

DUDEN

BASISWISSEN
SCHULE



PHYSIK

Abitur

Duden

BASISWISSEN SCHULE

PHYSIK

ABITUR

5., überarbeitete und aktualisierte Auflage

Dudenverlag
Berlin

Herausgeber

Prof. Dr. habil. Lothar Meyer, Dr. Gerd-Dietrich Schmidt

Autoren

Prof. Detlef Hoche, Dr. Josef Küblbeck, Prof. Dr. habil. Lothar Meyer,
Dr. Rainer Reichwald, Dr. Gerd-Dietrich Schmidt, Prof. Dr. habil. Oliver Schwarz,
Dr. Christian Spitz

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

Das Wort **Duden** und der Reihentitel **Basiswissen Schule** sind für den Verlag Bibliographisches Institut GmbH als Marke geschützt.

Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Für die Inhalte der im Buch genannten URLs, deren Verknüpfungen zu anderen Internetangeboten und Änderungen der Internetadresse übernimmt der Verlag keine Verantwortung und macht sich diese Inhalte nicht zu eigen. Ein Anspruch auf Nennung besteht nicht.

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, nicht gestattet.

© Duden 2020

D C B A

Bibliographisches Institut GmbH, Mecklenburgische Straße 53, 14197 Berlin

Redaktionelle Leitung

David Harvie

Redaktion

Claudia Fahlbusch, Dr. Angelika Fallert-Müller,
Michael Venhoff

Herstellung

Uwe Pahnke

Layout

Britta Scharffenberg

Umschlaggestaltung

Büroecco, Augsburg

Satz

LemmeDESIGN, Berlin

Druck und Bindung

mediaprint solutions GmbH, 33100 Paderborn

Printed in Germany

ISBN 978-3-411-71755-2



PEFC zertifiziert

Dieses Produkt stammt aus nachhaltig
bewirtschafteten Wäldern und kontrollierten
Quellen.

www.pefc.de

Inhaltsverzeichnis

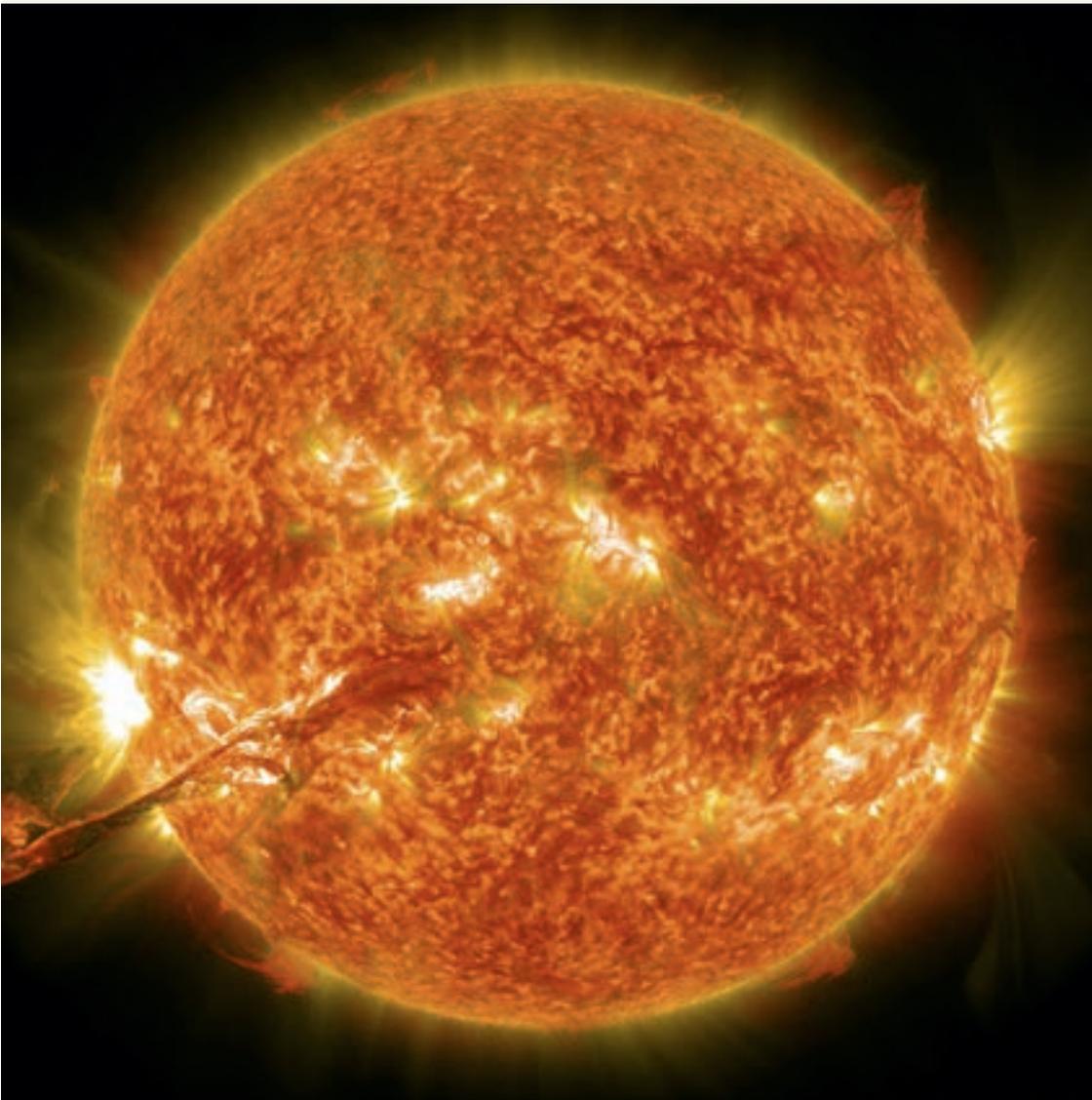
1	Die Physik – eine Naturwissenschaft	7	
1.1	Die Entwicklung der Physik als Wissenschaft	8	
1.2	Denk- und Arbeitsweisen in der Physik	15	
1.2.1	Begriffe und Größen in der Physik	15	
1.2.2	Gesetze, Modelle und Theorien in der Physik	19	
1.2.3	Das Erkennen physikalischer Gesetze	23	
1.2.4	Experimente in der Physik	28	
1.2.5	Tätigkeiten in der Physik	32	
1.2.6	Lösen physikalisch-mathematischer Aufgaben	39	
1.2.7	Fehler bei physikalischen Messungen	44	
2	Mechanik	49	
2.1	Eigenschaften von Körpern und Stoffen	50	
2.1.1	Volumen, Masse und Dichte	50	
2.1.2	Teilchenanzahl, Stoffmenge und Aufbau der Stoffe	51	■ Überblick 56
2.2	Kinematik	57	
2.2.1	Beschreibung von Bewegungen	57	
2.2.2	Gleichförmige geradlinige Bewegungen	62	
2.2.3	Gleichförmige Kreisbewegungen	63	
2.2.4	Gleichmäßig beschleunigte geradlinige Bewegungen	65	
2.2.5	Der freie Fall	67	
2.2.6	Überlagerung von Bewegungen	68	■ Überblick 72
2.3	Dynamik	73	
2.3.1	Kräfte und ihre Wirkungen	73	
2.3.2	Die newtonschen Gesetze	78	
2.3.3	Arten von Kräften	82	■ Überblick 86
2.4	Energie, mechanische Arbeit und Leistung	87	
2.4.1	Energie und Energieerhaltung	87	
2.4.2	Die mechanische Arbeit	91	
2.4.3	Die mechanische Leistung	94	
2.4.4	Der Wirkungsgrad	95	■ Überblick 96
2.5	Mechanik starrer Körper	97	
2.5.1	Statik starrer Körper	97	
2.5.2	Kinematik rotierender starrer Körper	99	
2.5.3	Dynamik rotierender starrer Körper	102	■ Überblick 106
2.6	Impuls und Drehimpuls von Körpern	107	
2.6.1	Kraftstoß, Impuls und Impulserhaltungssatz	107	
2.6.2	Unelastische und elastische Stöße	114	
2.6.3	Der Drehimpuls und seine Erhaltung	118	■ Überblick 120
2.7	Gravitation	121	
2.7.1	Das Gravitationsgesetz	121	
2.7.2	Gravitationsfelder	125	■ Überblick 132
2.8	Mechanische Schwingungen und Wellen	133	
2.8.1	Entstehung und Beschreibung mechanischer Schwingungen	133	
2.8.2	Überlagerung von Schwingungen	142	
2.8.3	Entstehung und Beschreibung mechanischer Wellen	143	
2.8.4	Ausbreitung und Eigenschaften mechanischer Wellen	147	
2.8.5	Akustik	152	
2.8.6	Chaotische Vorgänge	154	■ Überblick 158

