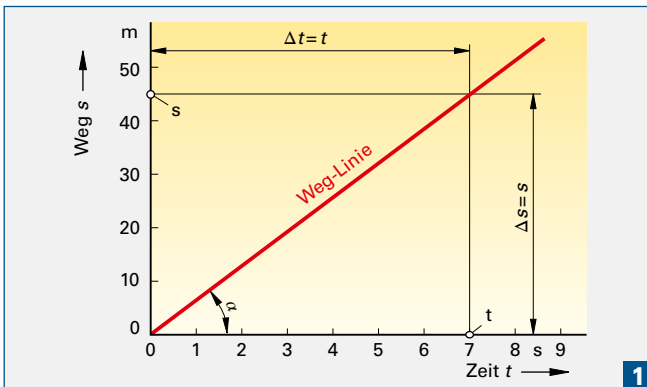
Üblicherweise werden voneinander unabhängige Größen, z. B. Weg s und Zeit t , zum Veranschaulichen in ein rechtwinkliges Koordinatensystem eingetragen und durch einen Linienzug miteinander verbunden.

Eine solche Darstellung heißt **Diagramm** und Bild 1, Seite 13 zeigt die diagrammatische Darstellung einer gleichförmigen geradlinigen Bewegung. Entsprechend der Definition der Geschwindigkeit gilt untenstehende Gleichung.

$$v = \frac{\Delta s_1}{\Delta t_1} = \frac{\Delta s_2}{\Delta t_2} = \frac{\Delta s_3}{\Delta t_3} \dots$$

s. Bild 1, Seite 13

Das Diagramm heißt **Weg, Zeit-Diagramm** oder kurz **s, t -Diagramm**. Die Diagrammlinie heißt **Weg-Linie**.

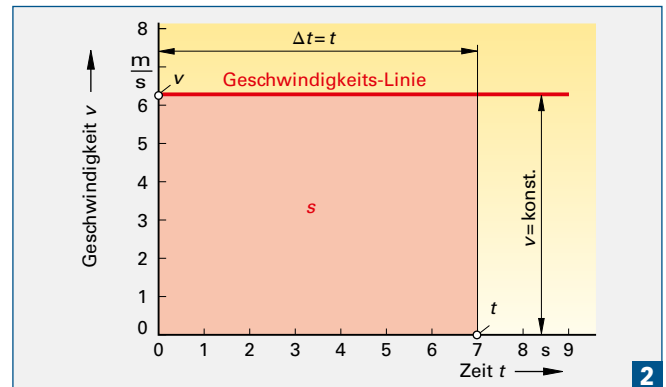


s, t -Diagramm

► **Anmerkung:** In Diagrammen wird immer zuerst die senkrechte Koordinatenachse (Ordinate) genannt.

Außer im Weg, Zeit-Diagramm (s, t -Diagramm) können Bewegungen noch im **Geschwindigkeits-, Zeit-Diagramm** (v, t -Diagramm) und im **Beschleunigungs-, Zeit-Diagramm** (a, t -Diagramm) dargestellt werden. Letzteres hat aber bei der gleichförmigen Bewegung keine Bedeutung. Diese grafischen Darstellungen vermitteln einen optischen Eindruck der Bewegung und sind deshalb auch bei der Herleitung von Bewegungsgleichungen sehr nützlich, wie dies z. B. die nachfolgenden Gleichungen zeigen.

Die Definitionsgleichungen können auf alle in ihnen enthaltenen Größen umgestellt werden. So lässt sich z. B. die Geschwindigkeitsgleichung auf den Weg s und die Zeit t umstellen. Dies wird im Folgenden gezeigt und in den entsprechenden Diagrammen dargestellt:



v, t -Diagramm

Es ist $\Delta t = t$ und $\Delta s = s$.

Somit gilt für das **Weg-Zeit-Gesetz**

$$v = \frac{s}{t}$$

v = Geschwindigkeit in m/s
 s = Weg in m
 t = Zeit in s

Damit gilt auch: $s = v \cdot t$ und $t = \frac{s}{v}$

Der zurückgelegte Weg nimmt bei gleichförmiger Bewegung mit fortlaufender Zeit pro Zeitintervall Δt um jeweils die gleiche Strecke Δs zu (Bild 1). Die Fläche unter der Geschwindigkeits-Linie ist ein Maß für den vom Körper zurückgelegten Weg s (Bild 2).

BEISPIEL 1

Der Fräsweg an einem Werkstück beträgt $l = 1120$ mm. Für Anlauf l_a und Überlauf $l_{\bar{u}}$ werden je 50 mm gerechnet. Die Fräszeit beträgt 3,75 min. Berechnen Sie

- den vom Fräsmaschinentisch bei einem Arbeitsgang zurückgelegten Weg,
- die Vorschubgeschwindigkeit des Fräsmaschinentisches in mm/min.

