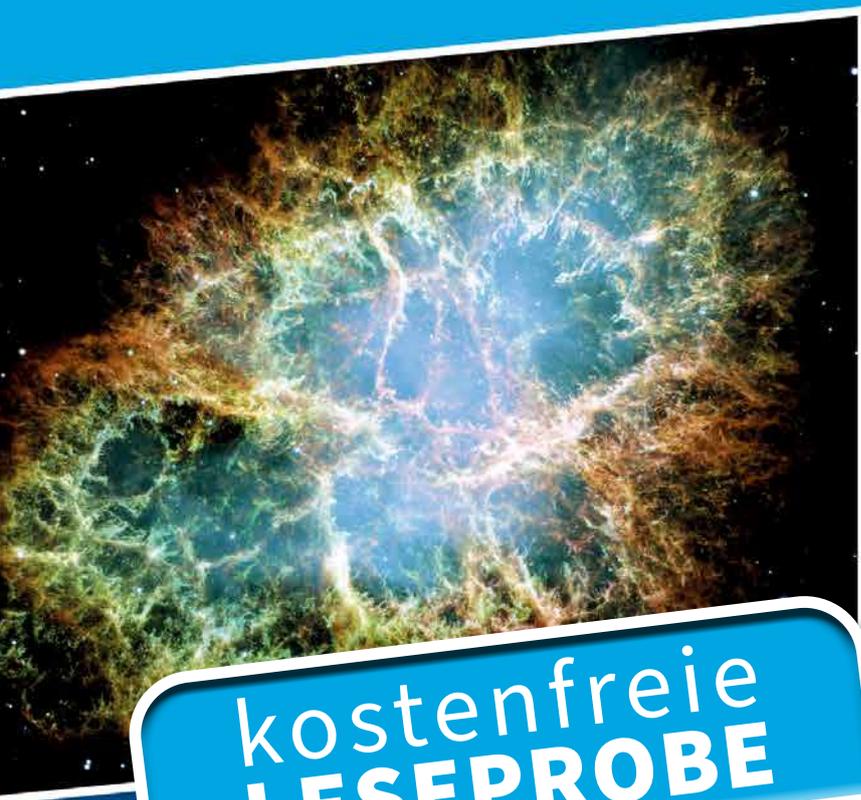


# Astrophysik *neu*



kostenfreie  
**LESEPROBE**



Gymnasium  
Bayern

# Inhalt

Vorwort ..... 3

## Physik – Gymnasium Bayern Sek II

Die Lehr- und Lernwelt von **Astrophysik neu** ..... 4

## Konzeption

Aufbau des Lehrwerks..... 6

## Astrophysik neu

Inhaltsverzeichnis..... 9

Auftakt-Doppelseite Großkapitel B..... 14

Kapitel 2: Himmelskörper des Sonnensystems (EVA) ..... 16

Selbsttest zu EVA-Kapitel 2 ..... 26

Kapitel 3: Planetenbahnen und Raumfahrt ..... 28

Exkurs: Erforschung des Mars..... 42

Vermischte Aufgaben B – Basisaufgaben ..... 44

Vermischte Aufgaben B – Abiturähnliche Aufgaben..... 45

Selbsttest zu B ..... 48

Zusammenfassung zu B..... 50

Bildnachweis ..... 52

## Physik 13

## Digitaler Unterricht mit click & teach und click & study

Digitale Lehr- und Lernwelt von **Astrophysik neu** ..... 54

## Unser WebSeminar-Angebot

## Gebietsaufteilung Schulberatung

## Liebe Lehrerinnen und Lehrer,

in der 13. Jahrgangsstufe kann nach den Vorgaben des LehrplanPLUS an bayerischen Gymnasien parallel zum regulären Physikkurs auch die Lehrplanalternative Astrophysik unterrichtet werden. Hierfür bieten wir Ihnen und Ihren Schülerinnen und Schülern im kommenden Jahr mit **Astrophysik neu** ein modernes, perfekt auf den LehrplanPLUS zugeschnittenes Lehrwerk, das den heutigen Anforderungen an den Astrophysikunterricht in vollem Umfang gerecht wird.

Unser **digitales Lehrermaterial click & teach** unterstützt Sie optimal bei der Gestaltung Ihres Unterrichts. Selbstverständlich erscheint **Astrophysik neu** auch als **digitale Ausgabe click & study** für Ihre Schülerinnen und Schüler.

Wenn Sie mehr über **Astrophysik neu** erfahren möchten, kontaktieren Sie uns!  
Wir beraten Sie gern.

Ihr Schulberatungsteam für Bayern



**Dr. Katrin Brogl**

Mobil: 0178 6012379

E-Mail: k.brogl@ccbuchner.de



**Annette Goldscheider**

Telefon: 0821 2593648

Mobil: 0171 6012371

E-Mail: goldscheider@ccbuchner.de



**Kilian Jacob**

Mobil: 0171 6012375

E-Mail: jacob@ccbuchner.de

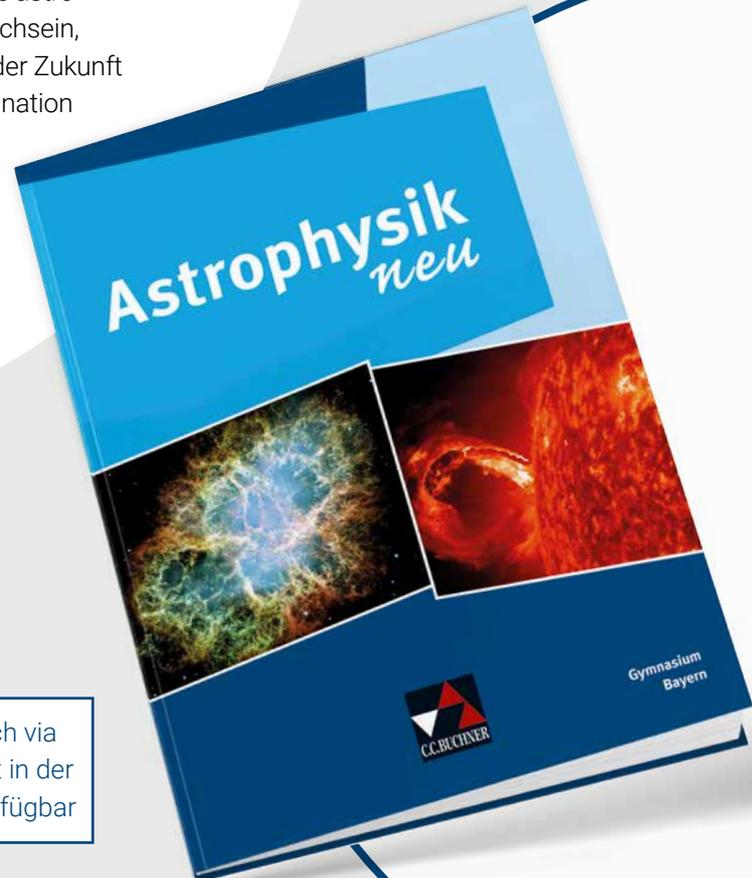
## Physik – Gymnasium Bayern Sek II

### Astrophysik neu

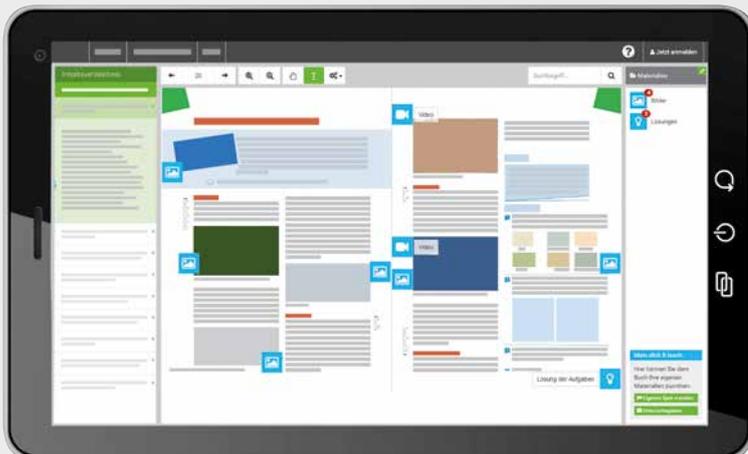
Der Band **Astrophysik neu** ist ein modernes, perfekt auf den LehrplanPLUS zugeschnittenes Lehrwerk, das den heutigen Anforderungen an den Astrophysikunterricht in vollem Umfang gerecht wird. Der inhaltliche Blick geht dabei zunächst zur Orientierung an den Nachthimmel, dann weiter zum Sonnensystem. Hier wird die Sonne weiter untersucht, bevor andere Sterne und weiter entfernte Galaxien in den Vordergrund rücken. Jede astrophysikalische Frage rückt immer auch die Frage nach dem Menschsein, nach der Stellung des Menschen auf seinem Planeten Erde und der Zukunft der Erde ins Bewusstsein. Das macht zu einem Großteil die Faszination des Fachs, aber auch unseres Lehrwerks aus.



Mehr Infos:  
[www.ccbuchner.de/bn/67056](http://www.ccbuchner.de/bn/67056)



**digitales Zusatzmaterial** auch via QR- oder Mediacodes direkt in der Print-Ausgabe **kostenfrei** verfügbar



### Ideal für den digitalen Materialaustausch

Die **digitale Ausgabe des Schülerbands click & study** und das **digitale Lehrmaterial click & teach** bilden zusammen die ideale digitale Lernumgebung: vielfältig im Angebot und einfach in der Bedienung!

Mehr Infos finden Sie auf den Seiten 54 bis 61 und auf [www.click-and-study.de](http://www.click-and-study.de) und [www.click-and-teach.de](http://www.click-and-teach.de).



Erklärvideos **click & study**  
 und **click & teach**

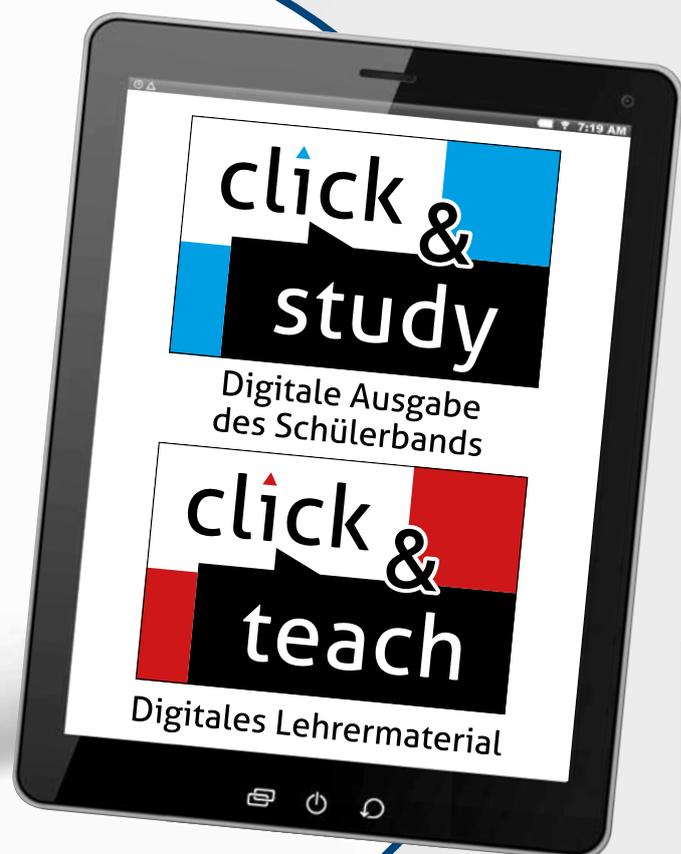
## Astrophysik neu:

- ▶ übersichtliche Seitenstruktur
- ▶ verlässliche Abdeckung der Kompetenzerwartungen
- ▶ innovatives Konzept zum eigenverantwortlichen Arbeiten (EVA)
- ▶ Einbindung grundlegender Fachmethoden für ein fundiertes und fachspezifisches Arbeiten
- ▶ mit Medien- und QR-Codes verlinkte digitale Materialien, z. B. Simulationen oder Planetariumssoftware
- ▶ Exkurse mit relevanten Inhalten, die über den LehrplanPLUS hinausgehen

## Innovatives EVA-Konzept

Das eigenverantwortliche Arbeiten stellt eine große Herausforderung dar, weshalb wir Sie dabei bestmöglich unterstützen möchten: Die entsprechenden Buchkapitel sind mit zahlreichen Fachmethoden und zielgerichteten Arbeitsaufträgen so konzipiert, dass Ihre Schülerinnen und Schüler vollkommen eigenständig die notwendigen Kompetenzen erarbeiten können.

Profitieren Sie bei Bestellungen von **click & study** im Schulkonto vom **3-fach-Rabatt** oder erwerben Sie bei Einführung der Print-Ausgabe die **Print-Plus-Lizenz** ab 1,90 € pro Titel und Jahr.



Titel	ISBN 978-3-661- / Bestellnr.	Umfang	Ladenpreis	Lieferbarkeit
 <b>Astrophysik neu</b>	67056-0		ca. 32,80 €	1. Quartal 2025
 <b>click &amp; study</b> Digitale Ausgabe	WEB 670561	Digitaler Freischaltcode	ca. 8,90 €	1. Quartal 2025
 <b>click &amp; teach</b> Digitales Lehrermaterial	WEB 670661 WEB 670665 WEB 670668	Einzellizenz Einzellizenz flex (übertragbar) Kollegiumslizenz	ca. 34,50 € ca. 47,- € ca. 170,- €	2. Quartal 2025 (sukzessive)

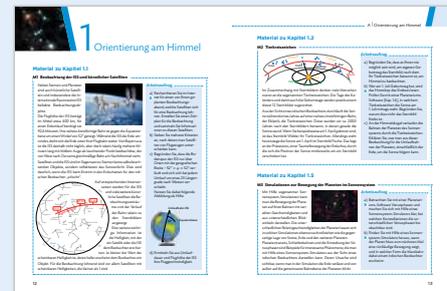
## So können Sie mit diesem Buch arbeiten

### Jetzt geht es los

#### Versuche und Materialien

Jedes der Kapitel 1 bis 13 beginnt mit einer Auswahl von Materialien, die jeweils einem Unterkapitel zugeordnet sind. Diese Materialien eignen sich als Einstiege in Unterrichtseinheiten zu bestimmten Themen und liefern Anregungen zu Experimenten und zur astronomischen Beobachtung. Sie können aber auch als Anwendungsbeispiele zu den gelernten Inhalten verwendet werden.

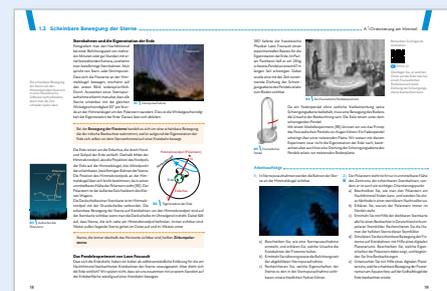
Versuchsbeschreibungen sind mit einem **V**, Beobachtungsaufgaben mit einem **B** gekennzeichnet.



### Die Theorie

#### Erarbeitung

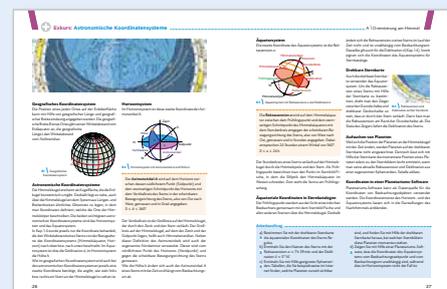
Auf den Theorieseiten wird der neue Stoff erklärt. Dabei enthält eine Theorie-Doppelseite etwa den Themenumfang, der in einer Unterrichtseinheit behandelt werden kann. Zentrale Inhalte und wichtige Zusammenhänge werden auf jeder Doppelseite in einem oder mehreren Kästen mit einem **Merksatz** hervorgehoben. Bilder und Tabellen veranschaulichen die Inhalte und liefern Daten, kleine Info-Kästen am Rand bieten Zusatzinformationen zum Text. Neben Kompetenzen und Inhalten sollen im Unterricht auch Fachmethoden vermittelt werden. Die für die Astrophysik wichtigen **Methoden** werden auf eigenen Methodenseiten oder in einem grünen Kasten auf den Theorieseiten vorgestellt und erklärt. Zur Anwendung des neu gewonnenen Wissens gibt es am Ende eines jeden Unterkapitels passende **Arbeitsaufträge**. Diese Arbeitsaufträge enthalten auch praktische Beobachtungsaufgaben (**B**), die teilweise mit Hilfe einer drehbaren Sternkarte oder einer Planetariums-Software in Simulation durchgeführt werden können. Als Anleitung zum Lösen von grundlegenden Aufgaben zu komplexeren Zusammenhängen gibt es **Musteraufgaben**, die das Vorgehen verdeutlichen.