	3	Thermodynamik	159
	3.1	Betrachtungsweisen und Modelle in der Thermodynamik	160
	3.1.1	Die phänomenologische Betrachtungsweise	160
	3.1.2	Die kinetisch-statistische Betrachtungsweise	161
	3.2	Thermisches Verhalten von Körpern und Stoffen	163
	3.2.1	Temperatur, innere Energie und Wärme.	163
	3.2.2	Wärmeübertragung	166
	3.2.3	Volumen- und Längenänderung von Körpern	170
	3.2.4	Aggregatzustände und ihre Änderungen.	172
	3.2.5	Die Gasgesetze	175
	3.3	Kinetische Theorie der Wärme	180
	3.3.1	Der atomare Aufbau der Stoffe.	180
	3.3.2	Kinetische Gastheorie	183
	3.4	Hauptsätze der Thermodynamik	193
	3.4.1	Der 1. Hauptsatz der Thermodynamik.	193
	3.4.2	Kreisprozesse	204
	3.4.3	Der 2. und 3. Hauptsatz der Thermodynamik.	211
	3.5	Temperaturstrahlung und Strahlungsgesetze	218
	4	Elektrizitätslehre und Magnetismus	223
	4.1	Elektrische Felder	224
	4.1.1	Elektrische Ladungen	224
	4.1.2	Elektrische Felder	230
■	Überblick	Geladene Teilchen in elektrischen Feldern	242
	4.2	Magnetische Felder	246
	4.2.1	Magnetische Felder von Dauer- und Elektromagneten	246
	4.2.2	Beschreibung magnetischer Felder durch Feldgrößen	249
■	Überblick	Geladene Teilchen und Stoffe in magnetischen Feldern	252
	4.3	Elektromagnetische Induktion	260
	4.3.1	Grundlagen der elektromagnetischen Induktion	260
	4.3.2	Das Induktionsgesetz	264
	4.3.3	Lenzsches Gesetz und Selbstinduktion	266
	4.3.4	Generatoren	270
■	Überblick	4.3.5 Transformatoren	272
	4.4	Gleichstromkreis und Wechselstromkreis	276
	4.4.1	Der Gleichstromkreis	276
	4.4.2	Der Wechselstromkreis	281
	4.4.3	Ohmsche, induktive und kapazitive Widerstände	284
■	Überblick	4.4.4 Zusammenwirken von Widerständen im Wechselstromkreis	288
	4.5	Elektrische Leitungsvorgänge	293
	4.5.1	Elektrische Leitungsvorgänge in Metallen	293
	4.5.2	Elektrische Leitungsvorgänge in Flüssigkeiten	298
	4.5.3	Elektrische Leitungsvorgänge in Gasen	299
	4.5.4	Elektrische Leitungsvorgänge im Vakuum	301
	4.5.5	Elektrische Leitungsvorgänge in Halbleitern	302
■	Überblick	4.5.6 Analoge und digitale Signalverarbeitung	310
	4.6	Elektromagnetische Schwingungen und Wellen	314
	4.6.1	Elektromagnetische Felder	314
	4.6.2	Elektromagnetische Schwingungen	318
	4.6.3	Hertzsche Wellen	322
■	Überblick	4.6.4 Das Spektrum elektromagnetischer Wellen	330