Lösung a) $s = l + l_a + l_{\bar{u}} = 1120 \text{ mm} + 50 \text{ mm} + 50 \text{ mm} = 1220 \text{ mm}$

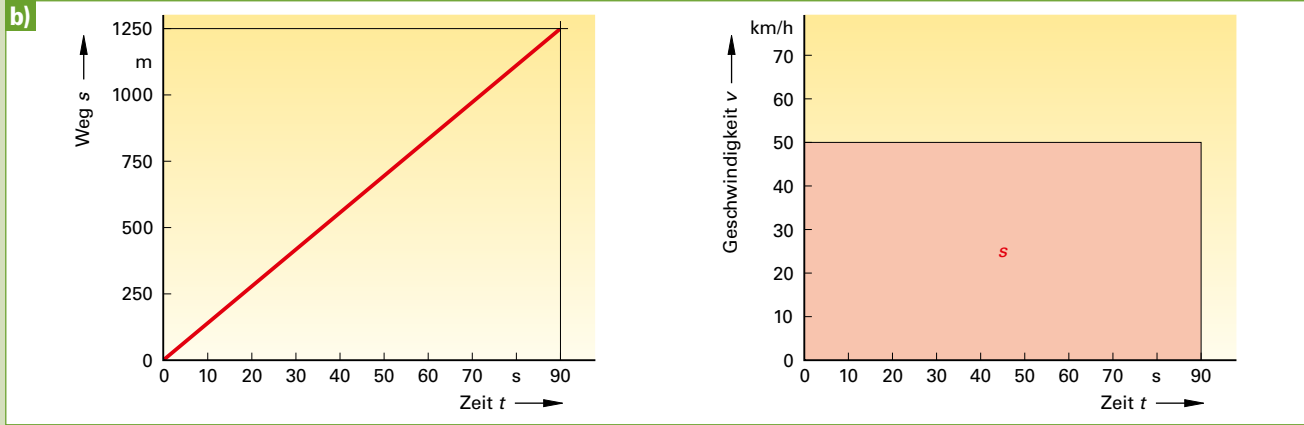
$$b) v = \frac{s}{t} = \frac{1220 \text{ mm}}{3,75 \text{ min}} = 325,33 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

BEISPIEL 2

Die zulässige Höchstgeschwindigkeit beträgt im Ortsverkehr 50 km/h.

- a) Welche kürzeste Fahrzeit ist für eine Strecke von 1250 m gestattet?
- b) Zeichnen Sie den Bewegungsvorgang im s, t -Diagramm und im v, t -Diagramm.

Lösung a) $v = \frac{s}{t} \quad t = \frac{s}{v} = \frac{1,25 \text{ km}}{50 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = 0,025 \text{ h} = 0,025 \text{ h} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = 90 \text{ s}$

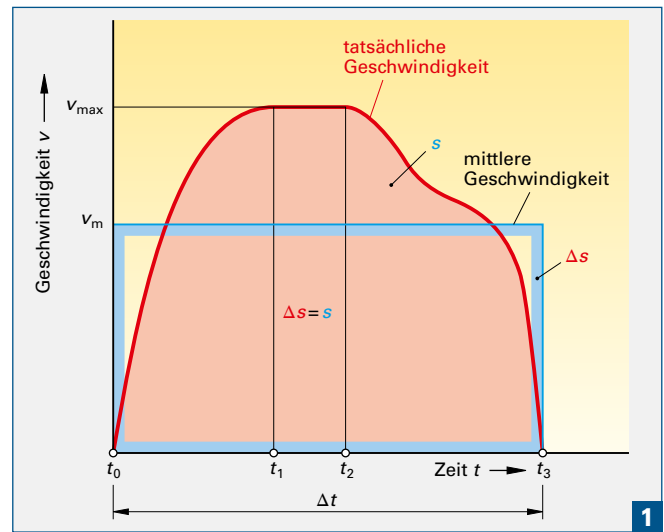


MOMENTAN- UND DURCHSCHNITTSGESCHWINDIGKEIT

Bei der bisherigen Definition der Geschwindigkeit wurde von der gleichförmigen Bewegung ausgegangen. Dies ist die einfachste Art aller vorstellbaren Bewegungen. Dennoch ist sie in Natur und Technik nur selten anzutreffen.

Bild 1 zeigt z.B. das v, t -Diagramm einer S-Bahn zwischen zwei Stationen. Es ist zu erkennen, dass während der gesamten Fahrzeit $\Delta t = t_3 - t_0$ beinahe zu jedem einzelnen Zeitpunkt eine andere tatsächliche Geschwindigkeit vorgelegen hat. Dies bedeutet, dass eine **ungleichförmige Bewegung** gegeben ist. Die zu einem bestimmten Zeitmoment vorliegende tatsächliche Geschwindigkeit wird auch als **Momentangeschwindigkeit** bezeichnet, während der Quotient aus tatsächlich zurückgelegtem Weg Δs und der dafür erforderlichen Zeitspanne Δt **Durchschnittsgeschwindigkeit** bzw. **mittlere Geschwindigkeit** v_m heißt. Entsprechend Bild 1 gilt:

Die Fläche unterhalb der Geschwindigkeitslinie entspricht dem zurückgelegten Weg s .