### Noch mehr?

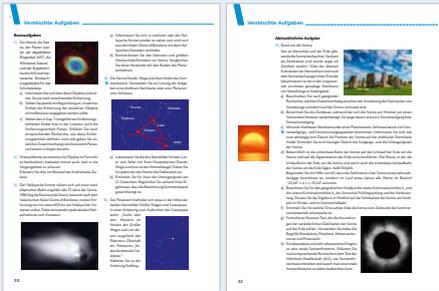
#### Exkurse

Auch in der Astrophysik stellen sich immer wieder Fragen zu Themen, die über den Stoff des Lehrplans hinausgehen, aber zu einem vertieften Verständnis der Astrophysik beitragen. Einige dieser Themen werden, soweit sie für die Behandlung in der Schule geeignet erscheinen, in Exkursen vorgestellt.



Konzept

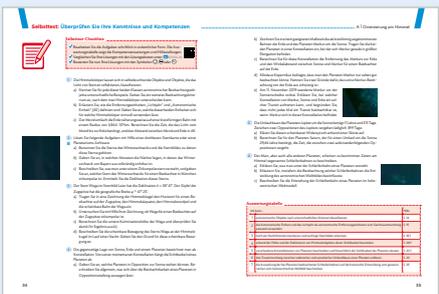
Alles klar?



Vermischte Aufgaben

Am Ende eines jeden Kapitels finden Sie weitere Aufgaben in zwei Kategorien: Die „Basisaufgaben“ sind etwas kürzer gehalten und beschränken sich jeweils auf einzelne Themen der Theorieseiten. Damit eignen sie sich gut als zusätzliche Übungsaufgaben während der Erarbeitungsphase. Die „Abiturähnlichen Aufgaben“ sind Aufgaben aus einem größeren Sachzusammenhang des entsprechenden Themenbereichs. In Anlehnung an die schriftliche Abiturprüfung an bayerischen Gymnasien handelt es sich dabei um materialgestützte Aufgaben.

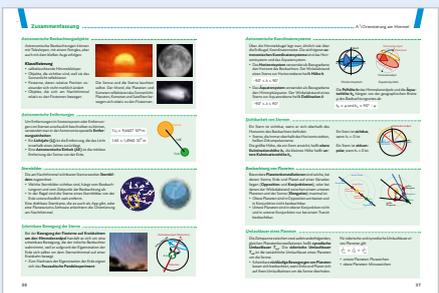
Ziel erreicht?



Selbsttest

Die Aufgaben der Selbsttests sind grundlegende Aufgaben, die Ihnen helfen, festzustellen, ob Sie die im Kapitel erarbeiteten Inhalte, Kompetenzen und Methoden verstanden haben. Vergleichen Sie Ihre Lösungen zu den Aufgaben der Selbsttests mit den über QR-Codes abrufbaren Musterlösungen. Sie können damit Ihren Leistungsstand selbst bewerten. Schneiden Sie in einem Bereich nicht so gut ab, bekommen Sie im Auswertungskasten Informationen, welche Stellen im Buch Sie noch einmal genauer ansehen sollten.

Das weiß ich – das kann ich



Zusammenfassung

Die wichtigsten Inhalte und Kompetenzen, die Sie in einem Kapitel erarbeitet und gelernt haben, werden auf einer Doppelseite am Ende eines jeden Kapitels kompakt dargeboten. Diese Überblicksinformationen können eine gute Hilfe bei der Vorbereitung auf eine Klausur oder für das Abitur sein.

Bildlich gesprochen: Erklärung der Symbole

- V** Versuch, den Sie selbst durchführen können.
- B** Astronomische Beobachtung oder Simulation, die Sie selbst durchführen können.
- i** Information; hier werden Ihnen zusätzliche Informationen geliefert.
- MC** Mediacode; die angegebene Nummer können Sie unter [www.ccbuchner.de](http://www.ccbuchner.de) im Suchfeld eingeben (z. B. Eingabe „67056-09“) und gelangen so zu weiteren Materialien. Alternativ führen die QR-Codes zum selben Ziel.

# Astrophysik *neu*

Herausgegeben von  
Andreas Kellerer

Bearbeitet von  
Andreas Kellerer  
Ursula Kellerer  
Kerstin Misof  
Andreas Müller  
Matthias Schwarzkopf  
Wolfgang Vieser

C.C.Buchner

**Inhalt**

Vorwort .....	8
<b>A Orientierung am Himmel .....</b>	<b>10</b>
<b>1 Orientierung am Himmel .....</b>	<b>12</b>
<b>Materialien .....</b>	<b>12</b>
1.1 Astronomische Beobachtungsobjekte .....	14
1.2 Sternbilder .....	16
1.3 Scheinbare Bewegung der Sterne .....	18
1.4 Sichtbarkeit von Sternen .....	20
1.5 Beobachtung von Planeten .....	22
⊕ <b>Exkurs:</b> Astronomische Koordinatensysteme .....	26
1.6 <b>Methode:</b> Sternenhimmel am Monitor .....	28
Vermischte Aufgaben .....	30
<b>Selbsttest</b> .....	<b>34</b>
Zusammenfassung .....	36
<b>B Das Sonnensystem .....</b>	<b>38</b>
<b>2 Himmelskörper des Sonnensystems (EVA) .....</b>	<b>40</b>
<b>EVA als Methode .....</b>	<b>40</b>
<b>Fahrplan für dieses Kapitel .....</b>	<b>42</b>
2.1 Materialien zum Gruppenthema 1 .....	44
2.2 Material zum Gruppenthema 2 .....	48
<b>Selbsttest</b> .....	<b>50</b>
<b>3 Planetenbahnen und Raumfahrt .....</b>	<b>52</b>
<b>Materialien .....</b>	<b>52</b>
3.1 Keplersche Gesetze .....	54
3.2 Gravitationsgesetz .....	56
3.3 Potenzielle Energie im Gravitationsfeld .....	58
3.4 Fluchtgeschwindigkeit .....	60
3.5 Satelliten und Raumsonden .....	62
3.6 Forschung und Kolonisierung im Weltraum .....	64
⊕ <b>Exkurs:</b> Erforschung des Mars .....	66
Vermischte Aufgaben .....	68
<b>Selbsttest</b> .....	<b>72</b>
Zusammenfassung .....	74

**Inhalt**

<b>C Die Sonne</b> .....	76
<b>4 Eigenschaften der Sonne</b>	
<b>Materialien</b> .....	78
4.1 Beobachtung der Sonne – Größe und Masse .....	80
4.2 Aufbau der Sonne .....	82
4.3 Sonnenflecken und Magnetfeld der Sonne .....	84
4.4 Weltraumwetter .....	88
<b>5 Die Sonne als Strahlungsquelle</b>	
<b>Materialien</b> .....	90
5.1 Solarkonstante und Leuchtkraft der Sonne .....	92
5.2 Kernfusion als Energiequelle der Sonne .....	94
5.3 Strahlungsgesetze und Oberflächentemperatur der Sonne .....	98
5.4 Oberflächentemperaturen von Planeten und Monden .....	101
5.5 Lebensbedingungen im Sonnensystem .....	104
⊕ <b>Exkurs: Klima</b> .....	106
<b>6 Spektroskopie der Sonne</b>	
<b>Materialien</b> .....	108
6.1 Sonnenspektrum .....	110
6.2 Ein quantenmechanisches Atommodell .....	114
6.3 Sternspektren .....	116
Vermischte Aufgaben .....	118
<b>Selbsttest</b> .....	122
Zusammenfassung .....	124

**Inhalt**

<b>D Sterne</b> .....	126
<b>7 Eigenschaften von Sternen und ihre Messung</b>	
<b>Materialien</b> .....	128
7.1 Trigonometrische Parallaxe und Eigenbewegung von Sternen .....	130
7.2 Scheinbare Helligkeit und Bestrahlungsstärke .....	132
7.3 Absolute Helligkeit und Entfernungsmodul .....	134
⊕ <b>Exkurs:</b> Teleskope .....	136
7.4 Dopplereffekt und Radialbewegung eines Sterns .....	138
7.5 Doppelsternsysteme und Massenbestimmung .....	140
<b>8 Hertzsprung-Russell-Diagramm</b>	
<b>Materialien</b> .....	144
8.1 Sternspektren und Oberflächentemperatur eines Sterns .....	146
8.2 Hertzsprung-Russell-Diagramm .....	148
8.3 Anwendungen des HRD – Entfernung, Masse, Sternradius .....	150
<b>9 Entwicklung von Sternen</b>	
<b>Materialien</b> .....	154
9.1 Sternentstehung .....	156
⊕ <b>Exkurs:</b> Interstellare Materie .....	158
9.2 Hauptreihenstadium eines Sterns .....	160
9.3 Rote Riesen .....	162
9.4 Altersbestimmung bei Kugelsternhaufen .....	166
<b>10 Endstadien von Sternen</b>	
<b>Materialien</b> .....	168
10.1 Planetarische Nebel und Weiße Zwerge .....	170
10.2 Supernovae .....	172
10.3 Neutronensterne und Schwarze Löcher .....	176
10.4 Sternentwicklung und kosmischer Materiekreislauf .....	179
10.5 Gravitationswellen .....	180
⊕ <b>Exkurs:</b> Eine Kilonova als Quelle von Gravitationswellen .....	182
<b>Selbsttest</b> .....	184

**Inhalt**

<b>11 Exoplaneten (EVA)</b>	
<b>Fahrplan für dieses Kapitel</b>	186
11.1 Grundlagen zu Exoplaneten	188
11.2 Materialien zum Gruppenthema 1	190
11.3 Materialien zum Gruppenthema 2	193
<b>Selbsttest</b>	198
Vermischte Aufgaben	200
Zusammenfassung	206
<b>E Großstrukturen im Weltall</b>	208
<b>12 Galaxien</b>	
<b>Materialien</b>	210
12.1 Die Milchstraße	212
12.2 Beobachtung der Milchstraße	215
12.3 Das Schwarze Loch im Zentrum der Milchstraße	218
12.4 Masse der Milchstraße	220
⊕ <b>Exkurs:</b> Dunkle Materie	222
12.5 Entfernungsbestimmung mit der Cepheiden-Methode	224
12.6 Entfernungsbestimmung mit Supernovae des Typs Ia	226
<b>13 Kosmologie</b>	
<b>Materialien</b>	228
13.1 Die Hubble-Beziehung	230
13.2 Kosmologische Rotverschiebung	232
13.3 Das Urknall-Modell	234
13.4 Kosmische Hintergrundstrahlung	236
13.5 Weltmodelle und Dunkle Energie	238
⊕ <b>Exkurs:</b> Synthese von Atomkernen im Urknallmodell	240
13.6 Ungelöste Probleme in der Kosmologie	242
13.7 <b>Methode:</b> Bewerten von Quellen	244
Vermischte Aufgaben	246
<b>Selbsttest</b>	252
Zusammenfassung	254

**Inhalt****Anhang**

Grundlagen: Inhalte .....	256
Grundlagen: Methoden .....	259
Operatoren .....	262
Stichwortverzeichnis .....	264
Bildnachweis und Quellenverzeichnis .....	267

**Methoden**

Grafische Darstellung geometrischer Zusammenhänge .....	21
Sternenhimmel am Monitor .....	28
Texte erschließen .....	40
Quellen suchen und prüfen .....	40
Quellen angeben .....	40
Gruppenarbeit strukturieren und reflektieren .....	41
Informationen visualisieren .....	41
Lernprodukte erstellen .....	41
Concept-Map erstellen .....	42
Digitale Pinnwand erstellen .....	43
Auswertung von Diagrammen .....	84
Abschätzung von Größen .....	101
Zielgerichtete Suche im Internet und Auswahl geeigneter Quellen .....	116
Geeignete Schwerpunkte in einer fachlichen Diskussion setzen .....	117
Relative Größen .....	134
Recherche: Urheberschaft prüfen und richtig zitieren .....	186
Flyer erstellen .....	187
Veröffentlichungen kritisch hinterfragen .....	244

## B \ Das Sonnensystem

»Die **bemannte Raumfahrt** ermöglicht uns,  
die Erde aus einer anderen **Perspektive** zu sehen.

Sie zeigt uns eine felsige Kugel mit einer  
**erschreckend dünnen** Atmosphäre,  
die einmal im Jahr um die Sonne kreist.

Dieser **kleine blaue Punkt** ist unser Raumschiff,  
und wir können uns **aussuchen**,  
ob wir **nur als Passagier** mitfliegen  
oder als **Teil der Mannschaft**.«

(Alexander Gerst, deutscher Astronaut, \*1976)\*

• Wann fliegen Menschen zum Mars?

• Woher kommen Kometen und warum haben sie Schweife?

• Kann man das Ringsystem des Saturns sehen?

• Wie funktioniert interplanetare Raumfahrt?

• Hat der Mars einen Mond?

• Wie schwer ist Jupiter?

• Wie entsteht eine Sternschnuppe?

• Warum sehen wir den Mond mal als Vollmond, mal als Halbmond oder manchmal gar nicht?



\* Alexander Stirn: Als Freunde zusammen ins Weltall. 28.05.2014. <https://www.spektrum.de/news/alexander-gerst-als-freunde-zusammen-ins-weltall/1287990> [Zugriff: tt.mm.jjjj]



# 2 Himmelskörper des Sonnensystems (EVA)

## EVA als Methode

Wie Sie es schon aus früheren Jahrgangsstufen kennen, findet sich hier wieder ein Kapitel, das von Ihnen eigenverantwortlich bearbeitet werden soll. Einige Basismethoden haben Sie dazu bereits kennen gelernt – sie werden auf den beiden folgenden Seiten nochmals kurz zusammengefasst.

Um Ihr Methodenrepertoire zu erweitern, werden neue Methoden bei den jeweiligen Kapiteln, die Sie eigenverantwortlich bearbeiten, ausführlicher vorgestellt.

## Basismethode

### Texte erschließen

Um Sachtexte zu verstehen, kann man folgendes Fünf-Phasen-Schema anwenden:



1. Orientieren Sie sich im Text, indem Sie ihn querlesen und Sinnabschnitte bilden.
2. Suchen Sie Teile im Text, die Sie schon verstehen. Markieren Sie Fachbegriffe.
3. Erschließen Sie den Text ausgehend von den „Verstehensinseln“ aus Phase 2.
4. Suchen Sie den roten Faden, indem Sie die Sinnabschnitte miteinander verbinden und den Text in wenigen Sätzen zusammenfassen.
5. Reflektieren Sie abschließend. Notieren Sie sich noch offene Fragen.