5	Optik	333	
5.1	Modelle für das Licht	334	
5.1.1	Das Modell Lichtstrahl	334	
5.1.2	Das Modell Lichtwelle	335	
5.2	Ausbreitung von Licht und Wechselwirkung mit Stoffen	336	
5.2.1	Die Lichtgeschwindigkeit	336	
5.2.2	Reflexion und Brechung von Licht	337	
5.2.3	Streuung und Absorption von Licht	346	■ Überblick 347
5.3	Bilder und optische Geräte	348	
5.3.1	Bildentstehung an Spiegeln und Linsen	348	
5.3.2	Optische Geräte	356	■ Überblick 359
5.4	Beugung und Interferenz von Licht	360	
5.5	Polarisation von Licht	371	
5.6	Licht und Farben	375	
5.6.1	Spektren und Spektralanalyse	375	
5.6.2	Mischung von Farben	377	■ Überblick 380
6	Quantenphysik	381	
6.1	Quanteneffekte bei elektromagnetischer Strahlung	382	
6.1.1	Der äußere lichtelektrische Effekt	382	
6.1.2	Energie, Masse und Impuls von Photonen	386	
6.1.3	Röntgenstrahlung	388	
6.2	Interferenz von Quantenobjekten	396	
6.3	Komplementarität und Unbestimmtheit	402	
6.3.1	Komplementarität bei Doppelspalt-Experimenten	402	■ Überblick 411, 412
6.3.2	Unbestimmtheit von Ort und Impuls	407	
7	Atom- und Kernphysik	413	
7.1	Physik der Atomhülle	414	
7.1.1	Grundexperimente der Atomphysik	414	
7.1.2	Atommodelle	417	
7.1.3	Die Energieniveaus der Atomhülle im physikalischen Experiment	427	
7.1.4	Spontane und induzierte Emission	429	■ Überblick 431
7.2	Physik des Atomkerns	432	
7.2.1	Atomkerne, Radioaktivität und Kernstrahlung	432	
7.2.2	Kernmodelle	445	
7.2.3	Kernenergie	448	
7.2.4	Elementarteilchen	451	■ Überblick 456
8	Spezielle Relativitätstheorie	457	
8.1	Von der klassischen Physik zur Relativitätstheorie	458	
8.1.1	Die klassischen Vorstellungen von Raum und Zeit	458	
8.1.2	Inertialsysteme und das galileische Relativitätsprinzip	459	
8.1.3	Das Michelson-Morley-Experiment	462	
8.2	Grundaussagen der speziellen Relativitätstheorie	464	
8.3	Relativistische Kinematik	466	
8.4	Relativistische Dynamik	473	
8.5	Hinweise zur allgemeinen Relativitätstheorie	478	■ Überblick 480
A	Anhang	481	

Die Physik –
eine Naturwissenschaft

1



1.1 Die Entwicklung der Physik als Wissenschaft



Die Geschichte der Wissenschaft Physik reicht zurück bis in die griechische Antike. Bereits vor der Antike haben die Menschen allerdings Erfahrungen und Erkenntnisse gesammelt und systematisiert, deren wissenschaftliche Aufarbeitung und Weiterentwicklung heute in die Wissenschaft Physik einzuordnen ist. So kannten die Menschen in Ägypten zum Beispiel bereits im dritten Jahrtausend vor unserer Zeitrechnung Geräte zum Messen von Entfernungen und Zeiten, wie Sonnen-, Wasser- und Sanduhren, Volumen-, Gewichts- und Längenmaße, sowie kraftumformende Einrichtungen, wie Rollen, Walzen, Hebel und Räder. Die Men-

schen begannen, die Gestirne und ihren Lauf zu beobachten sowie den Jahres- und Tagesablauf nach periodischen Bewegungen der Sonne und des Mondes einzuteilen. Etwa 2000 Jahre vor unserer Zeitrechnung entstand in Babylon bereits ein Verzeichnis von Sternbildern und Fixsternen. Die zahlreichen Einzelkenntnisse gewannen die Menschen mehr durch unmittelbare und zufällige Erfahrungen mit der Natur als durch systematisches und zielstrebiges Erforschen von Naturerscheinungen. Mit diesem Einzelwissen gaben sich die Gelehrten der Antike nicht mehr zufrieden. Sie suchten nach den tiefsten Geheimnissen der Natur, nach den „Urstoffen“ und „Urkräften“, aus denen die ganze Welt aufgebaut ist und die überall wirken. Sie wollten eine einheitliche und systematische Wissenschaft betreiben und ganze Weltbilder erschaffen.

Eine Blüte erlebten die Naturwissenschaften im antiken Griechenland vom 6. Jahrhundert vor unserer Zeitrechnung an. Als einer der Ersten versuchte **THALES VON MILET** (um 624 bis um 546 v. Chr.) alle Erscheinungen auf ein gemeinsames Prinzip zurückzuführen. Wasser sollte der Urstoff für alle Körper sein. Außerdem führte er alle Erscheinungen auf zwei Urkräfte zurück: das Zusammenziehen und das Ausdehnen.

PYTHAGORAS (um 560 bis um 480 v. Chr.) war Mathematiker und Philosoph und gründete eine ganze Schule mit Gelehrten, die Pythagoräer. Sie sahen in den mathematischen Beziehungen die Verbindungen zwischen den Gegenständen der Wirklichkeit. Die Pythagoräer gelangten zu beachtlichen mathematischen Erkenntnissen. **PYTHAGORAS** experimentierte außerdem mit einer gespannten Saite – einem **Monochord** – und fand mathematische Zusammenhänge zwischen der Länge der schwingenden Saite und der Tonhöhe.

Dabei ist beachtenswert, dass die Pythagoräer auf ähnliche Weise zu Erkenntnissen gelangten, wie dies erst wieder zu Zeiten von **GALILEI** im

► Die griechischen Gelehrten der Antike gingen davon aus, dass viele Erscheinungen in der Natur nicht von Göttern, sondern von der Natur selbst verursacht sind und dass sich der Mensch diese Naturerscheinungen nutzbar machen kann.

► In Griechenland hatten sich mächtige Stadtstaaten herausgebildet, die ihren Reichtum vor allem der Arbeit von Sklaven verdankten. Die freien Bürger hatten Zeit und Muße, sich mit Wissenschaft, Medizin, Geschichte und Kunst zu beschäftigen.

17. Jahrhundert üblich wurde, nämlich durch Beobachtung von Einzelerscheinungen, vor allem im Experiment, und deren Verallgemeinerung.