Momentan- und Durchschnittsgeschwindigkeit

Dies bedeutet Flächengleichheit in Bild 1, d.h. Fläche $\Delta s =$ Fläche s .

Für die **Durchschnittsgeschwindigkeit** (mittlere Geschwindigkeit) folgt

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad \text{in } \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

In praktischen Rechnungen setzt man dabei $\Delta s = s =$ zurückgelegter Weg und $\Delta t = t =$ dafür benötigte Zeit.

BEISPIEL

Entlang einer 1,5 km langen Straße in einer Tempo-30-Zone gibt es 5 Rechts-vor-links-Straßen. Ein Auto durchfährt diese Straße in 4 Minuten. Welche Durchschnittsgeschwindigkeit hatte das Auto in m/s und km/h?

Lösung $v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{1500 \text{ m}}{240 \text{ s}} = 6,25 \frac{\text{m}}{\text{s}}; \quad 6,25 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 22,5 \text{ km/h}$

UNGLEICHFÖRMIGE GERADLINIGE BEWEGUNG

Bei der ungleichförmigen Bewegung ändert sich die Geschwindigkeit des Körpers während des Bewegungszeitraumes, der Körper wird beschleunigt oder verzögert.

Man versteht unter der Beschleunigung a bzw. der Verzögerung $-a$ (negative Beschleunigung) den Quotienten aus der Geschwindigkeitsänderung Δv und dem zugehörigen Zeitintervall Δt .

BESCHLEUNIGUNG

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$[a] = \frac{[\Delta v]}{[\Delta t]} = \frac{\frac{\text{m}}{\text{s}}}{\text{s}} = \frac{\text{m}}{\text{s} \cdot \text{s}} = \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \frac{\text{m}}{\text{s} \cdot \text{s}} = \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Im Einheitengesetz ist festgelegt:
Die abgeleitete Einheit der Beschleunigung ist das Meter durch Sekundenquadrat.

■ Gleichmäßig beschleunigte geradlinige Bewegungen

UNGLEICHFÖRMIGE BEWEGUNG (v ist nicht konstant)

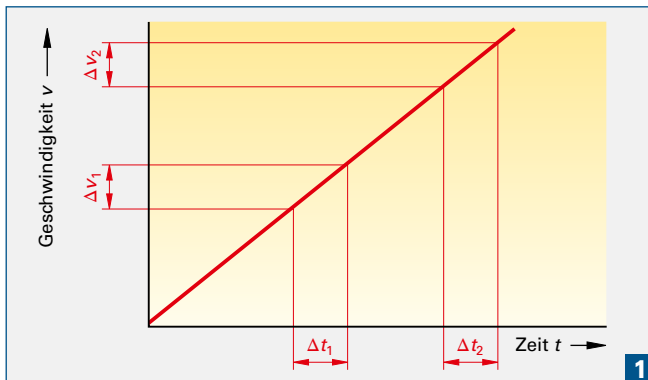
ungleichmäßig beschleunigt
(a ist nicht konstant, wird hier nicht weiter behandelt)

gleichmäßig beschleunigt
(a ist konstant, kann häufig angenommen werden)

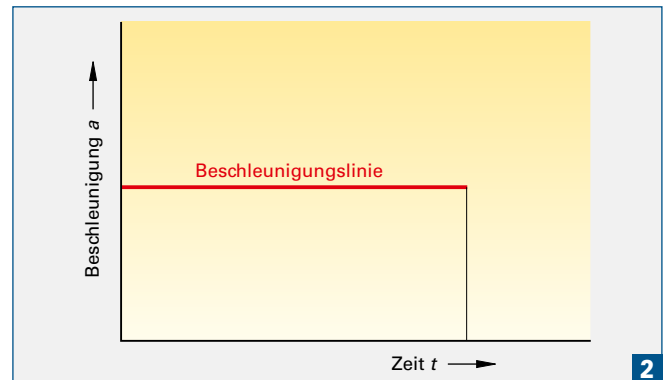
ohne Anfangsgeschwindigkeit

mit Anfangsgeschwindigkeit

Nachfolgend wird zuerst der Fall „gleichmäßig beschleunigt, ohne Anfangsgeschwindigkeit“ betrachtet.



v , t -Diagramm



a , t -Diagramm

In Technik und Natur kann in vielen Fällen von konstanter Beschleunigung ausgegangen werden. Bild 1 zeigt eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung, d.h. die Geschwindigkeit nimmt in gleichen Zeitabschnitten um den gleichen Betrag zu. Aus Bild 2 ergibt sich:

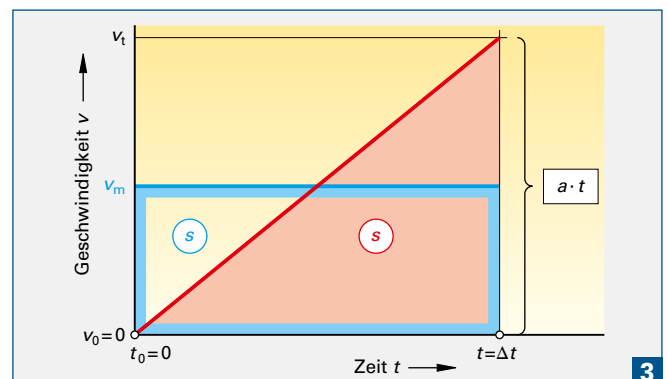
Bei einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung ist die Beschleunigung zeitlich konstant.

Bild 3 zeigt nochmals das v , t -Diagramm einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung. Es ist

- v_0 = Geschwindigkeit zur Zeit $t = 0$
- v = Geschwindigkeit zur Zeit $t = \Delta t$
- $t = \Delta t$ = Beschleunigungszeit
- v_m = mittlere Geschwindigkeit

Mit diesen Daten ist

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t - t_0} = \frac{v - 0}{t - 0} = \frac{v}{t}$$



v , t -Diagramm

GESCHWINDIGKEIT-ZEIT-GESETZ

$$v = a \cdot t$$

v = Geschwindigkeit in m/s
 a = Beschleunigung in m/s²
 t = Zeit in s

Damit gilt auch: $a = \frac{v}{t}$ und $t = \frac{v}{a}$

Bild 3, Seite 16 zeigt, dass sich die zurückgelegte Strecke bei einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung im v, t -Diagramm als Dreieck abbildet. Dieses Dreieck kann in ein flächengleiches Rechteck (blau umrandet) zerlegt werden. Dabei ist die Höhe des Rechteckes die **mittlere Geschwindigkeit** v_m . Der Weg kann somit sehr einfach, d.h. mit den Mitteln der Geometrie, berechnet werden:

Dreiecksfläche $s = \frac{v_t \cdot t}{2}$ = oder

Rechteckfläche $s = v_m \cdot t = \frac{v_t}{2} \cdot t = \frac{v_t \cdot t}{2}$ $v = v_t$

Setzt man in diese Gleichungen $v = a \cdot t$ ein, dann erhält man für den zurückgelegten Weg

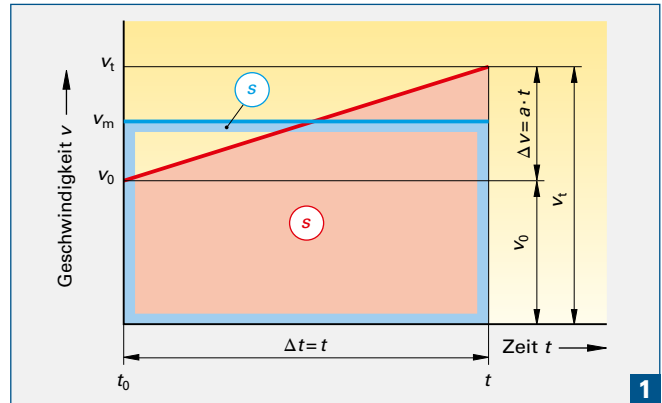
$$s = \frac{v_t}{2} \cdot t = \frac{a \cdot t \cdot t}{2} = \frac{a}{2} \cdot t^2$$

Somit: zurückgelegter Weg $s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$ in m.

Das in Bild 1 dargestellte v, t -Diagramm zeigt, wie ein Körper mit der **Anfangsgeschwindigkeit** $v_0 \neq 0$ in der **Zeitspanne** Δt auf die **Endgeschwindigkeit** v gleichmäßig beschleunigt wird. Man erkennt:

Endgeschwindigkeit $v_t = v_0 + a \cdot t$

Die **Geschwindigkeitszunahme** ergibt sich also – analog der Beschleunigung aus der Ruhe $\Delta v = a \cdot t$



v, t -Diagramm ($v_0 \neq 0$)

Auch hier ist es möglich, mit geometrischen Überlegungen den Weg s zu ermitteln, der in der Zeitspanne Δt zurückgelegt wird.