## Basismethode

### Quellen suchen und prüfen

Zuverlässige Quellen sind eine wichtige Grundlage für ein fundiertes Ergebnis. Überprüfen Sie dafür Folgendes:



	Ja
1. Die Quelle hat die notwendige Aktualität.	<input type="checkbox"/>
2. Die Art der Quelle (fachwissenschaftlicher Artikel, populärwissenschaftlicher Artikel, Schulbuch, Onlinelexikon, Webseite, Zeitungsartikel, Blogbeitrag, ...) passt zu meiner Fragestellung.	<input type="checkbox"/>
3. Der Verfasser ist Experte für meine Fragestellung. Hinweise dazu enthält beispielsweise sein Lebenslauf.	<input type="checkbox"/>
4. Die Aussagen scheinen fachlich korrekt zu sein, da sie in mehreren Quellen zu finden sind.	<input type="checkbox"/>

### Quellen angeben

Quellen, die Sie für Ihre Arbeit verwenden, müssen angegeben werden – beispielsweise so:

Buch	Name der Autoren: Titel, Verlag, Ort Jahr, Seitenzahl(en) Dietrich, R. (Hrsg.) et al.: Physik 10, C.C. Buchner Verlag, Bamberg 2022, S. 51f.
Internetseite	Name der die Seite betreibenden Person oder Organisation, Link, Abrufdatum Welt der Physik, <a href="https://www.weltderphysik.de/gebiet/universum/exoplaneten/">https://www.weltderphysik.de/gebiet/universum/exoplaneten/</a> , zuletzt aufgerufen am 02.06.2024
Zeitschriftenartikel	Namen der Autoren: Titel des Artikels. In: Name der Zeitschrift Jahrgang (Heft), Seitenzahl(en) Konitzer, F.: Spuren des Lebens. In: Spektrum der Wissenschaft kompakt 2022 (9), S. 4 – 9

**Basismethode**

**Gruppenarbeit strukturieren und reflektieren**

Damit die Gruppenarbeit strukturiert und reflektiert abläuft, muss einiges beachtet werden. Prüfen Sie, ob Sie an wesentliche Dinge gedacht haben:



	Ja		Ja
1. Die Aufgaben wurden fair verteilt.	<input type="checkbox"/>	2. Alle Gruppenmitglieder wurden integriert.	<input type="checkbox"/>
3. Ich habe Verantwortung für meine Aufgabe übernommen.	<input type="checkbox"/>	4. Ich habe anderen geholfen und selbst Hilfe angenommen.	<input type="checkbox"/>
5. Ich habe anderen positive Rückmeldung gegeben.	<input type="checkbox"/>	6. Ich habe positive Rückmeldung von anderen bekommen.	<input type="checkbox"/>
7. Ich habe Kritik sachlich geäußert – sie ist eine Chance zur Verbesserung.	<input type="checkbox"/>	8. Ich habe mich in die Bearbeitung der Aufgabe eingebracht.	<input type="checkbox"/>

**Basismethode**

**Informationen visualisieren**

Um Informationen gut zugänglich zu machen, eignen sich Visualisierungen. Zudem fördern sie das eigene Verständnis. Folgende Möglichkeiten kennen Sie bereits:



Mindmap	Darstellung einer hierarchischen Struktur und guter Überblick über ein Thema
Diagramm	Darstellung von Häufigkeiten im Balken-, Säulen- oder Tortendiagramm
Flussdiagramm	Darstellung von Abläufen und Prozessen
Schaubild (Illustration)	bildliche Vereinfachung der Realität mit Beschriftungen wesentlicher Aspekte
Foto	Dokumentation einer realen Situation
Video/Animation	Darstellung nicht statischer Abläufe

**Basismethode**

**Lernprodukte erstellen**

Ergebnisse lassen sich in vielen verschiedenen Formen präsentieren. Folgende Auswahl soll Ihnen Ideen für Ihre Präsentation geben:



auf Papier oder digital	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Karikatur, Comic</li> <li>• Gedicht</li> <li>• Kreuzworträtsel, Quiz, Puzzle</li> <li>• Fragebogen</li> <li>• Interview</li> <li>• Bericht, E-Mail, Zeitungsartikel</li> </ul>	auf Papier	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flyer, Steckbrief</li> <li>• Minibuch, Spickzettel</li> <li>• Plakat, Collage oder Pinnwand</li> </ul>
digital	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Präsentation</li> <li>• Collage, Pinnwand</li> <li>• Erklärvideo</li> <li>• Radioreportage</li> </ul>	szenisches Spiel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vortrag</li> <li>• Rollenspiel</li> <li>• Werbespot</li> </ul>

## Fahrplan für dieses Kapitel .....

In diesem Kapitel geht es darum, sich einen Überblick über die Himmelskörper unseres Sonnensystems zu verschaffen. Erarbeiten Sie im Folgenden selbstständig, wie diese verschiedenen Objekte heißen, wie sie charakterisiert sind und wodurch sie sich unterscheiden. Teilen Sie sich dafür in Gruppen auf, in denen Sie nacheinander die Themen „Himmelskörper“ und „Planeten“ bearbeiten. Sinnvoll ist eine Gruppengröße von etwa drei Personen. Hilfen dazu finden Sie auf S. 41 unter „Gruppenarbeit strukturieren und reflektieren“.

### Gruppenthema 1: Himmelskörper

In jeder Gruppe soll jeweils eine Concept-Map entstehen, die nicht nur einen Überblick über die Himmelskörper liefert, sondern auch die Beziehungen zwischen ihnen deutlich macht. Die benötigten Informationen für die Erstellung der Concept-Map finden Sie zusammen mit dem konkreten Arbeitsauftrag auf den folgenden Materialseiten. Die Arbeitskarte „Himmelskörper“ kann bei der Erledigung des Arbeitsauftrags und beim Erstellen der Concept-Map helfen.



MC 67056-04

Arbeitskarte  
„Himmelskörper“

### Methode .....

#### Concept-Map erstellen

Eine Concept-Map visualisiert Wissen in Form eines Netzes. Im Unterschied zu einer Mindmap werden mit Hilfe von Verben und Adjektiven Beziehungen zwischen einzelnen Begriffen (Concepts) hergestellt. Man verwendet dazu:

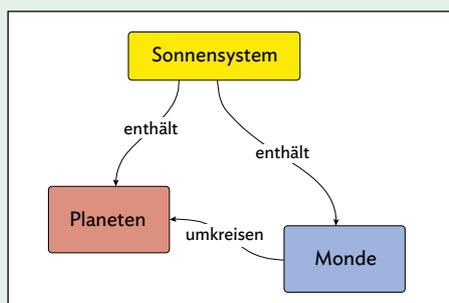
- **Felder für Begriffe (Concepts)**

Im Beispiel unten werden diese Begriffs-Felder als Rechtecke dargestellt.

- **Pfeile für Relationen**

Die Pfeilbeschriftung beschreibt die Beziehung (Relation) zwischen Begriffen. Die Pfeilspitze legt die Leserichtung fest.

Beim Erstellen einer Concept-Map beginnt man am besten mit dem zentralen Begriff, um den man die Unterbegriffe so anordnet, dass Beziehungen zwischen ihnen durch Pfeile möglich werden. Auch Querverbindungen (z. B. „Monde umkreisen Planeten.“) sind in dieser Struktur möglich.



Vorteilhaft ist es, Concept-Maps mit Hilfe digitaler Tools zu erstellen, da die oft komplexen Beziehungen problemlos verändert werden können.

DSGVO-konform und kostenfrei eignen sich dafür beispielsweise Lucidchart oder Miro. Vorlagen und eine selbsterklärende Benutzeroberfläche ermöglichen einen intuitiven Zugang. Die fertigen Concept-Maps lassen sich dann in verschiedenen Formaten exportieren.

Entscheidet man sich für eine Variante auf Papier, so kann man beispielsweise ...

- kleine Zettel auf ein Plakat kleben und die Verbindungen mit einem Stift einzeichnen oder ...
- kleine Zettel an einer Pinnwand anordnen und die Verbindung über Wollfäden sichtbar machen.

Die fertige Concept-Map lässt sich dann auf Papier übertragen oder abfotografieren.

## Gruppenthema 2: Planeten

Um herauszuarbeiten, in welchen Eigenschaften sich Planeten gleichen bzw. unterscheiden, sollen Steckbriefe zu den Planeten erstellt werden. Die Ergebnisse der einzelnen Gruppen werden auf einer Pinnwand zusammengetragen.

### Methode

#### Digitale Pinnwand erstellen

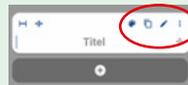
Zur Erstellung digitaler Pinnwände gibt es verschiedene Werkzeuge. Eine DSGVO-konforme Variante davon ist Taskcards.

Vorteile gegenüber der Erstellung auf Papier sind, dass die Pinnwand allen zu jeder Zeit zur Verfügung steht und bearbeitet werden kann. Zudem lassen sich auch Medien unkompliziert einbinden. Der Ausschnitt zeigt eine Pinnwand, die mit Taskcards erstellt wurde.



#### Tipps zur Benutzung von Taskcards

- Mit dem Klick auf das Plus lassen sich Spaltenüberschriften (Titel) ergänzen.
- Oben rechts befinden sich auch die Icons zur Festlegung der Hintergrundfarbe, die Kopierfunktion und der Stift zur Gestaltung des Layouts.
- Rechts können weitere Spaltenüberschriften ergänzt werden; darunter lassen sich Karten erstellen, die zur jeweiligen Spalte passen.
- In den Feldern unter der Spaltenüberschrift lassen sich sowohl Dateien hochladen als auch Links setzen. Die Farbe der Karte kann durch einen Klick auf die Palette verändert werden. Zum Duplizieren klickt man auf das Kopiersymbol. Duplizierte Karten kann man auch von einer in eine andere Spalte verschieben.



Jede Dreiergruppe recherchiert zu ein bis zwei Planeten bestimmte Merkmale. Die Ergebnisse werden auf einer digitalen Pinnwand zusammengetragen, die von der Lehrkraft bereitgestellt wird.

Die benötigten Informationen finden Sie zusammen mit dem konkreten Arbeitsauftrag auf den folgenden Materialseiten. Die Arbeitskarte „Planeten“ kann bei der Erstellung der Pinnwand helfen.



MC 67056-05  
Arbeitskarte  
„Planeten“

## 2.1 Materialien zum Gruppenthema 1

### M1 Planeten und Zwergplaneten

Die Himmelskörper unseres Sonnensystems lassen sich in Planeten, Zwergplaneten und Kleinkörper (Asteroiden, Kometen, Meteoroiden) einteilen.

#### Planeten

Die Internationale Astronomische Union (IAU) legte 2006 folgende Definition fest: Ein Planet ist ein Himmelskörper, der ...

1. sich auf einer Umlaufbahn um die Sonne befindet.
2. genügend Masse besitzt, so dass er eine nahezu kugelförmige Form annimmt.
3. die Umgebung seiner Bahn bereinigt hat, so dass kaum weitere Körper auf ähnlichen Umlaufbahnen vorkommen.

Diese Eigenschaften erfüllen acht Himmelskörper unseres Sonnen-

systems. Sie werden unterteilt in innere und äußere Planeten bzw. in untere und obere Planeten. Die inneren Planeten Merkur, Venus, Erde und Mars sind Gesteinsplaneten. Zu den äußeren Planeten gehören die Gasplaneten Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun. Die Bahnen der unteren Planeten (Merkur und Venus) verlaufen innerhalb der Erdbahn, die Bahnen der oberen Planeten (Mars, Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun) außerhalb der Erdbahn. Im Unterschied zu anderen Himmelskörpern sind die Ellipsenbahnen der Planeten um die Sonne nahezu kreisförmig. Eine Ausnahme bildet Merkur, dessen Bahn etwas stärker von einer Kreisbahn abweicht als die Bahnen der anderen Planeten. Alle Planeten außer Merkur und Venus besitzen Monde. Monde beobachtet man aber auch bei Zwergplaneten und Asteroiden. Beispielsweise ist Charon der größte der fünf bekannten Monde des Zwergplaneten Pluto.



#### Zwergplaneten



Fehlt einem Himmelskörper lediglich die dritte Eigenschaft der Planetendefinition, die Bahnbereinigung, und ist er kein Mond, so handelt es sich um einen Zwergplaneten. Der bekannteste Zwergplanet ist Pluto, der bis 2006 noch zu den Planeten

zählte. Wichtige weitere Zwergplaneten sind Eris, Haumea und Makemake, die sich alle im Kuipergürtel befinden. Der Zwergplanet Ceres dagegen liegt im Asteroidengürtel.

#### Arbeitsauftrag

- a) Informieren Sie sich anhand des Textes und weiterer Quellen darüber, wie folgende Fachbegriffe definiert sind, in welchem Bezug sie zueinander stehen und wie sie sich gegeneinander abgrenzen lassen:

- Planet
- unterer/oberer Planet
- innerer/äußerer Planet
- Gasplanet/Gesteinsplanet
- Zwergplanet

- b) Beginnen Sie nun mit der Erstellung einer Concept-Map zum Thema „Himmelskörper unseres Sonnensystems“. Stellen Sie damit die Beziehungen und die wichtigsten Eigenschaften der recherchierten Himmelskörper dar. Verwenden Sie dazu ein digitales Medium. Tipps zur Erstellung finden Sie auf S. 42.

- c) Tauschen Sie sich mit Mitschülerinnen und Mitschülern aus anderen Dreiergruppen aus, vergleichen Sie Ihre Ergebnisse und überarbeiten Sie gegebenenfalls Ihre Concept-Map.

	Pluto	Ceres
Große Halbachse	39,5 AE	2,77 AE
Umlaufdauer	248 a	4,6 a
Bahnexzentrizität	0,25	0,0785
Mittl. Äquatordurchmesser	2374 km	964 km
Rotationsdauer	6,4 d	9,1 h
Masse	$1,3 \cdot 10^{22}$ kg	$9,4 \cdot 10^{20}$ kg

**M2 Monde**

Monde sind natürliche Trabanten eines Planeten, Zwergplaneten oder Asteroiden, den sie auf einer Ellipsenbahn umlaufen. Meist haben sie eine deutlich geringere Masse als der Himmelskörper, der in einem der Brennpunkte ihrer Bahn steht. Theorien zur Mondentstehung besagen, dass Monde in der Entstehungsphase eines Planetensystems entweder durch Einfang von Material aus der Akkretionsscheibe oder aus einer Trümmerwolke, die sich bei der Kollision des Protoplaneten mit einem Kleinkörper bildete, entstanden sind.

**Arbeitsauftrag**

- a) Informieren Sie sich anhand des Textes über Monde.
- b) Ergänzen Sie wesentliche Aspekte zu Monden in die zu M1 erstellte Concept-Map.



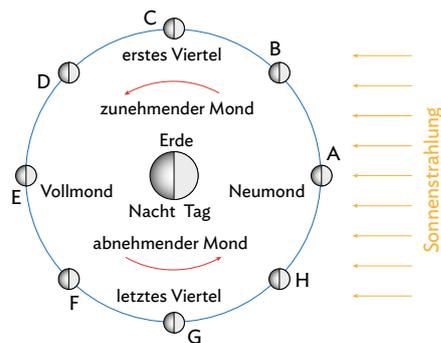
Im Folgenden soll der Erdmond genauer betrachtet werden. Die Erde und der Erdmond bewegen sich auf Ellipsenbahnen um ihren gemeinsamen Schwerpunkt, der noch innerhalb der Erdkugel liegt. Die siderische Umlaufdauer des Mondes um die Erde beträgt dabei 27,32 d, die synodische Umlaufdauer 29,53 d. Im Rahmen der Mondlandemission Apollo 11 stellten Neil Armstrong und Edwin Aldrin einen Reflektor auf dem Mond auf. Mit Hilfe eines Lasersignals kann damit die Entfernung zum Mond auf 10 cm genau bestimmt werden.

	Mond	im Vergleich zur Erde
Radius	1737 km	knapp 30 % des Erdradius
Mittlere Entfernung	384 400 km	etwa 60 Erdradien
Masse	$7,349 \cdot 10^{22}$ kg	etwa $\frac{1}{80}$ der Erdmasse

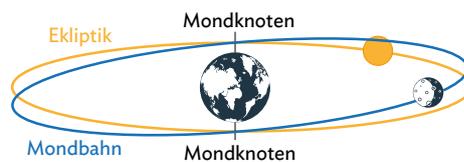
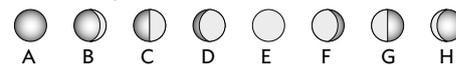
Der Mond befindet sich in einer einfach gebundenen Rotation um die Erde, das heißt: Die Rotation des Mondes um die eigene Achse dauert genauso lang wie ein Umlauf des Mondes um die Erde. Diese Besonderheit führt dazu, dass man von der Erde aus immer nur dieselbe Mondseite beobachten kann.

Je nach gegenseitiger Lage von Sonne, Erde und Mond lässt sich der Mond während eines Umlaufs um die Erde in verschiedenen Phasen beobachten. Man sieht ihn als Vollmond, zunehmenden oder abnehmenden Mond. Nicht beobachtbar ist der Erdmond in der Neumondphase.

Befände sich die Mondbahn in der Ekliptik-Ebene, so würde in der Vollmond-Konstellation immer der Erdschatten den Mond verdecken und es würde zu einer Mondfinsternis kommen. Dass dies nicht passiert, liegt daran, dass die Mondbahnebene gegenüber der Ekliptik um  $5,1^\circ$  geneigt ist, der scheinbare Durchmesser des Mondes aber lediglich etwa  $0,5^\circ$  beträgt. Mondfinsternisse beobachtet man nur, wenn sich der Vollmond an einem Knotenpunkt befindet, wenn also Mond, Erde und Sonne exakt auf einer Geraden liegen.



Mondphasen, wie sie ein Beobachter auf der Nordhalbkugel der Erde sieht:



## 2.1 Materialien zum Gruppenthema 1

### M3 Kleinkörper

Handelt es sich bei einem Himmelskörper nicht um einen Planeten, Zwergplaneten oder Mond, so wird er Kleinkörper genannt. Auch hier unterscheidet man verschiedene Typen.