Einer der größten Gelehrten der Antike war **ARISTOTELES** (384–322 v. Chr., Bild rechts). Er beschäftigte sich mit fast allen Gebieten der Wissenschaft seiner Zeit und brachte sie in ein umfassendes System. Seine Werke wurden ins Lateinische übersetzt und von der Kirche und vielen Wissenschaftlern bis ins Mittelalter als unumstößlich betrachtet. Er prägte die Begriffe „**Physik**“ und „**Botanik**“. Besonderen Einfluss auf die Naturwissenschaften seiner Zeit und der Jahrhunderte danach hatten seine Ansichten zu Raum, Zeit, den Bewegungen und dem Leeren (Vakuum). **ARISTOTELES** beschäftigte sich auch mit dem Aufbau der Erde und des Weltalls. In seiner Physik nahm er eine Trennung zwischen Himmel und Erde vor. Himmelskörper und himmlische Bewegungen (Kreisbewegungen) waren gleichbleibend. Die Bewegungen auf der Erde teilte er in natürliche und erzwungene Bewegungen ein.

Ein großer Gelehrter seiner Zeit war **ARCHIMEDES** (um 287–212 v. Chr.). Er verband die Physik mit der Mathematik und der Technik. Physikalische Gesetze wurden bereits mathematisch formuliert und zum Bau von technischen Geräten und Maschinen genutzt. Er formulierte Gesetze für den Hebel, den Auftrieb, die Dichte und Teilbereiche der Optik, baute ein Planetarium und erfand etwa 40 Maschinen, darunter Kräne, die endlose Schraube und den Flaschenzug. Besonders bemerkenswert ist die Tatsache, dass physikalische Erkenntnisse bewusst zur Lösung von praktischen Problemen genutzt wurden. Mit **ARCHIMEDES** und seinen Zeitgenossen erlebten die Mathematik und Physik der Antike ihren Höhepunkt. Zu dieser Zeit begannen sich erstmals Teilgebiete der Physik herauszubilden.

Eine Zusammenfassung der bisherigen Erkenntnisse der astronomischen Forschung nahm **CLAUDIUS PTOLEMÄUS** (um 100 bis um 170 n. Chr.) vor. Er sah die Erde im Mittelpunkt der Welt, um die sich alle Himmelskörper bewegten. So formte er das **geozentrische Weltbild**. Sein Buch wurde 827 ins Arabische und später ins Lateinische übersetzt. Das geozentrische Weltbild war – auch durch die Unterstützung der Kirche – bis ins Mittelalter bestimmend. Im ersten Jahrhundert unserer Zeitrechnung übernahm das römische Kaiserreich die führende Stellung in der Welt. In der römischen Antike wurden zwar die wissenschaftlichen Leistungen der griechischen Gelehrten bewahrt und angewendet, jedoch kaum weiterentwickelt. Eine Weiterentwicklung der Physik gab es danach vor allem in der arabischen Welt durch die Völker des Islam.

Die Physik als Naturwissenschaft bildete sich in der griechischen Antike heraus, war aber in dieser Zeit insgesamt eher eine Naturphilosophie. Die Physik beschrieb die Natur in erster Linie, wie sie sich unmittelbar und augenscheinlich darbot. Vereinzelt wurden jedoch auch bereits Experimente durchgeführt. Insbesondere durch **ARCHIMEDES** kam es zu einer ersten Verbindung von Mathematik und Physik sowie zu einer bewussten technischen Nutzung von physikalischen Erkenntnissen.



► Das Wort **Physik** kommt vom griechischen Wort *physis* und bedeutet Natur. Der Begriff Physik umfasste damit ursprünglich das gesamte Naturgeschehen und war die umfassende Wissenschaft von der Natur. Die Wissenschaftler nannten sich Physiker oder Physiologen.



► **CLAUDIUS PTOLEMÄUS** stellte sein Weltbild in dem Werk „*Syntaxis mathematicae*“ (Mathematische Zusammenstellung), arabisch auch *Al-magest* genannt, vor.

► Das Wort *Renaissance* kommt aus dem Lateinischen und bedeutet Wiedergeburt. Es sollte damit das Besinnen auf die Erkenntnisse und Leistungen der Antike zum Ausdruck gebracht werden.

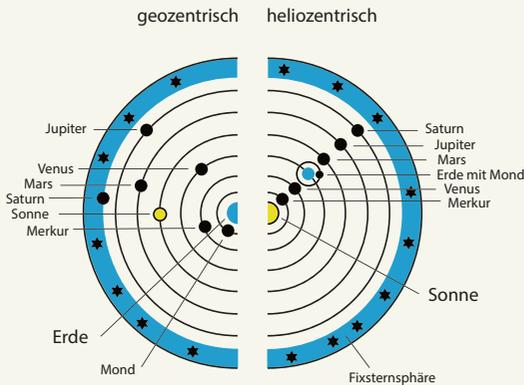
Neues Interesse an der Entwicklung der Physik kam im Frühkapitalismus, insbesondere durch das Interesse der Handwerker und des Bürgertums an praktischen Erkenntnissen, auf. Auch die großen geografischen Entdeckungen im 15. und 16. Jahrhundert und die Hochseeschifffahrt brachten neue Anforderungen an die Kartografie, Astronomie, Zeitmessung und den Kalender. Zunächst kam es in der **Renaissance** zu einer Wiederentdeckung und Aneignung der Kultur und der Wissenschaften der Antike. **LEONARDO DA VINCI** (1452–1519) war ein typischer Vertreter dieser Zeit. Neben seinen Leistungen als Maler war er vor allem als Naturforscher und Techniker erfolgreich. Die Verbindung von Wissenschaft und Praxis war für ihn von großer Bedeutung, wollte er doch praktische Probleme lösen. Er konstruierte und baute Geräte und Maschinen. Das Bild zeigt einige Beispiele von Originalzeichnungen. Eine systematische Weiterentwicklung der Naturwissenschaft betrieb er nicht.



► **GALILEO GALILEI** war einer der bedeutendsten Naturwissenschaftler des späten Mittelalters.