Entweder ist s die Fläche des blauen Rechtecks:

Weg $s = \frac{v_0 + v}{2} \cdot t = v_m \cdot t$

oder

s ist die Fläche des rot eingefärbten Trapezes

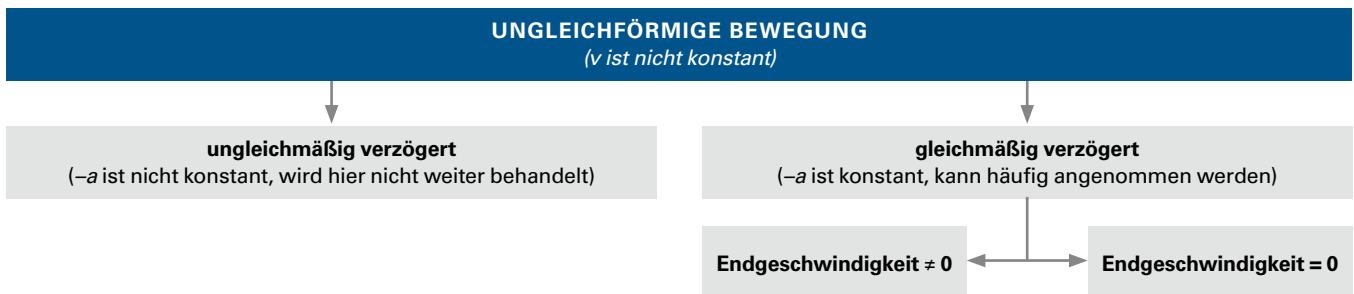
Weg s = Rechteckfläche + Dreiecksfläche

Weg $s = v_m \cdot t + \frac{t \cdot (a \cdot t)}{2}$ und somit auch:

Weg $s = v_0 \cdot t + \frac{a}{2} \cdot t^2$ in m.

GLEICHMÄSSIG VERZÖGERTE GERADLINIGE BEWEGUNG

Es ist bereits bekannt, dass eine **Geschwindigkeitsabnahme** pro Zeitintervall als **Verzögerung** bezeichnet wird. Analog der beschleunigten Bewegung unterscheidet man die **ungleichmäßig verzögerte Bewegung** von der **gleichmäßig verzögerten Bewegung**. In jedem Fall ist es bei einer Verzögerung so, dass die Anfangsgeschwindigkeit v_0 größer als die Endgeschwindigkeit v_t ist und v_t ist Null, wenn die Bewegung eines Körpers mit dem Stillstand endet. Die folgenden Möglichkeiten sind somit bei $v_0 > v_t$ denkbar:



Die gleichmäßig verzögerte Bewegung kommt angenähert in der Natur und Technik häufig vor. Dabei wird die Verzögerung oft als negative Beschleunigung bezeichnet.

Die Verzögerung ist der Beschleunigung entgegen gerichtet. Sie ist aber analog zur Beschleunigung definiert.

VERZÖGERUNG

$$-a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_0 - v_t}{t}$$

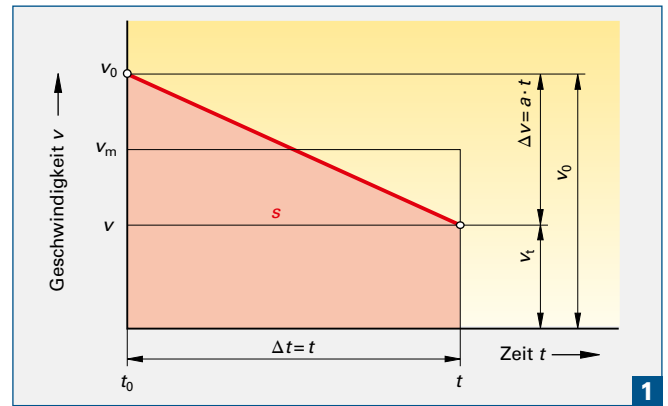
Bild 1 zeigt eine solche gleichmäßig verzögerte Bewegung, bei der $v_t \neq 0$ ist. Bei gleicher Handhabung der geometrischen Gegebenheiten der Beschleunigung ergeben sich daraus die folgenden Gleichungen

$$\text{Endgeschwindigkeit } v_t = v_0 - a \cdot t$$

$$\text{Weg } s = v_0 \cdot t - \frac{a}{2} \cdot t^2 \quad \text{oder}$$

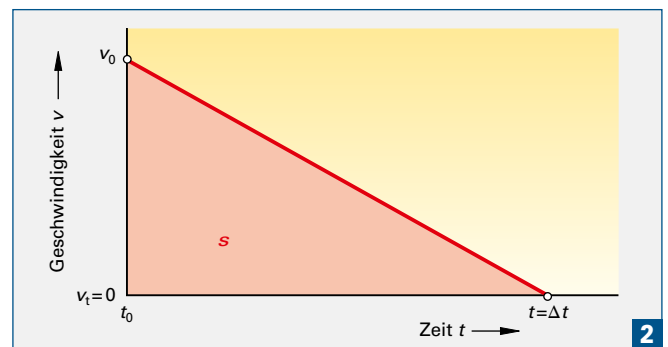
$$s = v_t \cdot t + \frac{a}{2} \cdot t^2 \quad \text{oder}$$

$$s = v_m \cdot t = \frac{v_0 + v_t}{2} \cdot t$$



v, t -Diagramm ($v_0 > v_t$)