#### Asteroiden

Die meisten Asteroiden befinden sich im Asteroidengürtel zwischen den Bahnen von Mars und Jupiter. Daneben beobachtet man etliche weitere Gruppierungen von Asteroiden.

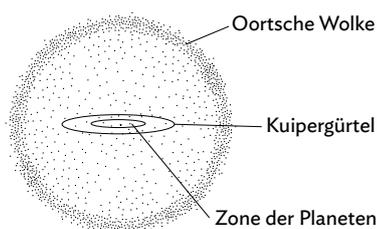
Zur Entstehung von Asteroiden gibt es zwei Theorien: Entweder handelt es sich um Bruchstücke, die bei der Kollision von Himmelskörpern entstanden sind, oder um Gesteinsbrocken, die zu wenig Masse hatten, um zu einem Planeten zu werden. Die zweite Theorie gilt als wahrscheinlicher, da beispielsweise

Jupiter aufgrund seiner Gravitationswirkung die Entstehung von Körpern mit mehr als 1000 km Durchmesser verhinderte. Das größte im Asteroidengürtel entdeckte Objekt mit einem Durchmesser von 964 km ist Ceres, die allerdings zur Klasse der Zwergplaneten gerechnet wird.

#### Kuipergürtel

30 bis 50 AE von der Sonne entfernt befindet sich nahe der Ekliptik-Ebene der sogenannte Kuipergürtel, der nach dem holländischen Astronomen Gerard Kuiper benannt ist. Die Himmelskörper im Kuipergürtel heißen auch transneptunische Objekte, da sie sich jenseits von Neptun befinden. Ihre Bahnen sind oft exzentrischer als die Planetenbahnen. Die größten bekannten Objekte des Kuipergürtels sind die Zwergplaneten Pluto, Eris, Haumea und Makemake sowie der Plutomond Charon.

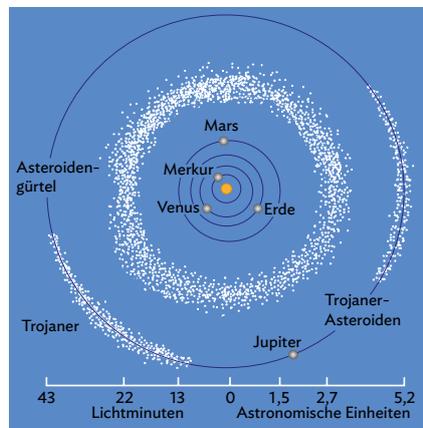
#### Oortsche Wolke



In einer Entfernung von 300 bis 100 000 AE (Letzteres entspricht fast 1,5 Lichtjahren.) befindet sich vermutlich eine Wolke aus Gesteins-, Staub- und Eiskörpern, aus denen bei der Entstehung des Sonnensystems keine Planeten entstanden sind. Sie wird nach dem holländischen Astronomen Jan Hendrik Oort als Oortsche Wolke bezeichnet, ist allerdings bis heute nicht sicher nachgewiesen.

### Arbeitsauftrag

- Informieren Sie sich anhand des Textes und weiterer Quellen darüber, wie folgende Fachbegriffe definiert sind, in welchem Bezug sie zueinander stehen und wie sie sich gegeneinander abgrenzen lassen:
  - Asteroid
  - Kuipergürtel
  - Oortsche Wolke
- Erweitern Sie die erstellte Concept-Map erneut.
- Tauschen Sie sich mit Mitschülerinnen und Mitschülern aus anderen Dreiergruppen aus, vergleichen Sie Ihre Ergebnisse und überarbeiten Sie gegebenenfalls Ihre Concept-Map.



Objekt	mittlerer Durchmesser
Pluto	2375 km
Eris	2326 km
Haumea	1680 – 2100 km
Makemake	1430 – 1502 km
Charon	1212 km

#### M4 Weitere Kleinkörper

##### Meteoroiden

Meteoroiden umlaufen meistens die Sonne, sind aber kleiner als Asteroiden. Treten sie in die Erdatmosphäre ein, so verglühen sie dort in der Regel vollständig. Weil die Luft dabei ionisiert wird, kann man dies als Leuchterscheinung wahrnehmen (Meteor oder Sternschnuppe). Bei Meteoroiden kann es sich um Gesteins- oder Metallbrocken oder um Überreste von Kometen handeln. Die im August bzw. im November beobachtbaren Meteorschauer der Perseiden und Leoniden werden beispielsweise durch Bruchstücke von Kometen verursacht.

Wird ein größerer Meteoroid in der Erdatmosphäre abgebremst, so kann es zu einer sehr hellen Leuchterscheinung kommen, die manchmal von einem lauten Knall begleitet wird. Solche Ereignisse bezeichnet man als Feuerkugeln oder Boliden.

Einen Gesteins- oder Metallbrocken, der nicht vollständig verglüht und die Erde erreicht, nennt man Meteorit.

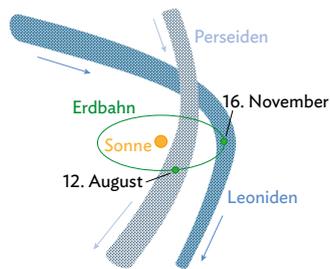
##### Kometen

Kometen bestehen aus Eis und Staub. Der Kometenforscher Fred Whipple prägte hierfür das Bild vom „schmutzigen Schneeball“. Kometenkerne haben Durchmesser von 1 bis 100 km. Viele Kometen bewegen sich auf stark exzentrischen Bahnen und sind von der Erde aus nur sichtbar, wenn sie der Sonne nahekommen.

Nähert sich ein Kometenkern der Sonne auf 5 bis 10 AE (Saturn- bis Jupiterentfernung), so bildet sich um ihn eine Gas- und Staubwolke, die Koma, die man manchmal im Teleskop sehen kann. Sie kann einen Durchmesser von mehreren 100 Erddurchmessern erreichen. Nur wenige Kometen bilden einen oder sogar zwei Schweife. Hierfür müssen sie sich der Sonne etwa bis auf den Radius der Marsbahn nähern.

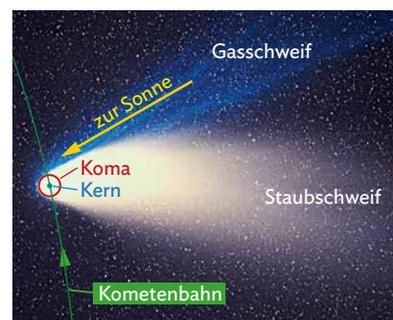
Der Gasschweif ist schmal, langgestreckt und immer von der Sonne radial weggerichtet. Dies ist ein Hinweis auf seine Ursache, den Sonnenwind, einen Teilchenstrom aus geladenen Elektronen und Protonen, die Ionen aus der Koma mit sich reißen. Bei manchen Kometen, wie bei dem 1997 gut sichtbaren Kometen Hale-Bopp, beobachtet man außerdem einen Schweif aus Kometenstaub. Dieser wird durch den Strahlungsdruck der Sonne verursacht. Er erscheint diffus und aufgrund der Trägheit der Staubteilchen entgegen der Bewegungsrichtung des Kometen gekrümmt.

Kometenschweife können Längen von bis zu mehreren 100 Millionen Kilometer erreichen. Kurzperiodische Kometen haben eine Umlaufdauer von weniger als 200 Jahren und kommen meist aus dem Kuipergürtel. Langperiodische Kometen dagegen stammen vermutlich aus der Oortschen Wolke. Sie besitzen so lange Umlaufzeiten, dass sie im Lauf der Menschheitsgeschichte höchstens einmal beobachtet werden können.



##### Arbeitsauftrag

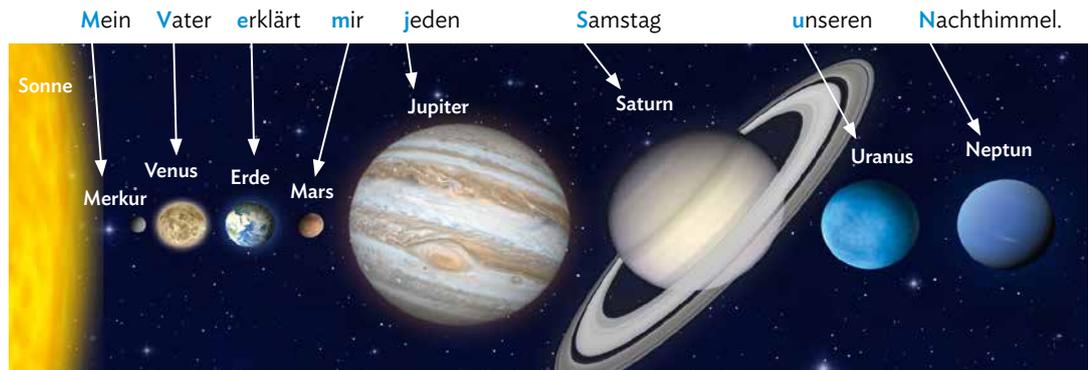
- Informieren Sie sich anhand des Textes und weiterer Quellen darüber, wie folgende Fachbegriffe definiert sind, in welchem Bezug sie zueinander stehen und wie sie sich gegeneinander abgrenzen lassen:
  - Meteoroid
  - Meteor
  - Meteorschauer
  - Meteorit
  - Komet
- Erweitern Sie die erstellte Concept-Map erneut.
- Tauschen Sie sich mit Mitschülerinnen und Mitschülern aus anderen Gruppen aus, vergleichen Sie Ihre Ergebnisse und überarbeiten Sie gegebenenfalls Ihre Concept-Map.
- Fertigen Sie eine Zeichnung an, die die Lage der Himmelskörper im Sonnensystem veranschaulicht. Machen Sie Ihrem Kurs sowohl die Zeichnung als auch die Concept-Map zugänglich.



## 2.2 Material zum Gruppenthema 2

### M1 Planeten unseres Sonnensystems

Ein Merkspruch hilft, sich die Reihenfolge der Planeten mit zunehmendem Abstand von der Sonne zu merken:



#### Merkur

- kleinster Planet des Sonnensystems – etwa so groß wie der Erdmond
- dünne Atmosphäre
- sehr schwaches Magnetfeld (Dipol)
- kein Mond
- Temperaturschwankung von 600 °C
- Ein Merkurtag dauert zwei Merkurjahre.



#### Venus

- Gesteinsplanet und fast so groß wie die Erde
- Die Albedo beträgt 0,77 und ist damit sehr hoch, die Venus strahlt auffällig hell.
- sehr dichte, für den Menschen giftige Atmosphäre (Kohlendioxid, Schwefelsäure)
- kein Mond
- kein eigenes Magnetfeld
- wärmster Planet aufgrund eines sehr starken Treibhauseffekts
- Eigenrotation in im Vergleich zu allen anderen Planeten umgekehrter Richtung



#### Erde

- Atmosphäre mit im Vergleich zur Venus geringem Treibhauseffekt
  - ein vergleichsweise großer Mond
  - Magnetfeld (Dipol)
  - flüssiges Wasser
  - einziger bekannter Planet, auf dem Leben möglich ist
- Weitere Informationen finden Sie auf den Seiten 195 und 196.



#### Mars

- rote Erscheinung (Eisenoxid)
- dünne Atmosphäre (Kohlendioxid)
- zwei kleine Monde: Phobos (Furcht) und Deimos (Schrecken); vermutlich eingefangene Asteroiden
- kein eigenes Magnetfeld
- 2008: Nachweis von gefrorenem Eis
- weiße Polkappen aus gefrorenem Kohlenstoffdioxid (Trockeneis) und etwas Wassereis
- Valles Marineris: größtes bekanntes Grabensystem des Sonnensystems



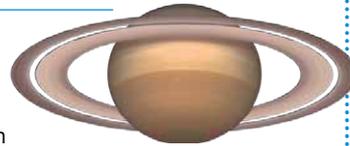
## B \ Das Sonnensystem

**Jupiter**

- Atmosphäre: Wolkenbänder, Großer Roter Fleck (riesiger Wirbelsturm)
- 95 Monde (Stand: 05/2024)
- ausgeprägtes Magnetfeld (Dipol, ähnelt Erdmagnetfeld)
- Ringsystem

**Saturn**

- Atmosphäre
- 146 Monde (Stand: 05/2024)
- größter Mond Titan (einziger Mond des Sonnensystems mit dichter Atmosphäre)
- ausgeprägtes Magnetfeld (Dipol)
- stark ausgeprägtes Ringsystem

**Uranus**

- Die Atmosphäre enthält Methangas (absorbiert rotes Licht, wodurch ein blauer Farbeindruck entsteht).
- 28 Monde (Stand: 05/2024)
- Magnetfeld (Quadrupol)
- Ringsystem
- „rollender Planet“: Die Rotationsachse liegt in der Bahnebene.

**Neptun**

- Eine ähnliche Zusammensetzung der Atmosphäre wie bei Uranus erklärt die Blaufärbung.
- 16 Monde (Stand: 05/2024)
- Magnetfeld (Quadrupol)
- Ringsystem
- stärkste Winde aller Gasriesen mit Geschwindigkeiten bis zu 1600 km/h

**Arbeitsauftrag**

1. Die Gruppen arbeiten nun arbeitsteilig, so dass zu jedem Planeten unseres Sonnensystems ein Steckbrief entsteht.
  - a) Informieren Sie sich anhand des Materials, der Formelsammlung und weiterer Quellen zu einem oder zwei Planeten unseres Sonnensystems über folgende Eigenschaften: große Halbachse, Exzentrizität der Umlaufbahn, siderische Umlaufdauer, siderische Rotationsdauer, mittlerer Radius, Masse, mittlere Dichte, Temperatur, Atmosphäre, Magnetfeld, Monde, Besonderheiten des jeweiligen Planeten.
  - b) Sammeln Sie diese Informationen in Form eines Steckbriefs an einer digitalen Pinnwand. Wägen Sie dabei ab, wie ausführlich der Steckbrief sein muss, damit er informativ bleibt.

Tipps zur Erstellung von digitalen Pinnwänden finden Sie auf S. 43.

2. Verwenden Sie zur Bearbeitung folgender Teilaufgaben eine Planetariums-Software.
  - a) Bestimmen Sie die Jupitermonde, die heute mit dem Teleskop sichtbar wären. Ist Jupiter gerade nicht sichtbar, dann stellen Sie einen geeigneten Tag in der App ein und bearbeiten damit die Aufgabe.
  - b) Bestimmen Sie mit Hilfe der Planetariums-Software und einer Mondkarte die heute sichtbaren Mondmeere. Begründen Sie, warum die Rückseite des Mondes von der Erde aus nie sichtbar ist.

## Selbsttest: Überprüfen Sie Ihre Kenntnisse und Kompetenzen



### Selbsttest-Checkliste

- ✓ Bearbeiten Sie die Aufgaben schriftlich in ordentlicher Form. Die Auswertungstabelle zeigt die Kompetenzerwartungen und Hilfestellungen.
- ✓ Vergleichen Sie Ihre Lösungen mit den Lösungsskizzen unter [MC 67056-06](#)
- ✓ Bewerten Sie nun Ihre Lösungen mit den Symbolen 😊, 😐 oder 😞.



MC 67056-07

Mit Hilfe des QR-Codes können Sie vorab einen digitalen Selbsttest zum Thema Himmelskörper durchführen.

### Selbsttest Himmelskörper

- 1 Der unregelmäßig geformte, knapp 60 km lange Asteroid Ida wurde 1884 im Asteroidengürtel entdeckt. 1993 wurden von der Raumsonde Galileo Bilder des Asteroiden zur Erde geschickt. Es zeigte sich, dass Ida einen knapp 1,4 km großen Mond besitzt. Man nannte ihn Dactyl.
  - a) Erklären Sie einer anderen Person, warum Ida nicht zu den Planeten zählt.
  - b) Erläutern Sie, warum es sich bei Dactyl um einen Mond und nicht um einen Meteoroiden handelt.
  - c) Der Komet Hale-Bopp wurde 1995 entdeckt. Sein Kern hatte einen Durchmesser von etwa 60 km und war damit etwa so groß wie Ida. Beschreiben Sie Unterschiede von Ida und Hale-Bopp bezüglich Aufbau und Bahnform.
  - d) Beschreiben Sie wesentliche Unterschiede zwischen Ida und Hale-Bopp, die sich bei der Beobachtung der beiden Himmelskörper zeigen.