Zu einer solch gravierenden Weiterentwicklung der Physik kam es erst im 16. Jahrhundert durch **GALILEO GALILEI** (1564–1642) und **JOHANNES KEPLER** (1571–1630) sowie später durch **ISAAC NEWTON** (1643–1727). Diese Weiterentwicklung ging einher mit der Überwindung des geozentrischen Weltbildes des **PTOLEMÄUS** durch die Erkenntnisse von **NIKOLAUS KOPERNIKUS** (1473–1543) sowie **GALILEI**, **KEPLER** und **NEWTON**. Das in der Antike bereits vorhandene **heliocentrische Weltbild**, in dem die Sonne im Zentrum unseres Planetensystems steht, wurde wiederbelebt und von **NIKOLAUS KOPERNIKUS** in einem geschlossenen System dargestellt.

Von besonderer Bedeutung für seine Weiterentwicklung und Verbreitung waren die Arbeiten von **JOHANNES KEPLER** und **GALILEO GALILEI**. **JOHANNES KEPLER** fand die heute nach ihm benannten drei Gesetze der Planetenbewegung (keplersche Gesetze). **GALILEI** entdeckte u.a. das Trägheitsgesetz und die Gesetze für gleichmäßig beschleunigte Bewegungen. Beide überwandten die Trennung von himmlischer und irdischer Physik und fanden Gesetze, nach denen sich sowohl himmlische Körper (die Planeten) als auch Körper auf der Erde bewegen.



► Das **heliozentrische Weltbild** unterschied sich grundsätzlich vom **geozentrischen Weltbild** durch die zentrale Stellung der Sonne. Die Skizze zeigt beide Weltbilder stark vereinfacht.

GALILEO GALILEI führte auch neue Denk- und Arbeitsweisen in die Wissenschaft Physik ein. So wollte er nicht nur die Erscheinungen in der Natur beschreiben, sondern fragte nach dem Wesentlichen in diesen Erscheinungen. Von besonderer Bedeutung war, dass GALILEI versuchte, sowohl der Mathematik als auch dem Experiment einen neuen gewichtigen Stellenwert in der Physik einzuräumen. Das **Experiment** als eine **zielgerichtete Frage an die Natur** bekam eine zentrale Stellung im Erkenntnisprozess und die Physik wurde zu einer Experimentalwissenschaft. Mithilfe der Mathematik konnten physikalische Gesetze exakter erfasst werden und gleichzeitig besser in Experimenten und zur Lösung praktischer Probleme genutzt werden. Damit erhielt auch die Praxis durch GALILEI wieder einen neuen Stellenwert in der Wissenschaft Physik.



Das Experiment als eine zielgerichtete Frage an die Natur bekam eine zentrale Stellung im Erkenntnisprozess und die Physik wurde zu einer Experimentalwissenschaft. Mithilfe der Mathematik konnten physikalische Gesetze exakter erfasst werden und gleichzeitig besser in Experimenten und zur Lösung praktischer Probleme genutzt werden. Damit erhielt auch die Praxis durch GALILEI wieder einen neuen Stellenwert in der Wissenschaft Physik.

Eine vorläufige Vollendung erfuhr die klassische Mechanik im 17. bzw. 18. Jahrhundert vor allem durch ISAAC NEWTON (1643–1727). NEWTON griff die Erkenntnisse von GALILEI, KEPLER und anderen Wissenschaftlern zu mechanischen Bewegungen auf und formulierte mithilfe der Mathematik die allgemeinen Bewegungsgesetze für beliebige Körper in Raum und Zeit.

Darüber hinaus entdeckte er die Gravitation als universelle Wechselwirkung zwischen Körpern, die die Bewegung von Himmelskörpern bestimmt. Ferner wandte er die Bewegungsgesetze für Körper auf der Erde auch für Bewegungen von Himmelskörpern an und überwand damit die Unterscheidung zwischen einer Physik des Himmels und einer der Erde. Seine Erkenntnisse stellte NEWTON in einem geschlossenen System von Axiomen (Gesetzen) dar, das als Theorie bezeichnet werden kann. Die **newtonsche Mechanik** war somit die erste Teildisziplin der Physik, die

► Nicht nur durch das **Experiment**, sondern auch durch die Nutzung des Fernrohres als Beobachtungsinstrument zur Erforschung des Himmels zeigte **GALILEI** die Verbindung von Theorie und Praxis. Er fand mit dem Fernrohr vier Jupitermonde (galileische Monde).

► **NEWTON** legte seine Mechanik in dem Werk „*Mathematische Prinzipien der Naturlehre*“ (*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*) dar, das 1687 in drei Teilen erschien.