Endet der Bewegungsablauf mit dem Stillstand, dann ist in die zuvor genannten Gleichungen für $v = 0$ einzusetzen. Das entsprechende v, t -Diagramm ist in Bild 2 dargestellt.



v, t -Diagramm ($v = 0$)

FALLBESCHLEUNIGUNG, FREIER FALL UND SENKRECHTER WURF NACH OBEN

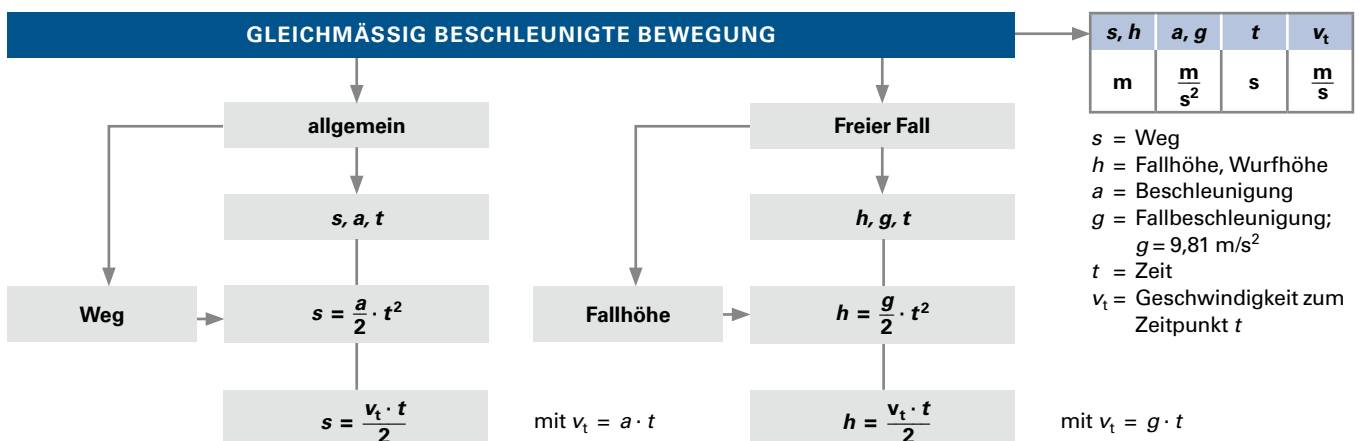
Beim **freien Fall** handelt es sich um eine **gleichmäßig beschleunigte Bewegung**. Die zugehörige Beschleunigung wird als **Fallbeschleunigung** bezeichnet. Diese ist eine Naturvariable, die geringfügig vom jeweiligen Ort auf der Erde abhängig ist. Sie hat den Formelbuchstaben g erhalten und bewegt sich – ortsabhängig – zwischen $9,78 \text{ m/s}^2$ (Äquator) und $9,83 \text{ m/s}^2$ (Nord- und Südpol).

Üblicherweise gilt für die Breitengrade in Deutschland der Wert $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Als **Normfallbeschleunigung** ist der Wert $g_n = 9,80665 \text{ m/s}^2$ definiert.

Der **senkrechte Wurf nach oben** ist exakt die Umkehrung des freien Falls. Es handelt sich also um eine gleichmäßig verzögerte Bewegung ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$). Die Gesetze des Freien Falls und die des senkrechten Wurfes nach oben heißen **Fallgesetze** und gelten streng genommen nur im luftleeren Raum, dem **Vakuum**.

Das folgende Schema zeigt die Zusammenhänge zwischen dem allgemeinen Fall der gleichmäßigen Beschleunigung bzw. Verzögerung und dem speziellen Fall der erdbezogenen Bewegung (freier Fall und senkrechter Wurf nach oben)



BEISPIEL

Bei der Montage einer Flussbrücke werden mithilfe einer Großramme Pfeiler in das Flussbett getrieben. Das Schlaggewicht der Ramme wird in regelmäßiger Folge durch das Zünden eines Kraftstoff-Luft-Gemisches angehoben. Die Abhebegeschwindigkeit (Anfangsgeschwindigkeit v_0) des Gewichts beträgt 10 m/s.

- Welche Höhe erreicht es?
- Wie groß ist die Endgeschwindigkeit beim anschließenden freien Fall?