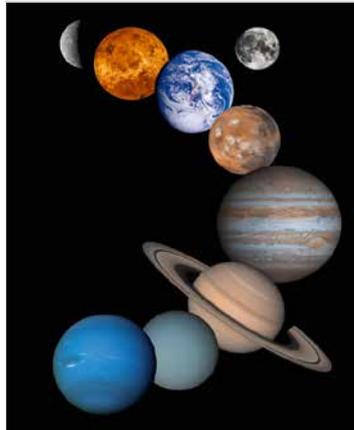
- 2 Der 1998 entdeckte Asteroid Itokawa gehört zu einer Gruppe von Asteroiden, die der Erde besonders nahekommen. Itokawa umläuft die Sonne innerhalb von 557 Tagen. Auf seiner elliptischen Umlaufbahn um die Sonne nähert sich der Asteroid der Sonne auf bis zu 0,95 AE. Seine größte Entfernung zur Sonne beträgt 1,70 AE. Die Bahnebene von Itokawa ist um 1,614° gegen die Ekliptik geneigt.
  - a) Nennen Sie zwei Unterschiede zwischen Asteroiden und Planeten.
  - b) Beurteilen Sie, ob von Itokawa eine potenzielle Gefahr für die Erde ausgeht.

### Auswertungstabelle

Ich kann ...	Hilfe
1 Himmelskörper in Planeten, Zwergplaneten Kleinkörper und Monde unterteilen und sie begründet unterscheiden.	S. 44 ff.
2 beschreiben, wie Planeten definiert sind, und Gesteins- und Gasplaneten unterscheiden.	S. 44
3 die Lage der verschiedenen Himmelskörper im Sonnensystem skizzieren.	S. 44 ff.
4 die Begriffe Meteoroid, Meteor, Meteorit und Meteorschauer unterscheiden.	S. 47
5 den Aufbau von Kometen und die Entstehung ihrer Schweife beschreiben.	S. 47

**Selbsttest Planeten**

1 Beschreiben Sie anhand der Steckbriefe (S. 48 f.) Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Planeten unseres Sonnensystems. Gehen Sie dabei auf die Bahnparameter, die Temperatur, die Atmosphäre, das Magnetfeld und die Anzahl der Monde ein.



2 Nehmen Sie zu folgenden Aussagen begründet Stellung:

- a) „Die Temperatur auf der Venus ist extrem groß, da sie sich sehr nah an der Sonne befindet.“
- b) „Auf Uranus geht die Sonne nie unter.“
- c) „Leben ist nicht nur auf der Erde, sondern auch auf Venus und Mars möglich.“
- d) „Die Planeten Jupiter und Saturn sind an den Polen stark abgeplattet, weil sie so schwer sind.“
- e) „Es gibt zwei Planeten, die etwa gleich groß sind.“

3 Flüssiges Wasser gilt als eine der wichtigsten Voraussetzungen für die Entstehung von Leben. Begründen Sie unter diesem und anderen Aspekten, welche Planeten des Sonnensystems lebensfreundlich sein könnten.

4 a) Fertigen Sie eine maßstabsgetreue Skizze der Venus- und der Erdbahn als kreisförmige Bahnen an. Markieren Sie die Erde und zeichnen Sie die Venus in größter Elongation ein.

b) Erklären Sie, wie die abgebildeten Venusphasen zustande kommen, und ordnen Sie den dargestellten Phasen entsprechende Positionen der Venus in Ihrer Skizze zu.



- c) Erläutern Sie, warum die Venus als Morgen- und Abendstern bezeichnet wird.
- d) Entscheiden Sie begründet, ob man die Venus um Mitternacht beobachten kann.

**Auswertungstabelle**

Ich kann ...	Hilfe
1 die Planeten des Sonnensystems anhand ihrer Eigenschaften klassifizieren.	S. 48 f.
2 Zusammenhänge zwischen Eigenschaften eines Planeten begründen.	S. 48 f.
3 die Beobachtbarkeit von Planeten beurteilen.	S. 22 ff.
4 beurteilen, ob auf einem Himmelskörper im Sonnensystem möglicherweise Leben entstehen kann.	S. 48 ff.



# 3 Planetenbahnen und Raumfahrt

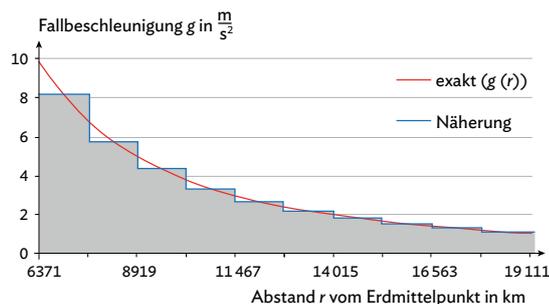
## Material zu Kapitel 3.1

### M1 Potenzielle Energie und Fallbeschleunigung im Gravitationsfeld der Erde

Wird ein Körper nahe der Erdoberfläche hochgehoben, so geht man vereinfachend davon aus, dass der Betrag der Fallbeschleunigung konstant  $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  ist. Beim Start einer Rakete vergrößert sich allerdings der Abstand der Rakete zur Erde derart, dass sich die Abhängigkeit der gegenseitigen Gravitationskraft vom Abstand zwischen Rakete und Erde bemerkbar macht. Die Annahme einer konstanten Fallbeschleunigung ist dann nicht mehr zulässig. Mit der Methode der kleinen Schritte kann man die Fallbeschleunigung als Funktion  $g(r)$  modellieren:

Der Abstand  $r$  vom Erdmittelpunkt, in dem sich die Rakete befindet, wird in  $n$  gleich große Abschnitte  $\Delta r$  mit  $r = n \cdot \Delta r$  aufgeteilt, wobei die Fallbeschleunigung entlang dieser Wegabschnitte jeweils konstante, aber immer kleinere Werte  $g_i$  mit  $1 \leq i \leq n$  annimmt (blaue Treppenfunktion).

Lässt man die Wegabschnitte  $\Delta r$  sehr klein werden, so nähert sich die Treppenfunktion dem roten Graphen von  $g(r)$  an, die den Betrag der Fallbeschleunigung in Abhängigkeit vom Abstand  $r$  zum Erdmittelpunkt beschreibt.



Mit Hilfe der Methode der kleinen Schritte kann man auch den Betrag der potenziellen Energie im Abstand  $r$  vom Erdmittelpunkt abschätzen: Die Rechtecksflächen unter den Stufen der Treppenfunktion werden durch die Produkte  $\Delta r \cdot g_i$  berechnet. Multipliziert man diese Produkte mit der Masse  $m$  der Rakete, so erhält man Energieportionen  $\Delta E_{\text{pot},i} = m \cdot g_i \cdot \Delta r$ , deren Summe den Betrag der potenziellen Gesamtenergie der Rakete im Abstand  $r$  vom Erdmittelpunkt ergibt:

$$E_{\text{pot}}(r) = \sum_{i=1}^n \Delta E_{\text{pot},i} = \sum_{i=1}^n m \cdot g_i \cdot \Delta r$$

### Arbeitsauftrag

- Leiten Sie aus dem Gravitationsgesetz mit Hilfe des 2. Newtonschen Gesetzes die Formel für  $g(r)$  her. Bestätigen Sie mit Hilfe eines dynamischen Geometrieprogramms den Verlauf der roten Kurve als Graph der Funktion  $g(r)$ .
- Ermitteln Sie anhand des Graphen der Funktion  $g(r)$  die Höhe über der Erdoberfläche, in der die Fallbeschleunigung  $g$  nur noch halb so groß ist wie an der Erdoberfläche.
- Eine Raumkapsel in einer Höhe von  $4,0 \cdot 10^3$  km über dem Erdboden, die sich dort mit einer Geschwindigkeit von  $7,2 \frac{\text{km}}{\text{s}}$  bewegt, soll zur Erde zurückkehren. Sowohl die potenzielle als auch die kinetische Energie der Raumkapsel müssen in andere Energieformen umgewandelt werden, damit sie sicher landen kann. Beschreiben Sie, welche Energieumwandlungsprozesse in der Atmosphäre stattfinden und welche Effekte beim Abbremsvorgang eine Rolle spielen könnten.



## Material zu Kapitel 3.2

### M2 Grenzen der Raumfahrt

Beim Blick in den nächtlichen Sternenhimmel erscheinen die Sterne dicht gedrängt, ein Eindruck, der sich bei der Benutzung eines Fernglases oder Fernrohrs noch verstärkt. Die Vielzahl der sichtbaren Sterne motiviert die Menschheit seit Jahrhunderten, über mögliches extraterrestrisches Leben und über Raumfahrt zu anderen Planeten oder gar zu anderen Sternen nachzudenken.



Tatsächlich sind die Entfernungen zwischen den Himmelsobjekten jedoch so groß, dass Entdeckungsfahrten, wie sie z. B. von Christoph Kolumbus oder Vasco da Gama im 15. und 16. Jahrhundert auf den irdischen Weltmeeren durchgeführt wurden, im Weltall nahezu ausgeschlossen sind.



Christoph Kolumbus brach als erster zu einer Fahrt von Spanien über den Atlantik auf und betrat am 12. Oktober 1492 amerikanisches Festland.

Bemannte Raumflugkörper, wie sie beispielsweise bei den Apollo-Missionen eingesetzt wurden, erreichen Geschwindigkeiten von etwa  $10 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ . Ein Flug von der Erde zum Planeten Neptun würde bei dieser Reisegeschwindigkeit mindestens 14 Jahre dauern.

Christoph Kolumbus konnte auf seiner Schiffsroute Zwischenstopps einlegen, um Trinkwasser und Nahrung aufzunehmen. Auf der Reise zu anderen Planeten liegen keine Häfen entlang der Reiseroute.

### Arbeitsauftrag

- Informieren Sie sich über die Dauer der ersten Reise von Kolumbus von Europa nach Amerika, über technische und organisatorische Herausforderungen sowie über Probleme mit der Disziplin an Bord während der Überfahrt. Diskutieren Sie ähnliche Herausforderungen auf möglichen Reisen durch das Sonnensystem.
- Die sonnennächsten Sterne sind von der Sonne einige Lichtjahre entfernt:

Name	Entfernung in Lj
Proxima Centauri	4,25
$\alpha$ Centauri	4,34
Barnardscher Pfeilstern	5,96
Luhman 16	6,50

Recherchieren Sie die aktuelle Geschwindigkeit der am weitesten entfernten Raumsonde Voyager 1 und schätzen Sie damit die hypothetische Flugzeit zu den sonnennächsten Sternen ab.

- Diskutieren Sie mögliche Herausforderungen betreffend Energie- und Lebensmittelversorgung bzw. Mannschaftsgröße bei einem bemannten Flug zu den sonnennächsten Sternen mit aktuell erreichbaren Geschwindigkeiten.
- Könnte man ein Raumschiff auf 90 % der Lichtgeschwindigkeit beschleunigen, würden sich Effekte der Relativitätstheorie bemerkbar machen. Die Reisedauer zu Proxima Centauri würde sich für die Mannschaft auf bis zu etwa 2 Jahre verkürzen. Diskutieren Sie prinzipielle Grenzen eines solchen Vorhabens.

### 3.1 Keplersche Gesetze



**B1** Johannes Kepler  
(1571 – 1630)

Machen Sie sich klar, welche besonderen Eigenschaften die Parameter  $a$ ,  $b$  und  $e$  in einem Kreis haben.

#### Von Kreisbahnen zu Ellipsenbahnen

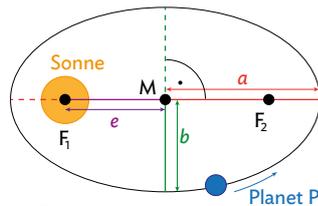
Der deutsche Mathematiker und Astronom Johannes Kepler löste sich als erster von der auf Aristoteles (384 – 322 v. Chr.) zurückgehenden Annahme, dass sich die Planeten auf Kreisbahnen bewegen. Durch die sorgfältige Auswertung von Beobachtungsdaten konnte Kepler zeigen, dass die Bahn des Mars nicht kreisförmig, sondern eine Ellipse ist (M1). Diese Erkenntnis lässt sich auf alle Planeten übertragen.

Eine **Ellipse** ist der geometrische Ort aller Punkte  $P$ , für welche die Summe der Abstände zu den beiden Brennpunkten  $F_1$  und  $F_2$  konstant ist.

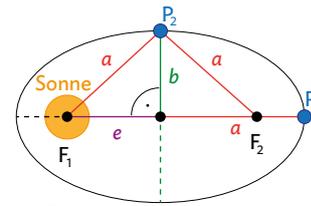
Die Abweichung einer Ellipse von der Kreisform nimmt mit dem Abstand ihrer Brennpunkte zu. Ein Kreis ist der Sonderfall einer Ellipse, deren Brennpunkte im Kreismittelpunkt  $M$  zusammenfallen. Die Form einer Ellipse wird durch die in B2 dargestellten Parameter  $a$  (große Halbachse),  $b$  (kleine Halbachse) und  $e$  (lineare Exzentrizität) festgelegt. Für alle Punkte  $P$  auf der Ellipsenbahn gilt:  $|F_1P| + |F_2P| = 2a$ . In B3 ist dies leicht erkennbar, wenn man den Planeten an die Position  $P_1$  setzt. Befindet sich der Planet an der Stelle  $P_2$ , so entsteht ein gleichschenkeliges Dreieck  $\Delta F_1F_2P_2$  mit der Schenkellänge  $a$  und der Höhe  $b$ . Mit dem Satz von Pythagoras folgt  $e = \sqrt{a^2 - b^2}$ .

Als Maßzahl für die Abweichung einer Ellipse von der Kreisform verwendet man die **numerische Exzentrizität** oder **Bahnexzentrizität**  $\varepsilon = \frac{e}{a} = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$ .

Für die numerische Exzentrizität gilt  $0 \leq \varepsilon < 1$ . Eine Ellipse mit  $\varepsilon = 0$  ist kreisförmig. Je mehr sich die Exzentrizität  $\varepsilon$  dem Wert 1 nähert, desto langgestreckter wird die Ellipse.



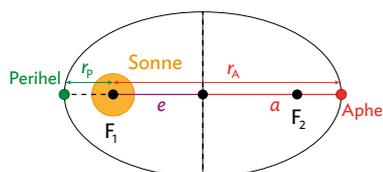
**B2** Bahnellipse eines Planeten



**B3** Lineare Exzentrizität

#### 1. Keplersches Gesetz (Ellipsensatz)

Die Planeten bewegen sich auf Ellipsenbahnen um die Sonne, die in einem ihrer Brennpunkte steht.



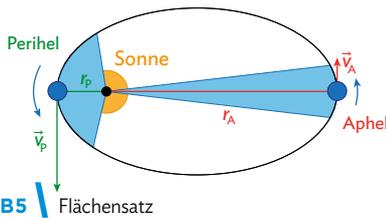
**B4** Aphel- und Periheldistanz

Der Punkt auf der Ellipsenbahn, der den größten Abstand von der Sonne hat, heißt Aphel. Der sonnennächste Punkt auf der Ellipsenbahn heißt Perihel (B4). Für die größte und die kleinste Entfernung eines Planeten von der Sonne gilt:  
Apheldistanz:  $r_A = a + e = a \cdot (1 + \varepsilon)$   
Periheldistanz:  $r_P = a - e = a \cdot (1 - \varepsilon)$

B \ Das Sonnensystem

**2. Keplersches Gesetz (Flächensatz)**

Die Verbindungsstrecke (Leitstrahl) zwischen der Sonne und einem Planeten überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen.



Aus dem Flächensatz folgt: Die Bahngeschwindigkeit eines Planeten ist umso größer, je näher er der Sonne auf seiner Ellipsenbahn kommt.

Das Produkt der Bahngeschwindigkeit  $v$  eines Planeten und seiner Entfernung  $r$  zur Sonne ist im Perihel und im Aphel seiner Bahn gleich:  $r_P \cdot v_P = r_A \cdot v_A$ .

Der QR-Code führt zu einer Animation des Flächensatzes:



MC 67056-08

Ein Beweis dieser Aussage findet sich unter:



MC 67056-09

**3. Keplersches Gesetz**

Für alle Planeten des Sonnensystems ist das Verhältnis des Quadrats der siderischen Umlaufdauer  $T$  zur dritten Potenz der großen Halbachse  $a$  gleich:

$$\frac{T^2}{a^3} = \text{konstant}$$

Machen Sie sich klar, dass für alle Planeten des Sonnensystems gilt:

$$\frac{T^2}{a^3} = 1 \frac{\text{a}^2}{\text{AE}^3}$$

Die drei Keplerschen Gesetze gelten nicht nur für die Planeten des Sonnensystems, sondern für alle Himmelskörper, die einen anderen Himmelskörper umlaufen; beispielsweise für Kometen oder die Monde eines Planeten, aber auch für künstliche Satelliten.