- Störstellenleitung 303, 304
 Stoß 114 ff.
 Stoßionisation 300
 Strahlenbelastung 440, 441
 – durchschnittliche 440
 – natürliche 440
 Strahlenoptik 334
 Strahlenschäden 440
 Strahlenschutz 391
 Strahler
 – schwarzer 219
 Strahltriebwerke 204
 Strahlung
 – elektromagnetische 395
 – kosmische 330
 – radioaktive 435
 Strahlungsdruck 387
 Strahlungsenergie 89
 Strahlungsgesetz 164, 219, 222
 – kirchhoffsches 219, 222
 – plancksches 222
 – von Stefan und Boltzmann 219
 Strahlungsgleichgewicht 222
 Strahlungsgürtel 256
 Strahlungspyrometer 218
 STRASSMANN, FRITZ 448
 Streuung 150, 347
 Streuversuche 415, 452
 Stromstärke 226, 254, 284
 – Definition 226
 – elektrische 276
 – mittlere 283
 Stromverbundnetz 274
 STRUTT, JOHN WILLIAM 346
 subtraktive Farbmischung 378
 Südpol 247
 Superposition 68, 149
 Superpositionsprinzip 18, 68, 235
 Supraleitung 296
 Swing-by-Manöver 131
 Symbolschreibweise 433
 Synchrotronstrahlung 324
 Synchrozyklotron 256
 Synonyme 16
 System 87, 160, 161, 216
 – abgeschlossenes 110
 – chaotisches 155
 – thermodynamisches 160
 Systemgrenze 87
 Szintigrafie 444
 Szintillationszähler 439
- T**
- Tachometer 60
 Teilchen 15, 480
 Teilchenanzahl 51, 161, 192
 Teilchenanzahldichte 183
 Teilchenbeschleuniger 256, 297,
 324, 442, 474
 Teilchenbewegung 189
 Teilchengröße 162, 192
 Teilchenmodell 21, 53, 161, 398
 Teilchenzoo 451
 Teilkräfte 76
 Temperatur 17, 161, 163, 167,
 179, 189, 207
 – absolute 163
 – Temperatenausgleich 215
 – Temperaturmessung 164, 167
 – Temperaturskala
 – absolute 163
 – Temperaturstrahlung 222
 TESLA, NICOLA 249
 Thermistor 304
 Thermodiffusion 53, 303
 Thermodynamik 160, 193
 thermodynamisches System 160
 thermodynamische Wahrscheinlichkeit 213
 thermodynamische Zustandsgröße 163
 Thermoelement 164
 Thermofarben 164
 Thermografie 218
 Thermometer 164
 – elektronisches 164
 thomsonsche Schwingungsgleichung 319, 332
 THOMSON, WILLIAM 163, 257,
 320
 Tiefpass 289
 TOLMAN, RICHARD CHALE 294
 Tolman-Versuch 294
 Tongenerator 321
 Tonhöhe 152
 Totalreflexion 341, 347
 TOWNES, CHARLES T. 430
 Trägheit 78, 473
 Trägheitsgesetz 78, 86
 Trägheitskraft 84, 85
 Trägheitsmoment 102, 103
 Transformator 263, 267, 272, 273
 – belasteter 272
 – unbelasteter 272
 Transistor 308, 309, 313, 321
 – bipolarer 307
 – unipolarer 309
 Transistoreffekt 302, 307, 308
 Translation 101
 Transuran 442
 Transversalwelle 144, 151, 371
- Treibhauseffekt
 – anthropogener 220
 – natürlicher 220
 Tröpfchenmodell 445
- U**
- Überlaufmethode 50
 Übersichtigkeit 356
 Uhrenparadoxon 468
 Ultraschall 152, 153
 Ultraschalldiagnostik 153
 Umkehrprismen 343
 Unabhängigkeitsprinzip 68
 Unbestimmtheit 407, 410
 – objektive 402
 Unbestimmtheitsrelation 402,
 407
 Unschärferelation 407
 UVV-Regel 253
- V**
- Vakuumlichtgeschwindigkeit 14,
 464
 Valenzband 296
 vektorielle Größe 18, 59, 74, 107,
 109, 118
 Verbrennungswärme 166
 Verdampfungswärme 174
 Verdunstung 174
 Verdunstungskälte 174
 Verformung
 – elastische 74
 – plastische 74
 Vergrößerung 357
 Verschiebung
 – dielektrische 234
 – elektrische 234
 Verschiebungsgesetz
 – wiensches 221
 Verstärker 309
 Versuch von Stern 184
 Verteilung
 – räumliche 161
 Verwendungswert 212
 Viertakt-Verbrennungsmotor 206
 Voltmeter 278
 Volumen 17, 50, 56, 161
 – konstantes 199
 Volumenarbeit 93, 197
 Vorgänge
 – irreversible 211, 213
 – reversible 211
 – umkehrbare 211

W

Waage 50, 56
 waagerechter Wurf 243
 wahrer Wert 44
 Wahrscheinlichkeit 213, 400, 401
 – thermodynamische 213
 wahrscheinlichste Geschwindigkeit 184
 WANKEL, FELIX 209
 Wankelmotor 209
 Wärme 16, 161, 165, 166, 179, 193, 195, 197, 199
 Wärmeäquivalent
 – mechanisches 195, 196
 Wärmeaustausch 167, 168
 – Grundgesetz 167
 Wärmefluss 218
 Wärmekapazität 168, 169
 – spezifische 166
 Wärmekraftmaschinen 217
 Wärmelehre 160
 – Grundgleichung 166, 179
 Wärmeleitung 166
 Wärmemenge 16
 Wärmepumpe 207, 208
 Wärmequelle 166
 Wärmestrahlung 166, 218
 Wärmeströmung 166
 Wärmethorem 216
 Wärmetod 213
 Wasser
 – Anomalie 170
 Wasserkraft 73
 Wasserwellen 144
 WATT, JAMES 94, 204, 210, 277
 WEBER, WILHELM EDUARD 264
 Wechselspannung 270
 – sinusförmige 281
 Wechselstrom 276, 284, 292
 – technischer 330
 – tonfrequenter 330
 Wechselstromgenerator 270, 271
 Wechselstromkreis 284, 288
 Wechselstromwiderstand 285, 288
 Wechselwirkung 81
 Wechselwirkungen
 – fundamentale 454
 Wechselwirkungsgesetz 86
 Wechselwirkungsgröße 18, 74
 Wechselwirkungskräfte 80
 Weg 59, 461
 Weglänge
 – mittlere freie 415

Weg-Zeit-Gesetz 62, 65
 WEHNELT, ARTHUR 301
 weißsche Bereiche 258
 Weitsichtigkeit 356
 Wellen 16, 145, 158
 – elektromagnetische 146, 316, 325, 332
 – fortschreitende 151
 – hertzische 316, 322, 325, 326, 330
 – stehende 151
 Welleneigenschaften 150
 Wellenfronten 147, 148
 Wellengleichung 158
 – Herleitung 146
 Wellenlänge 145, 146, 323, 326, 346, 369
 – de-Broglie- 411
 wellenlängenunabhängige Eigenschaften 324
 Wellenmodell 335, 338
 Wellennormale 147, 335
 Wellenoptik 335
 Wellentheorie 148, 334
 Weltbilder 57, 121
 Werkstoffprüfung 153, 391
 Widerstand
 – elektrischer 276
 – induktiver 285, 288, 292
 – kapazitiver 286, 288, 292
 – ohmscher 288, 292
 – spezifischer elektrischer 295
 Widerstandsthermometer 164
 wiensches Verschiebungsgesetz 221, 222
 WIEN, WILHELM 221
 WILSON, C. P. R. 438
 Windkraft 73
 Winkelbeschleunigung 100, 104, 106
 Winkelgeschwindigkeit 63, 64, 100, 106, 118, 137
 Wirbelstrombremse 267
 Wirbelströme 267
 Wirkleistung 284, 291
 wirksame Fläche 262
 Wirkung 384
 Wirkungsgrad 95, 96
 – maximaler 207
 – thermischer 207, 217
 Wirkungsquantum
 – plancksches 383, 384, 409
 Wirkwiderstand 284, 288