Lösung a) Aus den Vorbetrachtungen sind zwei Gleichungen für die Unbekannten h und t bekannt. Die zweite Gleichung wird nach t umgestellt, dann quadriert und t^2 in die erste Gleichung eingesetzt:

$$h = \frac{g}{2} \cdot t^2 \quad (1)$$

$$v = g \cdot t \rightarrow t = \frac{v}{g} \rightarrow t^2 = \frac{v^2}{g^2} \quad (2)$$

(2) in (1) eingesetzt ergibt:

$$h = \frac{g}{2} \cdot \frac{v^2}{g^2} = \frac{v^2}{2 \cdot g} = \frac{(10 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 5,097 \text{ m}$$

$$\text{b) } h = \frac{v^2}{2 \cdot g} \rightarrow v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 5,097 \text{ m}} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

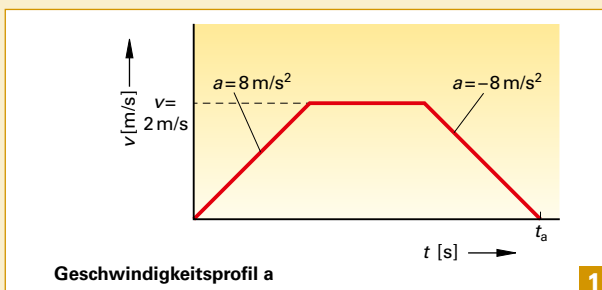
AUFGABEN ZUR WIEDERHOLUNG

- Ein Schnellzug fährt um 16.30 Uhr ab und kommt um 23.10 Uhr am Zielbahnhof an. Welche Durchschnittsgeschwindigkeit wird bei einer 578 km langen Strecke erreicht?
- Welchen Vorteil bietet die zeichnerische Darstellung von Bewegungsvorgängen?
- Die Strömungsgeschwindigkeit einer Flüssigkeit durch eine Rohrleitung beträgt 1,5 m/s. Welche Zeit ist für das Durchströmen einer 100 m langen Rohrleitung erforderlich?
- Ein Radarimpuls Erde – Mond hat eine Laufzeit von $t = 2,56$ s. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit dieser elektromagnetischen Welle ist $c = 300\,000$ km/s. Wie groß ist die Entfernung Erde – Mond?
- Die Schallgeschwindigkeit in der Luft beträgt $v = 333$ m/s. Welche Entfernung hat ein Gewitter, wenn es 6 s nach dem Blitz zu hören ist?
- Geben Sie die Schallgeschwindigkeit in der Luft in km/h an.
- Auf einem Förderband für Kohle liegen pro Meter Bandlänge 36 kg Kohle. Welche Bandgeschwindigkeit in m/min ist erforderlich, wenn in der Stunde eine Kohlenmasse von 100 Tonnen ($1 \text{ t} = 1000 \text{ kg}$) befördert werden soll?
- Ein Drehmeißel legt beim Drehen im Vorschub eine Strecke von 50 mm in 10 Sekunden zurück. Wie groß ist die Vorschubgeschwindigkeit in mm/min und in m/min?
 - Die Vorschubgeschwindigkeit wird um 10% verringert. Zudem ist die Vorschubstrecke um 10 mm kürzer. Wie viele Sekunden dauert das Drehen des kürzeren Absatzes mit der neuen Vorschubgeschwindigkeit?
- Erläutern Sie den Begriff „Beschleunigung“.
- Ein Auto beschleunigt in 11,5 s aus dem Stillstand auf 100 km/h. Wie groß ist die Beschleunigung?
- Auf einer schrägen Gleitbahn für die Beschickung eines Schmelzofens wird das Schmelzmaterial mit $a = 1,8 \text{ m/s}^2$ auf einer Strecke $s = 2,6$ m beschleunigt.
 - Wie groß ist die Gleitzeit?
 - Wie groß ist die Endgeschwindigkeit?
- Welche Geschwindigkeit in km/h hat ein Auto, wenn es in 10 s mit $a = 1,5 \text{ m/s}^2$ aus dem Stillstand beschleunigt? Welchen Weg hat es dabei nach 5 s und nach 10 s zurückgelegt? Zeichnen Sie das s, t -Diagramm und das v, t -Diagramm.
- Für welche Verhältnisse gelten exakt die Gesetze des freien Falls?
- Ein Auto bremst mit einer Verzögerung von $a = 1,5 \text{ m/s}^2$. Wie groß ist der Bremsweg, damit es von 100 km/h zum Stillstand kommt und wie groß ist der Bremsweg, damit es von 50 km/h zum Stillstand kommt?
- Ein Werkstück wird aus einer Maschine mit $v_0 = 3$ m/s ausgestoßen und auf einer Strecke von $s = 2$ m auf $v = 0$ abgebremst. Berechnen Sie die Verzögerungszeit.
- Ein Auto fährt zuerst 10 s mit 40 km/h und beschleunigt dann mit $a = 2,5 \text{ m/s}^2$ von 40 km/h auf 100 km/h.
 - Wie groß ist die Beschleunigungszeit?
 - Wie groß ist der während der Beschleunigung zurückgelegte Weg?
 - Zeichnen Sie zum gesamten Vorgang das v, t -Diagramm.
 - Berechnen Sie den Weg für den gesamten Vorgang.