**Arbeitsaufträge**

- 1\ Die drei Keplerschen Gesetze beschreiben, wie sich die Planeten auf ihren Umlaufbahnen bewegen.
  - a) Begründen Sie, dass numerische Exzentrizitäten grundsätzlich Werte im Bereich  $0 \leq \epsilon < 1$  haben und dass die Form einer Ellipsenbahn einem Kreis umso ähnlicher ist, je kleiner der Wert von  $\epsilon$  ist.
  - b) Interpretieren Sie die Exzentrizitäten der Planetenbahnen hinsichtlich der Bahnformen.
  - c) Tragen Sie in eine Skizze der Bahn des Merkurs die Sonne und den Merkur zu dem Zeitpunkt ein, zu dem die Bahngeschwindigkeit des Merkurs maximal ist. Begründen Sie Ihre Entscheidung mit Hilfe des Flächensatzes.
  - d) Begründen Sie mit Hilfe des 2. Keplerschen Gesetzes, dass die Bahngeschwindigkeit eines Planeten als konstant betrachtet werden darf, wenn seine Bahn als kreisförmig angenommen wird.
  - e) Überzeugen Sie sich von der Gültigkeit des 3. Keplerschen Gesetzes, indem sie es auf die acht Planeten des Sonnensystems anwenden.
- 2\ Der im Jahr 2020 entdeckte Komet NEOWISE umläuft die Sonne auf einer elliptischen Bahn mit der Exzentrizität  $\epsilon \approx 0,99921$  und der großen Halbachse  $358,5 \text{ AE}$ . Beschreiben Sie die Form der Bahn des Kometen und berechnen Sie die größte und die kleinste Entfernung zur Sonne, die NEOWISE erreicht.
- 3\ Der Zwergplanet Pluto umläuft die Sonne auf einer Ellipsenbahn mit der numerischen Exzentrizität  $\epsilon = 0,249$ . Im Aphel seiner Bahn ist er  $49,304 \text{ AE}$  von der Sonne entfernt und seine Geschwindigkeit beträgt  $3,68 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ . Berechnen Sie den Sonnenabstand und die Bahngeschwindigkeit des Pluto im Perihel seiner Bahn.



## 3.2 Gravitationsgesetz



**B1** Isaac Newton  
(1643 – 1727)

Machen Sie sich klar, wodurch sich eine empirisch gewonnene von einer theoretisch abgeleiteten Gesetzmäßigkeit unterscheidet.

### Die Gravitationskraft als Ursache der Planetenbewegungen

Die Keplerschen Gesetze beschreiben, wie sich die Planeten bewegen. Warum sich die Planeten auf Ellipsenbahnen um die Sonne bewegen, wusste Johannes Kepler allerdings noch nicht. Die Antwort darauf fand der englische Physiker Isaac Newton:

Die Ursache der Bewegung eines Planeten um die Sonne ist die gegenseitige Massenanziehung zwischen Sonne und Planet.

Zwischen Sonne (☉) und Planet (P) wirkt die **Gravitationskraft**  $F_G = G \cdot \frac{m_\odot \cdot m_P}{r^2}$  mit der Gravitationskonstanten  $G = 6,6738 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}$ .

Mit dem im Jahr 1687 veröffentlichten Gravitationsgesetz lieferte Newton die theoretische Grundlage für die Beschreibung der Planetenbahnen. Damit war die Entscheidung für das heliozentrische Weltmodell endgültig gefallen.

### Herleitung des 3. Keplerschen Gesetzes

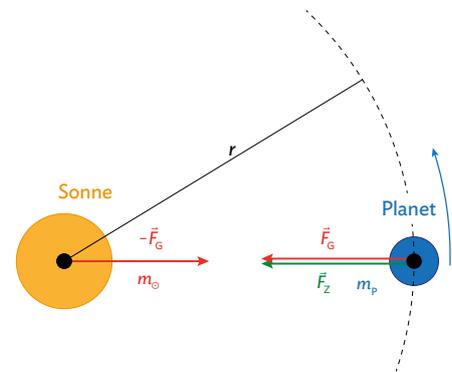
Johannes Kepler fand das 3. Keplersche Gesetz empirisch durch die Auswertung von Beobachtungsdaten zur Bahn des Planeten Mars. Mit Hilfe des Newtonschen Gravitationsgesetzes kann man das 3. Keplersche Gesetz aus der Theorie ableiten und den Wert der Kepler-Konstanten  $\frac{T^2}{a^3}$  bestimmen.

Um die Berechnungen zu vereinfachen, verwenden wir die Kreisbahnäherung. Die große Halbachse  $a$  der Planetenbahn entspricht dann dem Radius  $r$  einer Kreisbahn. Die Gravitationskraft  $\vec{F}_G$  übernimmt die Rolle der für jede Bewegung auf einer Kreis- aber auch auf einer Ellipsenbahn notwendigen Zentripetalkraft  $\vec{F}_Z$ :

$$F_Z = F_G \Leftrightarrow m_P \cdot \frac{v_P^2}{r} = G \cdot \frac{m_\odot \cdot m_P}{r^2}$$

Die Bahngeschwindigkeit  $v_P$  des Planeten wird in der Kreisbahnäherung zu einer konstanten Geschwindigkeit, für die mit der siderischen Umlaufdauer  $T$  des Planeten gilt:  $v_P = \frac{2\pi \cdot r}{T}$ .

Nach Einsetzen von  $v_P$  und Kürzen von  $m_P$  folgt:  $\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{G \cdot m_\odot} = \text{konstant}$ .



**B2** Gravitationskraft zwischen Sonne und Planet

### Das dritte Keplersche Gesetz in seiner allgemeinen Formulierung

Das **3. Keplersche Gesetz** in der Form  $\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{G \cdot M}$  beschreibt die Bewegung aller Himmelskörper, die einen deutlich massereicheren Himmelskörper mit der Masse  $M$  auf einer Ellipsenbahn mit der großen Halbachse  $a$  umlaufen.

Der Wert der Kepler-Konstanten  $\frac{4\pi^2}{G \cdot M}$  hängt von der Masse  $M$  des Himmelskörpers ab, der in einem der Brennpunkte der Bahnellipse steht. Beispielsweise ergibt sich für die Bahn des Mondes um die Erde eine andere Kepler-Konstante als für die Bahn der Erde um die Sonne.

## B \ Das Sonnensystem

Eine weitere Verallgemeinerung des 3. Keplerschen Gesetzes für die Bewegung zweier Himmelskörper um ihren gemeinsamen Schwerpunkt wird bei der Behandlung von Doppelsternsystemen in Kap. 7.5 vorgestellt.

**Bestimmung von Planetenmassen**

Hat ein Planet Monde, so kann man seine Masse  $m_p$  aus der Umlaufdauer  $T_M$  und dem Bahnradius  $r_M$  von einem dieser Monde bestimmen. Dabei wendet man das 3. Keplersche Gesetz in seiner allgemeinen Formulierung an.

Der Planet Saturn hat beispielsweise mindestens 146 Monde, von denen der größte den Namen Titan trägt. Titan umläuft den Saturn innerhalb von 15,945 Tagen auf einer nahezu kreisförmigen Bahn mit einem Radius von 1,222 Millionen Kilometern. Das 3. Keplersche Gesetz in seiner Anwendung auf Saturn und Titan lautet:

$$\frac{T_{\text{Titan}}^2}{r_{\text{Titan}}^3} = \frac{4\pi^2}{G \cdot m_{\text{Saturn}}}$$

Für die Masse des Saturns folgt:

$$m_{\text{Saturn}} = \frac{4\pi^2}{G} \cdot \frac{r_{\text{Titan}}^3}{T_{\text{Titan}}^2} = \frac{4\pi^2}{6,6738 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}} \cdot \frac{(1,222 \cdot 10^9 \text{ m})^3}{(15,945 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s})^2} \approx 5,69 \cdot 10^{26} \text{ kg} \approx 95,2 \cdot m_{\text{Erde}}$$

Hat ein Planet keine Monde, so kann seine Masse mit Hilfe eines künstlichen Satelliten bestimmt werden, der den Planeten umläuft.



B3 | Saturn und sein Mond Titan

**Arbeitsaufträge**

- 1) Beurteilen Sie die Bedeutung des Newtonschen Gravitationsgesetzes für die Entwicklung des Weltbildes. Stellen Sie Ihre Ergebnisse in einer Präsentation zusammen.
- 2) Ermitteln Sie mit Hilfe des Gravitationsgesetzes den Wert der Fallbeschleunigung auf dem Mond und vergleichen Sie diesen mit der Fallbeschleunigung an der Erdoberfläche.
- 3) Berechnen Sie die Werte der Kepler-Konstanten  $\frac{4\pi^2}{G \cdot M}$  für die Umlaufbahnen des Mars, des Erdmondes und des Halleyschen Kometen.
- 4) Ermitteln Sie die Masse der Erde ...
  - a) aus dem Wert der Fallbeschleunigung an der Erdoberfläche.
  - b) aus Umlaufdauer und mittlerem Bahnradius des Mondes.



Interpretieren Sie Ihr Ergebnis im Hinblick auf die Fortbewegung eines Astronauten auf dem Mond. Betrachten Sie dazu folgendes Video:

MC 67056-10



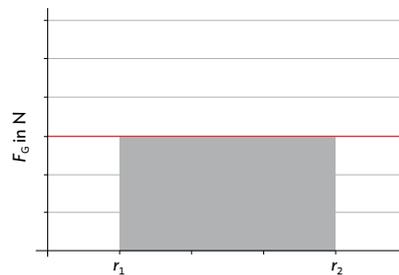
- 5) Der abgebildete Jupitermond Europa umläuft den Planeten Jupiter innerhalb von 3,551 Tagen auf einer nahezu kreisförmigen Bahn mit dem Radius  $671,1 \cdot 10^3 \text{ km}$ . Bestimmen Sie aus diesen Daten die Jupitermasse in kg und in Erdmassen.



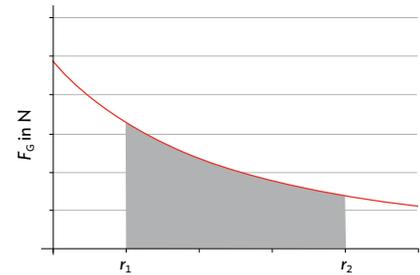
### 3.3 Potenzielle Energie im Gravitationsfeld

#### Potenzielle Energie im Gravitationsfeld

Wird ein Körper nahe der Erdoberfläche hochgehoben, so ändert sich seine potenzielle Energie:  $\Delta E_{\text{pot}} = F_G \cdot (r_2 - r_1)$ . Dabei sind  $r_1$  und  $r_2$  die Abstände des Körpers vom Erdmittelpunkt. Die Gewichtskraft  $F_G$  des Körpers kann bei geringen Höhenunterschieden  $r_2 - r_1$  als konstant betrachtet werden. Die Hubarbeit  $W = \Delta E_{\text{pot}}$  kann in B1 als Rechteckfläche zwischen dem Graphen von  $F_G$  und der  $r$ -Achse im Intervall  $[r_1; r_2]$  interpretiert werden.



B1 | Hubarbeit bei konstantem  $F_G$



B2 | Hubarbeit bei variablem  $F_G$

Beim Start einer Rakete werden so große Höhen erreicht, dass die Gewichtskraft der Rakete nicht mehr als konstant betrachtet werden darf. Die Gravitationskraft  $F_G(r)$  nimmt mit zunehmendem Abstand  $r$  zwischen Rakete und Erdmittelpunkt ab. Die Hubarbeit bzw. die Änderung der potenziellen Energie entspricht aber immer noch der Fläche zwischen dem Graphen der Funktion  $F_G(r)$  und der  $r$ -Achse im Intervall  $[r_1; r_2]$  (B2).

Überwindet die Rakete (Masse  $m_R$ ) den Höhenunterschied  $r_2 - r_1$ , so ergibt sich folgende Änderung ihrer potenziellen Energie im Gravitationsfeld der Erde (Masse  $m_E$ ):

$$\begin{aligned} \Delta E_{\text{pot}} &= \int_{r_1}^{r_2} F_G(r) dr = \int_{r_1}^{r_2} G \cdot \frac{m_E \cdot m_R}{r^2} dr = \left[ -G \cdot \frac{m_E \cdot m_R}{r} \right]_{r_1}^{r_2} = -G \cdot m_E \cdot m_R \left( \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right) \\ &= -G \cdot m_E \cdot m_R \cdot \frac{1}{r_2} - \left( -G \cdot m_E \cdot m_R \cdot \frac{1}{r_1} \right) = E_{\text{pot}}(r_2) - E_{\text{pot}}(r_1) \end{aligned}$$

Die zweite Zeile dieser Berechnung legt folgende Definition nahe:

Für die **potenzielle Energie** des Systems zweier Massen  $m_1$  und  $m_2$ , die sich im Abstand  $r$  zueinander befinden, gilt:

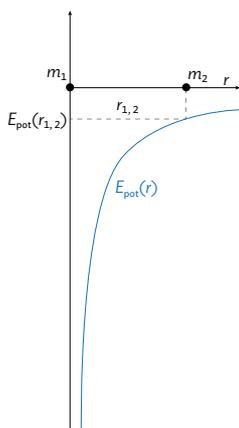
$$E_{\text{pot}}(r) = -G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r}$$

Aus dieser Definition ergeben sich zwei wichtige Eigenschaften der potenziellen Energie:  $E_{\text{pot}}(r) < 0$  und  $\lim_{r \rightarrow \infty} E_{\text{pot}}(r) = 0$ .

Für einen Raketenstart bedeutet dies: Die potenzielle Energie der Rakete im Gravitationsfeld der Erde nimmt mit der Höhe zu. In unendlich großer Entfernung wird der gravitative Einfluss der Erde auf die Rakete unmessbar klein. Deshalb geht die potenzielle Energie der Rakete im Gravitationsfeld der Erde in unendlich großer Entfernung gegen null.

Bei interplanetaren Flügen muss man den Einfluss anderer Himmelskörper auf die Änderung der potenziellen Energie berücksichtigen. Auf dem Weg von der Erde zum Mars beispielsweise beeinflussen Erde, Mars und Sonne das Gravitationsfeld, in dem sich ein Flugkörper bewegt.

i  $-\frac{1}{r}$  ist eine Stammfunktion der Funktion  $\frac{1}{r^2}$ .



B3 |  $E_{\text{pot}}(r)$  als Funktion des Abstands  $r$

**Musteraufgabe**

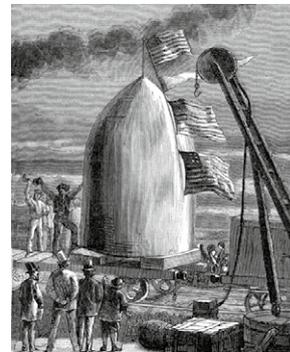
Zur Internationalen Raumstation (ISS) finden regelmäßig Raumflüge statt, um beispielsweise Lebensmittel nachzuliefern oder die Besatzung auszutauschen. Schätzen Sie ab, wie viel Energie mindestens benötigt wird, um ein 7,0 t schweres Raumfahrzeug von der Erde in die etwa 400 km hohe Umlaufbahn der ISS zu bringen.