Wölbspiegel 349, 350
 Würfe 70f.
 Würfe im Sport 71
 Wurfhöhe 71
 Wurfparabeln 71
 Wurfweite 71

Z

Zeigerdarstellung 141, 143, 282
 Zeigerdiagramm 141
 Zeigermodell 335, 362, 364, 366, 400
 Zeit 59, 461, 471
 – absolute 458
 Zeitdilatation 468, 480
 zeitlich konstantes Magnetfeld 263
 zeitlich veränderliches Magnetfeld 263
 Zeitmessung 480
 – Relativität 467
 Zentralbeschleunigung 64
 Zentralkraft 84
 Zentrifugalkraft 84
 Zentripetalbeschleunigung 64
 Zentripetalkraft 84
 Zerfall 469
 Zerfallsgesetz 441
 Zerfallsreihen 443
 – natürliche 442
 Zerstreuungslinse 351–353, 358
 zufällige Fehler 45
 Zugkräfte 73
 Zündspule 270
 Zungenfrequenzmesser 140
 Zustandsänderung
 – adiabatische 176, 198, 202
 – isobare 201
 – isochore 200
 – isotherme 198, 200
 Zustandsgleichung
 – allgemeine 175, 179
 – ideales Gas 189, 199
 Zustandsgrößen 18, 87, 107, 118, 160, 161, 192
 – makroskopische 161
 – thermodynamische 163
 ZWEIG, G. 453
 Zweitaktmotor 209
 Zweiweggleichrichtung 276
 Zwillingparadoxon 468
 Zyklotron 256

Bildquellenverzeichnis

Legende: Ol=Oben links, Om=Oben mittig, Or=oben rechts, Ml=Mitte links, Mm=Mitte mittig, Mr=Mitte rechts, Ul=Unten links, Um=Unten mittig, Ur=Unten rechts

Hinweis: Die Seitenzahl steht immer an erster Stelle, danach folgt die Positionsangabe (z.B. 075Or = Seite 75 Oben rechts). Falls keine konkrete Position angegeben ist, stammen alle urheberrechtlich relevanten Abbildungen vom selben Urheber.

Adobe: Ana Gram/stock.adobe.com 081Or; Andrzej Solnica/stock.adobe.com 297; atlasphoto/stock.adobe.com 270; Enrica Guilane-Nachez/stock.adobe.com 008; fotofritz16/stock.adobe.com 089Ol; james_pintar/stock.adobe.com 098; leopold/stock.adobe.com 058; marcorubino/stock.adobe.com 232Or; Microgen/stock.adobe.com 119; Nada Sertic/stock.adobe.com 081Ol, 218Ur; pat_hastings/stock.adobe.com 223; peterschreiber.media/stock.adobe.com 381; Roman Milert/stock.adobe.com 051Ml; Sashkin/stock.adobe.com 049; Smileus/stock.adobe.com 133Ol; Stanislav Loginov/stock.adobe.com 267Ul; tamaslaza3/stock.adobe.com 206; Tan Kian Khoon/stock.adobe.com 211Ul; thomas-dll/stock.adobe.com 481; Ttstudio/stock.adobe.com 346Ur; the_builder/stock.adobe.com 372 Ol, 372Or;

akg-images: akg-images 474; ClassicStock / D. Degnan/akg-images 348; Elizaveta Becker/akg-images 256; Fototeca Gilardi/akg-images 153Ml; Science Source/akg-images 011Mm; Science Source/akg-images 079; Science Source/akg-images 458Ml; World History Archive/akg-images 148Ul;

Granger/Bridgeman Images: 478;

Christine Gebreyes, Berlin: 009Ur, 010Ul, 011Om, 013, 025, 032, 033Ur, 040Ml, 053Mm, 053Um, 054Ul, 054Um, 054Ur, 055Ml, 055Mr, 056Ul, 067, 075, 078Ol, 081Ul, 083, 084, 085Um, 086, 088, 092Ol, 092Om, 092Or, 093Ol, 093Or, 093Ur, 094, 103, 105, 110, 111Um, 112Or, 121Ol, 124, 125Or, 127Um, 129, 130, 132, 133Or, 134, 138, 141, 143Ml, 144Ol, 144Ml, 148Ml, 150Or, 150Ur, 154, 155, 157, 160, 164Ol, 164Or, 169, 170, 175, 180Um, 186Um, 187, 191, 193, 194, 195, 196, 197, 199, 205, 208, 209, 210Or, 210Mm, 211Or, 225, 227, 228, 229Ur, 229Mm, 230, 234, 244, 246Or, 246Um, 246Um, 247Ml, 247Ul, 247Ur, 248Om, 248Or, 248Ul, 248Ur, 253Ol, 255, 259Ol, 259Ml, 260, 261, 268, 271Ol, 271Mm, 272Ol, 274, 275Ol, 275Mm, 294, 301, 306Or, 306Um, 311, 315, 316, 317, 319, 322, 324, 329, 332, 342Ml, 343Ur, 344Ur, 345Or, 345Ul, 349Or, 349Ur, 351Or, 352, 356Or, 356Om, 357, 358, 361, 365, 367Om, 373, 374Om, 375, 382Ol, 382Um, 387, 388, 389, 396, 397, 399Ur, 399Um, 411, 413, 415, 416Ul, 416Om, 430Ol, 438Om, 439, 444Or, 444Ul, 449Or, 449Um, 452, 458Ol, 458Um, 459, 460Om, 462Ol, 462Mm, 475Mr;

INTERFOTO / Science & Society / Emily Churchill: 373Ml;

Dr. Volkmar Janicke, München: 444Ol;

Gerlinde Keller, München: 009Or, 022Ul, 053Ml, 074, 078Ml, 121Mr, 147Ur, 163, 178, 180Ol, 186Ul, 219, 252, 265, 266, 314, 377Or, 407, 416Ml, 422, 428, 435Or, 435Ur, 458Ul, 458Ur, 465;

© **LEYBOLD / LD DIDACTIC GmbH:** 148, 149, 239, 267Ur, 364, 428;

Christo Libuda: 346Or;

mauritus-images/Science Source/Hank Morgan: 438Or;

MEV Verlag GmbH, Augsburg: 050Mm, 113, 449Ol, 449Om;