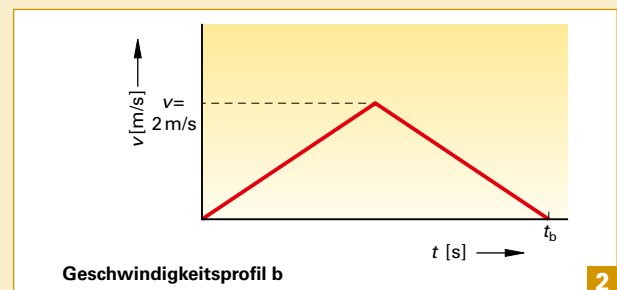
17. Die Geschwindigkeit eines Autos wird mit einer Beschleunigung $a = 2,5 \text{ m/s}^2$ von 40 km/h auf 100 km/h erhöht.
- Welche Zeit ist dafür erforderlich?
 - Wie groß ist der während der Beschleunigung zurückgelegte Weg s ?
18. Ein Werkstück fällt bei einer Maschinenbeschickung $0,3 \text{ m}$ frei herab. Berechnen Sie
- die Fallzeit,
 - die Endgeschwindigkeit.
19. Wie groß ist die Fallhöhe, wenn der Aufschlag eines Gegenstandes nach 8 s erfolgt?
- Schallgeschwindigkeit vernachlässigen
 - Schallgeschwindigkeit berücksichtigen ($v_s = 330 \text{ m/s}$).

AUFGABEN ZUR PRÜFUNGSVORBEREITUNG

- Der Tisch einer Fräsmaschine soll aus der Ruhestellung heraus im Eilgang mit 30 m/min fahren. Dies geschieht nicht ruckartig, sondern er wird innerhalb $0,05 \text{ s}$ von 0 m/min auf 30 m/min gebracht.
 - Wie groß ist die Beschleunigung?
 - Wie groß ist der zurückgelegte Weg während der Beschleunigung?
 - Der Tisch fährt nach der Beschleunigung 3 Sekunden im Eilgang. Welchen Weg hat er in dieser Zeit zurückgelegt?
- Ein Bus fährt mit 80 km/h im Regen auf der Autobahn. Plötzlich sieht der Fahrer 50 m vor ihm das Ende eines Staus. Auf der nassen Betonfahrbahn kann er eine Verzögerung von $7,0 \text{ m/s}^2$ erreichen. Die Reaktionszeit beträgt $0,5 \text{ s}$.
 - Kommt der Bus noch rechtzeitig vor dem Stauende zum stehen?
 - Stellen Sie den gesamten Vorgang in einem v, t -Diagramm dar.
- In einem Versuch soll der Greifer eines Roboters eine gerade Strecke von 2 m zurücklegen. Die maximale Fahrgeschwindigkeit ist auf 2 m/s eingestellt. Die Strecke wird nun nacheinander nach den folgenden beiden Geschwindigkeitsprofilen durchfahren.



Geschwindigkeitsprofil a



Geschwindigkeitsprofil b

Bestimmen Sie die Zeiten t_a und t_b , die zum Durchfahren der 2 m Strecke benötigt werden.

- Ein Extremsportler springt aus einer Ballonkapsel in 39000 m Höhe. Die folgenden Berechnungen sollen den Luftwiderstand und die Veränderlichkeit von g in großer Höhe vernachlässigen.
 - Nach welcher Zeit und nach welcher Strecke erreicht er die Fallgeschwindigkeit von 1358 km/h ?
 - Der Extremsportler befindet sich insgesamt 4 Minuten und 20 Sekunden im freien Fall. Dabei legt er 36453 m zurück. Welche Durchschnittsgeschwindigkeit in km/h wird erreicht?
- Ein Zug, der mit 100 km/h fährt, soll vollständig abgebremst werden. Erfahrungsgemäß ist eine Bremsverzögerung von $1,4 \text{ m/s}^2$ möglich. Während der ersten 5 Sekunden darf nur mit der halben Bremsverzögerung gerechnet werden, weil die Bremszylinder aufgrund der Pneumatik erst langsam greifen. Nach den ersten 5 Sekunden darf dann mit der vollen Bremsverzögerung bis zum Stillstand gerechnet werden.
 - Skizzieren Sie den gesamten Vorgang in einem v, t -Diagramm.
 - Nach welcher Zeit kommt der Zug vollständig zum Stehen?
 - Wie groß ist der gesamte Anhalteweg?
- Ein Autofahrer macht auf einer Betonfahrbahn eine Vollbremsung und hinterlässt eine 20 Meter lange Bremsspur. Bei trockener Betonfahrbahn kann er eine Verzögerung von $7,5 \text{ m/s}^2$ erreichen.
 - Wie groß war die Anfangsgeschwindigkeit des Autofahrers?
 - Wie lange hat es gedauert, bis er den Bremsweg zurückgelegt hat?
 - Wie lang war der gesamte Anhalteweg, wenn der Autofahrer eine Reaktionszeit von $0,5 \text{ s}$ hatte?