**Lösung**

$$\begin{aligned}\Delta E_{\text{pot}}(R_E \rightarrow R_E + 400 \text{ km}) &= E_{\text{pot}}(R_E + 400 \text{ km}) - E_{\text{pot}}(R_E) \\ &= -G \cdot m_E \cdot m_R \cdot \left( \frac{1}{R_E + 400 \text{ km}} - \frac{1}{R_E} \right) \\ &= -6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2} \cdot 5,974 \cdot 10^{24} \text{ kg} \cdot 7,0 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \left( \frac{1}{6,371 \cdot 10^6 \text{ m} + 400 \cdot 10^3 \text{ m}} - \frac{1}{6,371 \cdot 10^6 \text{ m}} \right) \\ &\approx 26 \text{ GJ}\end{aligned}$$

**Arbeitsaufträge**

- 1) Berechnen Sie mit Hilfe eines Tabellenkalkulationsprogramms zuerst näherungsweise unter Annahme einer konstanter Gewichtskraft und dann exakt die Hubarbeit, die aufgewendet werden muss, um einen Körper der Masse 1 kg von der Erdoberfläche in unterschiedliche Höhen zu bringen. Ermitteln Sie die Höhe, ab der die mit den unterschiedlichen Methoden berechneten Hubarbeiten um mehr als 1 % voneinander abweichen.
- 2) Im Oktober 2018 wurde die 1,5 t schwere Raumsonde BepiColombo zum Planeten Merkur geschickt. Um die Sonde von der Erd- zur Merkurbahn zu bringen, könnte man BepiColombo einfach von einem Punkt auf der Umlaufbahn der Erde in Richtung Sonne fallen lassen.
  - a) Berechnen Sie die kinetische Energie und die Geschwindigkeit der Sonde beim Erreichen der Merkurbahn unter der Annahme, dass die Sonde zu Beginn ihrer Reise ruht und nur die Gravitationskraft zwischen Sonne und BepiColombo wirkt.
  - b) Diskutieren Sie Probleme, die bei dieser Flugroute auftreten würden, und informieren Sie sich über die tatsächliche Flugbahn von BepiColombo.
- 3) Mit einer Kanone, wie sie in Jules Vernes Roman „Von der Erde zum Mond“ beschrieben wird, soll ein Raumschiff mit einer Masse von 500 kg in eine Höhe von 400 km über dem Erdboden geschossen werden.
  - a) Berechnen Sie die potenzielle Energie des Raumschiffs im Gravitationsfeld der Erde, wenn es den höchsten Punkt seiner Flugbahn erreicht
  - b) Das Raumschiff soll in einem senkrecht nach oben gerichteten, 270 m langen Kanonenrohr aus der Ruhe gleichmäßig beschleunigt werden.
    - Berechnen Sie – bei Vernachlässigung aller Reibungskräfte – die Geschwindigkeit, mit der das Raumschiff das Kanonenrohr verlassen muss, damit es die Höhe 400 km gerade erreicht.
    - Ermitteln Sie den Wert der Beschleunigung des Raumschiffs im Kanonenrohr.
    - Diskutieren Sie, ob sich eine Kanone als Startgerät für eine bemannte Weltraummission eignen würde.

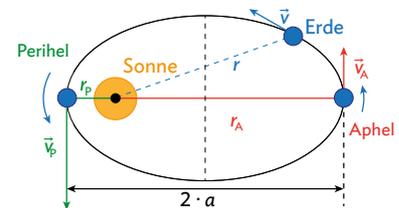


- a) Berechnen Sie die kinetische Energie und die Geschwindigkeit der Sonde beim Erreichen der Merkurbahn unter der Annahme, dass die Sonde zu Beginn ihrer Reise ruht und nur die Gravitationskraft zwischen Sonne und BepiColombo wirkt.

### 3.4 Fluchtgeschwindigkeit

#### Zusammenhang zwischen potenzieller und kinetischer Energie

Nach dem 2. Keplerschen Gesetz ändern sich während des Umlaufs der Erde auf ihrer Ellipsenbahn um die Sonne sowohl die Bahngeschwindigkeit  $v$  der Erde als auch ihr Abstand  $r$  zur Sonne (Kap. 3.1). Dabei kommt es ständig zur Umwandlungen von kinetischer in potenzielle Energie und umgekehrt.



B1 | 2. Keplersches Gesetz

Die Gesamtenergie der Erde bleibt während ihres Umlaufs um die Sonne konstant:

$$E_{\text{ges}} = E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}} = \frac{1}{2} \cdot m_E \cdot v^2 - G \cdot \frac{m_\odot \cdot m_E}{r}$$

Dies gilt auch im Aphel und im Perihel:

$$E_{\text{ges}} = E_{\text{ges,A}} = E_{\text{kin,A}} + E_{\text{pot,A}} = \frac{1}{2} \cdot m_E \cdot v_A^2 - G \cdot \frac{m_\odot \cdot m_E}{r_A}$$

$$E_{\text{ges}} = E_{\text{ges,P}} = E_{\text{kin,P}} + E_{\text{pot,P}} = \frac{1}{2} \cdot m_E \cdot v_P^2 - G \cdot \frac{m_\odot \cdot m_E}{r_P}$$

Diese beiden Gleichungen für die Gesamtenergie werden mit  $r_P^2$  bzw. mit  $r_A^2$  multipliziert:

$$(1) E_{\text{ges}} \cdot r_P^2 = \frac{1}{2} \cdot m_E \cdot v_P^2 \cdot r_P^2 - G \cdot m_\odot \cdot m_E \cdot r_P$$

$$(2) E_{\text{ges}} \cdot r_A^2 = \frac{1}{2} \cdot m_E \cdot v_A^2 \cdot r_A^2 - G \cdot m_\odot \cdot m_E \cdot r_A$$

Die Differenz der beiden Gleichungen liefert:

$$E_{\text{ges}} \cdot (r_P^2 - r_A^2) = \frac{1}{2} \cdot m_E \cdot (v_P^2 \cdot r_P^2 - v_A^2 \cdot r_A^2) - G \cdot m_\odot \cdot m_E \cdot (r_P - r_A)$$

Aus dem 2. Keplerschen Gesetz folgt  $r_P \cdot v_P = r_A \cdot v_A$  (Kap. 3.1). Wendet man noch die 3. Binomische Formel an, so vereinfacht sich die Gleichung zu:

$$E_{\text{ges}} \cdot (r_P - r_A) \cdot (r_P + r_A) = 0 - G \cdot m_\odot \cdot m_E \cdot (r_P - r_A)$$

$$\Rightarrow E_{\text{ges}} = -G \cdot \frac{m_\odot \cdot m_E}{r_P + r_A} = -\frac{1}{2} \cdot G \cdot \frac{m_\odot \cdot m_E}{a}$$

Weil die Gesamtenergie konstant ist, darf sie nicht von den auf einer Ellipsenbahn veränderlichen Größen  $r$  und  $v$  abhängen.

Für die **Gesamtenergie** der Bewegung einer Masse  $m$  auf einer **Ellipsenbahn** mit der Halbachse  $a$  um eine Masse  $M$  in einem Brennpunkt gilt:

$$E_{\text{ges}} = -\frac{1}{2} \cdot G \cdot \frac{M \cdot m}{a} = \text{konstant}$$

Aus der Gesamtenergie des Systems lässt sich die Geschwindigkeit der Masse  $m$  in jedem Punkt auf der Ellipsenbahn im Abstand  $r$  von der Masse  $M$  bestimmen:

$$E_{\text{kin}} = E_{\text{ges}} - E_{\text{pot}}$$

$$\frac{1}{2} m \cdot v^2 = -\frac{1}{2} \cdot G \cdot \frac{M \cdot m}{a} + G \cdot \frac{M \cdot m}{r} = \frac{1}{2} \cdot G \cdot M \cdot m \left( \frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)$$

Für die **Geschwindigkeit eines Körpers auf einer Ellipsenbahn** in einem Abstand  $r$  vom Brennpunkt, in dem sich eine Masse  $M$  befindet, gilt:

$$v = \sqrt{G \cdot M \cdot \left( \frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)}$$

Die Geschwindigkeit eines Körpers auf einer Ellipsenbahn hängt nicht von der Masse des Körpers ab, der sich auf der Ellipsenbahn bewegt.

## B \ Das Sonnensystem

Mit dieser Formel kann man insbesondere die Fluchtgeschwindigkeit  $v_F$  von der Erdoberfläche ( $r = R_E$ ) berechnen. Weil die Gravitationskraft erst in unendlich großer Entfernung vernachlässigbar klein wird, muss in der für eine Ellipsenbahn hergeleiteten Formel die große Halbachse  $a$  unendlich groß werden. Wird  $a$  unendlich groß, so geht die Ellipsenbahn in eine Parabelbahn über.

$$v_F = \lim_{a \rightarrow \infty} \sqrt{G \cdot m_E \cdot \left( \frac{2}{R_E} - \frac{1}{a} \right)} = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot m_E}{R_E}} \approx 11,2 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

Die **Fluchtgeschwindigkeit**  $v_F = 11,2 \frac{\text{km}}{\text{s}}$  von der Erdoberfläche oder von einer erdnahen Umlaufbahn aus, mit der ein Körper den Anziehungsbereich der Erde verlassen kann, nennt man auch **2. kosmische Geschwindigkeit**  $v_2$ .

## Musteraufgabe

Der Satellit Capstone umkreiste den Mond auf einem elliptischen Orbit mit der größten Annäherung (Periselen) an den Mond von  $3,3 \cdot 10^3 \text{ km}$  und einer größten Entfernung (Aposelen) von  $7,2 \cdot 10^4 \text{ km}$  vom Mond. Berechnen Sie die Geschwindigkeit des Satelliten im Aposelen und begründen Sie mit Hilfe der Energieerhaltung, dass dies die minimale Geschwindigkeit des Satelliten auf seiner Bahn ist.

## Lösung

Im Aposelen hat der Satellit seine minimale Geschwindigkeit, da hier die potenzielle Energie am größten ist. Für die große Halbachse der Bahn des Satelliten gilt:

$$a = \frac{1}{2} \cdot (r_{\text{Aposelen}} + r_{\text{Periselen}}) \approx 3,77 \cdot 10^4 \text{ km}$$

$$v_{\text{Aposelen}} = \sqrt{G \cdot m_{\text{Mond}} \cdot \left( \frac{2}{r_{\text{Aposelen}}} - \frac{1}{a} \right)} \approx 77 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



**B2** Bahnen von Satelliten in „Highly Elliptical Orbits“ (Arbeitsauftrag 4)

## Arbeitsaufträge

- 1\ Die Geschwindigkeit, die ein Satellit haben muss, um sich auf einer erdnahen Kreisbahn ( $r \approx R_E$ ) um die Erde zu bewegen, bezeichnet man als 1. kosmische Geschwindigkeit.
  - a) Leiten Sie aus der Formel für die Geschwindigkeit auf einer Ellipsenbahn eine Formel für die 1. kosmische Geschwindigkeit her und berechnen Sie deren Betrag.
  - b) Bestimmen Sie die Dauer eines erdnahen Orbits.
- 2\ Die 2. kosmische Geschwindigkeit kann man auch mit der Formel  $v_2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot R_E}$  berechnen. Leiten Sie diese aus der Formel für die Geschwindigkeit auf einer Ellipsenbahn ab.
- 3\ Die Landung auf einem Kometen bzw. Asteroiden ist aufgrund der geringen Fallbeschleunigung herausfordernd, ein Start von dort wäre aber umso einfacher. Berechnen Sie die Fluchtgeschwindigkeit von dem Kometen Halley, der eine Masse von  $2,2 \cdot 10^{14} \text{ kg}$  und einen mittleren Radius von  $5,5 \text{ km}$  hat. Vergleichen Sie mit der Fluchtgeschwindigkeit von der Erde.
- 4\ In einem „Highly Elliptical Orbit“ werden Satelliten auf Bahnen über die Polregionen der Erde geführt (B2). Diskutieren Sie Vor- und Nachteile dieser Orbits, die insbesondere für Wetterbeobachtungen der Polargebiete und die Kommunikation interessant sind.

### 3.5 Satelliten und Raumsonden

#### Satelliten und Raumsonden

Mit dem erfolgreichen Start des russischen Satelliten Sputnik am 4. Oktober 1957 in eine Erdumlaufbahn begann eine neue Ära der Erforschung und Nutzung des Welt-raums mit Hilfe von Satelliten und Raumsonden.

Im Dezember 2022 befanden sich mehr als 25 000 Satelliten auf Umlaufbahnen um die Erde. Ihrem Bahnradius entsprechend unterscheidet man Satelliten im niedrigen Erdorbit (bis 1000 km Höhe; z.B. ISS), mittleren Erdorbit (zwischen 1000 km und ca. 36 000 km Höhe; z. B. GPS-Satelliten) und geostationären Orbit (in ca. 36 000 km Höhe; Kommunikationssatelliten).



In der Raumfahrt versteht man unter einem Orbit eine Umlaufbahn.

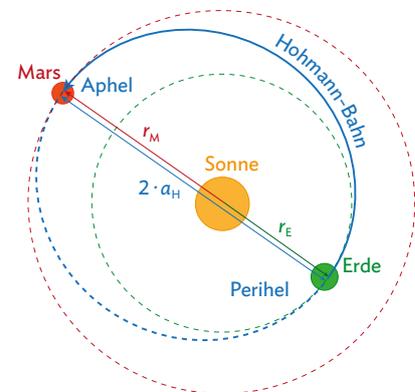


**B1** Maßstäblicher Vergleich typischer Satellitenorbits mit der Umlaufbahn des Mondes

Raumsonden sind unbemannte Raumfahrzeuge, die auf die Reise zu einem oder mehreren Himmelskörpern im Sonnensystem geschickt werden. Umkreist die Sonde das Objekt, bezeichnet man sie – im Unterschied zu Landesonden – als Orbiter. Alle Planeten unseres Sonnensystems sowie einige Asteroiden, Kometen und Zwergplaneten wurden bereits von Raumsonden besucht.

#### Hohmann-Bahnen

Alle Raumsonden bewegen sich unter dem Einfluss der Gravitationskräfte der Erde, der Sonne und anderer Himmelskörper. Für die interplanetare Raumfahrt nutzt man spezielle Orbits, um Treibstoff zu sparen und so leichtere und günstigere Trägerraketen einsetzen zu können. Solche Flugbahnen sind vergleichbar mit den Umlaufbahnen von Kometen, die auf stark elliptischen Bahnen große Distanzen zurücklegen und dabei im Perihel der Sonne sehr nah kommen bzw. im Aphel sehr weit von ihr entfernt sind.



**B3** Hohmann-Bahn zum Mars



**B2** Walter Hohmann (1880–1945) führte Berechnungen zur Raumfahrtbahntechnik durch und veröffentlichte diese 1925 in dem Buch „Die Erreichbarkeit der Himmelskörper“.

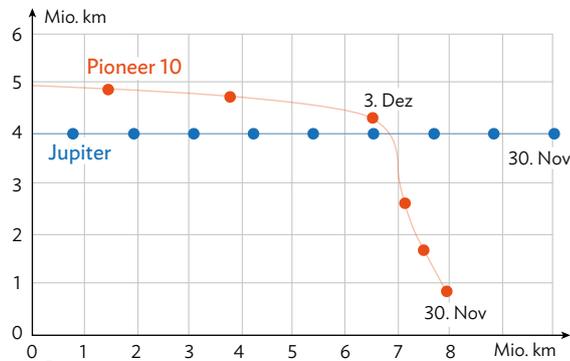
Eine **Hohmann-Bahn** ist eine elliptische Flugbahn mit der Sonne in einem Brennpunkt, die die Umlaufbahnen der Erde und des Zielobjekts miteinander verbindet.

Auf einer Hohmann-Bahn (B3) kann eine Raumsonde antriebslos reisen. Um auf einer Hohmann-Bahn zu einem oberen Planeten zu gelangen, muss die Sonde auf eine entsprechende Perihel-Geschwindigkeit beschleunigt werden. Im Aphel der Hohmann-Bahn wird ihre Geschwindigkeit an die Bahngeschwindigkeit des Planeten angepasst. Der Startzeitpunkt muss so gewählt werden, dass die Sonde im Aphel ihrer Hohmann-Bahn auf den Planeten trifft.

B \ Das Sonnensystem

**Swing-by-Manöver**

Um mit Hilfe von Hohmann-Bahnen in das äußere Sonnensystem vorzudringen, sind Startgeschwindigkeiten notwendig, die mit der heutigen Technik nicht erreichbar sind. Um trotzdem Raumsonden zu den Gasplaneten schicken zu können, wird ein Verfahren angewandt, das man Swing-by-Manöver nennt: Wird die Flugbahn der Sonde so gewählt, dass sie sich einem Planeten stark annähert, so bewirkt die gegenseitige gravitative Anziehung eine Ablenkung der Sonde. Gleichzeitig ändert sich aus der Sicht eines außenstehenden Beobachters der Betrag der Bahngeschwindigkeit der Sonde. Je nach Richtung der Annäherung im Vergleich zur Bewegungsrichtung des Planeten kann die Raumsonde von dem Planeten kinetische Energie aufnehmen oder an ihn abgeben.