Meyer, L., Potsdam: 073Ml, 073Um, 153Mmr, 164Ul, 171, 204Ol, 247Or, 247Mr, 248Ol, 253Or, 259Om, 259Ur, 267Or, 306Ol, 307, 312Ol, 312Or, 312Mol, 312Mor, 312Mul, 312Ul, 312Ur, 334, 343Ul, 351Ml, 351Mr, 371Ul, 371Ur, 373Or, 393Ul;

NASA: 218Ml, 218Ul, 430Or, 475Ur, 479Mr;

NASA EADS: 040;

NASA/JPL/RPIF/DLR: 331Um, 331Ur;

Walther-Maria Scheid: 026Ol, 026Ml, 356Ul, 356Ur, 479Om;

Bildagentur PantherMedia / Adulsak Srithilah: 373Mr;

PHYWE Systeme GmbH & Co. KG, Göttingen: 254;

picture alliance: picture alliance/Moritz Vennem 022Or; picture alliance/imageBROKER 210Ur; picture-alliance/dpa 443;

Science Photo Library: Science Photo Library/Stephane Corvaja/EUROPEAN SPACE AGENCY 112Ol; Science Photo Library 027; Science Photo Library 229Mr; Science Photo Library 438Ul; Science Photo Library/SHEILA TERRY/akg-images 264; Science Photo Library/akg-images 393Mr; Science Photo Library/akg-images 435om; Science Photo Library/Alfred Pasieka 156; Science Photo Library/Alfred Pasieka 342Or; Science Photo Library/Atlas Collaboration/CERN 014; Science Photo Library/Carol & Mike Werner/Visuals Unlimited, Inc 367Ur; Science Photo Library/Degginger, E. 147Ml; Science Photo Library/Dr. Jean Lorre 472Ml; Science Photo Library/Emilio Segre Visual Archives/American Institute of Physics 377Mm; Science Photo Library/Giphotostock 149Ol; Science Photo Library/Giphotostock 232Ol; Science Photo Library/Giphotostock 246Ol; Science Photo Library/Johnny Greig 060; Science Photo Library/Library of Congress 140; Science Photo Library/Patrick Dumas/Look at Sciences 182; Science Photo Library/Russell Kightley 341; Science Photo Library/Science Source 457; Science Photo Library/Seitz, Blair 430Or; Science Photo Library/Sheila Terry 010Mm; Science Photo Library/TEK IMAGE 342Ol; Science Photo Library/TRL LTD. 078Mm; Science Photo Library/TRL LTD. 078Mr; Science Photo Library/TRL LTD. 080; Science Photo Library/TRL LTD. 107; Science Photo Library/TRL LTD. 114Ml; Science Photo Library/Victor de Schwanberg 150Ol; Science Photo Library/Zipp,Jim 344Ul;

Shutterstock: 3Dsculptor/Shutterstock.com 073Ul; Alexander Rochau/Shutterstock.com 111Ml; Audrius Merfeldas/Shutterstock.com 251; AVS-Images/Shutterstock.com 374Ul; Azuzl/Shutterstock.com 440; Baranov E/Shutterstock.com 1242; Baranov E/Shutterstock.com 472Ol; Civdis/Shutterstock.com 089Ul; cornflower/Shutterstock.com 391; Daniel M. Nagy/Shutterstock.com 211Ur; Dark Moon Pictures/Shutterstock.com 300; djgis/Shutterstock.com 345Ur; Eugene Suslo/Shutterstock.com 073Ur; Fedorov Ivan Sergeevich/Shutterstock.com 051Ol; fizkes/Shutterstock.com 073Mm; Forgem/Shutterstock.com 089Mr; Fouad A. Saad/Shutterstock.com 151; Funny Drew/Shutterstock.com 015Mr; Funny Drew/Shutterstock.com 143Mr; gresei/Shutterstock.com 056Ol; Guryanov Andrey/Shutterstock.com 430Om; Inna Ogando/Shutterstock.com 327; Ivan Smuk/Shutterstock.com 218Mr; John D Shirlin/Shutterstock.com 039; Juan Gaertner/Shutterstock.com 399Ul; Karin Jaehne/Shutterstock.com 312Mur; katueng/Shutterstock.com 204Or; Kim Christensen/Shutterstock.com 249; Koldunov/Shutterstock.com 241; kriangphrom/Shutterstock.com 272Or; kriangphrom/Shutterstock.com 325; Likoper/Shutterstock.com 333; Lisa /Shutterstock.com 277; LisaOS/Shutterstock.com 331Ul; loskutnikov/Shutterstock.com 346Ul; Marina Biryukova/Shutterstock.com 089Ml; Mark and Anna Photography/Shutterstock.com 089Or; Minerva Studio/Shutterstock.com 153Mml; Mr.B-king/Shutterstock.com 271Or; Oleksandr Kulichenko/Shutterstock.com 033Ul; Pavol Kmeto/Shutterstock.com 063; PRILL/Shutterstock.com 050Ur; Robert Przybysz/Shutterstock.com 430Ol; science photo/Shutterstock.com 029; sergios/Shutterstock.com 073Mr; sirtravelalot/Shutterstock.com 108; sirtravelalot/Shutterstock.com 114Mr; Skycolors/Shutterstock.com 089Om; SpeedKingz/Shutterstock.com 349Ol; Tanathip Rattanatum/Shutterstock.com 159; Tyler Mabie/Shutterstock.com 149Ul; UBC Stock/Shutterstock.com 089Mm; worradirek/Shutterstock.com 089Um; zhangyang13576997233/Shutterstock.com 089Ur; Zodar/Shutterstock.com 153Mr;

Sybille Storch: 085Mm, 121Or;

Volkswagen AG: 299

Geprüftes Wissen – verlässlich gut!

BASISWISSEN SCHULE PHYSIK ABI

- Themen und Inhalte aus dem Physikunterricht der Sekundarstufe II
- Perfekt zur umfassenden Vorbereitung auf das Abitur
- Zahlreiche farbige Grafiken und Fotos zur Veranschaulichung

Ausführliche Kapitel zu allen relevanten Teilbereichen der Physik – Mechanik, Thermodynamik, Elektrizitätslehre, Optik sowie Quanten- und Kernphysik.

Für alle weiterführenden Schulformen. Berücksichtigt die aktuellen Bildungspläne aller Bundesländer.