**B4** Annäherung von Pioneer 10 an Jupiter. Die Punkte geben die Positionen in einem zeitlichen Abstand von 24 h an. Nach der Annäherung hat sich die Geschwindigkeit der Sonde stark erhöht.

Animation eines Swing-by-Manövers mit Änderung der kinetischen Energie der Raumsonde 



**Musteraufgabe**

Eine Raumsonde soll auf einer Hohmann-Bahn von der Erde zum Mars fliegen. Skizzieren Sie die Flugbahn der Sonde. Berechnen Sie die Geschwindigkeit, die der Sonde beim Start mitgegeben werden muss und wie lange der Flug zum Mars dauern würde.

**Lösung**

Die Erde steht im Perihel, der Mars im Aphel der Hohmann-Bahn (B3).  $\implies a_H = \frac{1}{2}(r_E + r_M) \approx 1,26 \text{ AE}$

Perihel-Geschwindigkeit der Sonde:  $v_{\text{Perihel}} = \sqrt{G \cdot m_{\odot} \cdot \left(\frac{2}{r_E} - \frac{1}{a_H}\right)} \approx 32,7 \frac{\text{km}}{\text{s}}$

Ein Teil davon stammt von der Umlaufgeschwindigkeit der Erde um die Sonne, die man erhält, wenn man

Gravitationskraft und Zentripetalkraft gleichsetzt:  $v_E = \sqrt{G \cdot \frac{m_{\odot}}{r_E}} \approx 29,8 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ .

Der Sonde muss also lediglich eine Start-Geschwindigkeit von  $2,9 \frac{\text{km}}{\text{s}}$  mitgegeben werden.

3. Keplersches Gesetz:  $\frac{T^2}{a_H^3} = 1 \frac{\text{a}^2}{1 \text{AE}^3} \implies T = \sqrt{\left(\frac{a_H}{1 \text{AE}}\right)^3} \text{ a} \approx 1,4 \text{ a}$

Die Sonde benötigt auf der Hohmann-Bahn (halbe Ellipsenbahn!) für ihren Flug zum Mars 0,7 Jahre.

**Arbeitsaufträge**

- 1) Am 5. September 1977 startete die Raumsonde Voyager 1 zu einer Forschungsmission, die sie unter anderem zum Planeten Saturn führte.
  - a) Zeigen Sie, dass die Flugdauer zum Saturn auf einer Hohmann-Bahn etwa 6 Jahre dauern würde.
  - b) Tatsächlich dauerte der Flug nur 3 Jahre. Informieren Sie sich über die Flugbahn von Voyager 1. Erläutern Sie, inwiefern die Reisezeit zum Saturn durch Swing-by-Manöver verkürzt werden konnte.
  - c) Begründen Sie, dass es für interplanetare Raumflüge enge Zeitfenster gibt.
- 2) Erläutern Sie, weshalb geostationäre Satelliten in einer Sternspuraufnahme als helle Punkte erscheinen.



### 3.6 Forschung und Kolonisierung im Weltraum .....

#### Außenposten der Menschheit im Weltall

Neugier, aber auch wirtschaftliche Interessen waren seit jeher die Motivation für Menschen, sich auf den Weg zu machen, um Neues zu entdecken und die Grenzen des Wissens zu erweitern. Mit der Entwicklung der Raketentechnik und der bemannten Raumfahrt eröffnete sich die Möglichkeit, im Erdorbit einen Außenposten der Menschheit zu errichten. Schon kurz nach der ersten bemannten Mondlandung im Jahr 1969 wurden von der damaligen Sowjetunion nacheinander mehrere Weltraumstationen des Typs Saljut in Erdumlaufbahnen stationiert. Im Jahr 1986 wurde das Saljut-Programm von der russischen Raumstation MIR (B1) abgelöst, die bis 2001 die Erde umkreiste. Die USA installierten von 1973 bis 1979 die Raumstation Skylab (B2) zur Sonnen- und Erdbeobachtung sowie für die Werkstoff- und Medizinforschung. Die Internationale Raumstation ISS (B3) wird seit dem Jahr 2000 dauerhaft bewohnt und von insgesamt 15 Nationen für zivile Weltraumforschung genutzt. Seit Anfang 2021 baut auch die chinesische Agentur für bemannte Weltraumfahrt eine eigene Raumstation „Tiangong“ auf.



**B1** Die russische Raumstation MIR



**B2** Skylab



**B3** Die ISS am 4. Oktober 2018 von einer Sojus-Kapsel aus fotografiert, rechts das ISS-Logo mit den Flaggen der beteiligten Länder

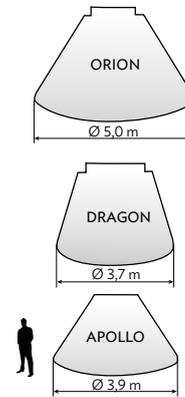
#### Kolonien im erdnahen Orbit

Die Kolonisierung des Weltalls hat im Prinzip schon begonnen, auch wenn Weltraumstationen wie die ISS bisher nur 400 km von der Erde entfernt sind. Der Vorteil dieser Höhe ist die relativ leichte Erreichbarkeit durch zweistufige, zum Teil wiederverwendbare Raketen und im Notfall die Möglichkeit der schnellen Rückkehr zur Erde. Die Versorgung der Besatzung mit Lebensmitteln, Wasser und anderen Dingen bleibt dennoch herausfordernd und kostspielig. Trotz der geringen Entfernung zur Erde sind Experimente und Materialforschung in der Schwerelosigkeit möglich, die auf der Erde so nicht durchgeführt werden können. Daneben dient die Arbeit auf Raumstationen auch der Erforschung der Auswirkungen eines längeren Weltraumaufenthalts auf den menschlichen Körper. Diese Erkenntnisse sind für den Aufbau von Außenposten auf dem Mond oder Mars von entscheidender Bedeutung.

## B \ Das Sonnensystem

**Kolonien auf dem Mond, dem Mars und darüber hinaus**

Der Flug von Raumsonden zu anderen Himmelskörpern im Sonnensystem ist inzwischen fast Routine geworden, während die Landung auf anderen Himmelskörpern weiterhin eine Herausforderung ist. Insbesondere bei unbemannten Landemissionen auf dem Mars kam es immer wieder zu Fehlschlägen. Die Apollo-Missionen (1961 bis 1972) und die heutigen Anstrengungen, Menschen zum Mond zu bringen, belegen den ungleich größeren Aufwand, der für bemannte Raumfahrtmissionen betrieben werden muss. Die Ansprüche an Sicherheit und Gesundheitsschutz machen den Aufbau eines Außenpostens auf dem Mond, dem Mars und darüber hinaus zu einer technischen und finanziellen Herausforderung. Auch wenn sich das Design des Aufenthaltsbereichs der Astronauten in der Raumkapsel seit den Apolloflügen stark verändert hat, bleibt das Platzangebot spärlich (B4). Für einen Flug zum Mars, der etwa 250 Tage dauern würde, wäre eine größere Raumkapsel notwendig. Auch die Versorgung mit Energie und Nahrungsmitteln muss gewährleistet sein. Eine bewohnte Station auf einem anderen Himmelskörper als der Erde müsste zum größten Teil autark sein, wobei die Energieversorgung auf Mond oder Mars über Photovoltaikanlagen erfolgen könnte.



**B4** | Vergleich der Größen der Raumkapseln für Flüge zur ISS und zum Mond

**Wirtschaftlichkeit und Weltraumrecht**

Wirtschaftliche Gründe spielten bei der Einstellung des Apollo-Programms im Jahr 1972 eine entscheidende Rolle. Obwohl noch zwei voll funktionstüchtige Saturn-V-Raketen zur Verfügung standen, wurde das Programm beendet. Auch die Fortsetzung und Geschwindigkeit der Kolonisierung des Weltraums wird sich an der Wirtschaftlichkeit messen müssen. Wenn sich beispielsweise der Abbau von Ressourcen auf dem Mond, auf Asteroiden oder auf anderen Planeten trotz der hohen Kosten lohnt, könnte das ein Ansporn sein, diese Himmelskörper auszuheben. Der UN-Weltraumvertrag von 1967 besagt allerdings, dass der Weltraum nur für friedliche Zwecke und zum Wohle der Menschheit in ihrer Gesamtheit genutzt werden darf. Er schließt die nationale und damit auch privatwirtschaftliche Aneignung von Himmelskörpern ausdrücklich aus.



**B5** | Ein Apollo-17-Astronaut nimmt Bodenproben von der Mondoberfläche.

**Arbeitsaufträge**

- 1\ Diskutieren Sie die Vor- und Nachteile der Erschließung von Ressourcen auf anderen Himmelskörpern durch private Unternehmen.
- 2\ Stellen Sie in einem Planspiel ein Team für einen Flug zum Mars mit einem einjährigen Aufenthalt zusammen. Erläutern Sie, welche Ausbildung und welche Talente die Teammitglieder mitbringen sollten.
- 3\ Recherchieren Sie, wie die Energieversorgung der ISS funktioniert, wenn die Raumstation durch den Erdschatten fliegt. Leiten Sie daraus Folgerungen für den Betrieb einer Mondstation ab.
- 4\ Informieren Sie sich darüber, wie auf der ISS Wasser und Atemluft recycelt werden. Präsentieren Sie Ihre Ergebnisse in einem Flussdiagramm.
- 5\ Bilanzieren Sie über eine Woche, wie viele und welche Lebensmittel Sie konsumieren und überlegen Sie, wie sich Ihr Leben diesbezüglich auf dem Mond ändern würde.
- 6\ Diskutieren Sie Argumente für und gegen private Reisen ins Weltall. Beziehen Sie in dieser Frage einen persönlichen Standpunkt.



## Exkurs: Erforschung des Mars



### Suche nach Wasser und Leben

Flüssiges Wasser an der Oberfläche eines Planeten ist eine der wichtigsten Voraussetzungen für die Entstehung und die Existenz von Leben.

Wasser gibt es auf dem Planeten Mars offenbar in großen Mengen in Form von Wassereis und als Wasserdampf in der Atmosphäre. Man muss aber davon ausgehen, dass es heute an der Oberfläche des Mars so gut wie kein flüssiges Wasser gibt. Zumindest nicht für einen so langen Zeitraum, dass sich Leben entwickeln könnte.

Die dünne Atmosphäre des Mars führt an der Marsoberfläche zu einem Luftdruck, der im Durchschnitt nur etwa 0,6 % des Luftdrucks auf der Erde beträgt. Bei diesem geringen Atmosphärendruck sublimiert oberflächliches Wassereis. Es geht unmittelbar vom gefrorenen Zustand in Wasserdampf über. Auf dem Mars wurden Landschaftsformen fotografiert, die Flusstälern oder Überschwemmungsbecken ähneln (B1). Sie lassen vermuten, dass es früher flüssiges Wasser an der Marsoberfläche gab.



B1 Kimberley-Formation auf dem Mars

Radarmessungen ergaben Hinweise auf mögliche Ansammlungen flüssigen Wassers unter der Oberfläche des Mars.

Hochentwickeltes Leben in Form von Menschen, Tieren und Pflanzen gibt es auf dem Mars nicht. Stattdessen sucht man nach Mikroben-Fossilien und nach extremophilen Lebensformen, die – möglicherweise unter der Marsoberfläche – lebensfeindliche Bedingungen wie Trockenheit, große Temperaturunterschiede und energiereiche Strahlung überdauern können.

### Erforschung des Mars mit Raumsonden

Seit den 1960er-Jahren wurde eine große Zahl von Raumsonden zum Mars geschickt. Neben Orbitern, die den Planeten aus Umlaufbahnen heraus erforschen, kommen auch Landesonden und Roboterfahrzeuge zum Einsatz, mit denen die Marsoberfläche vor Ort analysiert wird. Einen ersten Meilenstein in der Erforschung des Mars setzten 1976 die NASA-Sonden Viking 1 und Viking 2. Die beiden Sonden bestanden jeweils aus einem Orbiter und einem Lander.

Die Viking-Orbiter lieferten viele Fotos von der Marsoberfläche, aus denen detailreiche Bilder vom Mars zusammengesetzt wurden. Außerdem beobachteten sie Staubstürme auf dem Mars und wiesen spektroskopisch Wasserdampf in der Marsatmosphäre nach.

Die beiden Viking-Landesonden konnten im Marsstaub Schwefel und Brom nachweisen, die als Indizien für frühere Vorkommen von flüssigem Wasser gewertet werden.

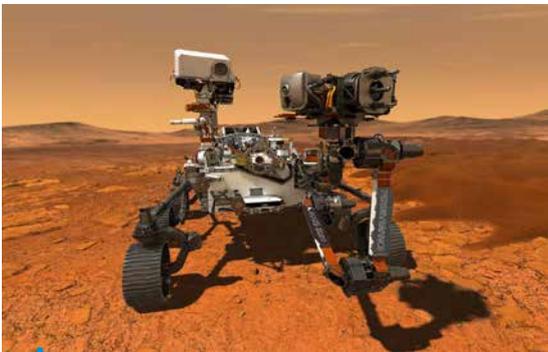


B2 Mosaikbild des Mars

## B \ Das Sonnensystem

**Landesonden und Mars-Rover**

Heute spielen sogenannte Mars-Rover, ferngesteuerte oder autonom fahrende Roboter, die mit einer Vielzahl von Messgeräten ausgerüstet sind, eine zentrale Rolle bei der Erforschung des Mars. An der Entwicklung der Rover und der Messtechnik sind neben den USA auch Forschungseinrichtungen anderer Länder, darunter das Deutsche Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR) beteiligt.



**B3** | Mars-Rover Perseverance

Im Februar 2021 setzte die NASA im Rahmen der Mission Mars 2020 den Mars-Rover mit dem Namen Perseverance auf dem Mars ab.

Als Landegebiet wurde der Mars-Krater Jezero ausgewählt, der insbesondere Sedimente enthält, die sich vermutlich unter Einwirkung von fließendem Wasser gebildet haben und möglicherweise Spuren von früherem mikrobiellem Leben aufweisen.

Perseverance sammelt mit einem Gesteinsschleifer gewonnene Staubproben. Diese werden in Metallkapseln

gefüllt und auf dem Marsboden deponiert, um in einer Nachfolgemission zur Erde transportiert, um dort analysiert zu werden.

**Bemannte Missionen zum Mars**

Im Rahmen der unbemannten Mission Mars 2020 werden auch Experimente durchgeführt, die der Vorbereitung bemannter Forschungsmissionen zum Mars dienen. Dazu gehört die elektrochemische Aufspaltung von Kohlendioxid aus der Marsatmosphäre in Kohlenmonoxid und Sauerstoff, der für den Aufenthalt von Menschen auf dem Mars und für den Rückflug zur Erde benötigt wird.

Im Vergleich zu den bemannten Forschungsmissionen zum Mond sind sowohl der Flug zum Mars als auch der Aufenthalt von Menschen auf dem Mars mit erheblichen physischen und psychischen Risiken für die Teilnehmer verbunden. Es ergeben sich wesentlich größere technische Herausforderungen und damit höhere Kosten als bei unbemannten Marsmissionen.

In der Entwicklung komplexer Technologien und der sinnvollen Koordination des Zusammenwirkens von Mensch und Technik liegt allerdings auch ein Nutzen bemannter Missionen zum Mars.



**B4** | Fiktion einer künftigen Forschungsstation auf dem Mars

**Arbeitsauftrag**

- Recherchieren Sie zur Erforschung des Mars mit Hilfe von Raumsonden von den 1960er-Jahren bis heute. Fassen Sie Ihre Ergebnisse zu einer Präsentation zusammen.
- Die Stereokamera der Europäischen Marssonde Mars Express erzeugte dreidimensionale Aufnahmen von der Marsoberfläche mit hoher Auflösung. Betrachten Sie mit einer Rot-Grün-Brille die Aufnahmen, zu denen der QR-Code führt. Recherchieren Sie, wie die Kamera der Sonde dreidimensionale Aufnahmen erzeugt und erläutern Sie, inwiefern diese Aufnahmemethode dem räumlichen Sehen nachempfunden ist.
- Mit Hilfe von auf Sonden installierten Radar-Echolot-Systemen kann bis zu einer Tiefe von mehreren Kilometern unter der Marsoberfläche nach Vorkommen von Eis und flüssigem Wasser gesucht werden. Präsentieren Sie nach einer entsprechenden Recherche die Methode und aktuelle Forschungsergebnisse zur Suche nach Wasser unter der Oberfläche des Mars.
- Diskutieren Sie Argumente, die für bzw. gegen bemannte Forschungsmissionen zum Mars sprechen.

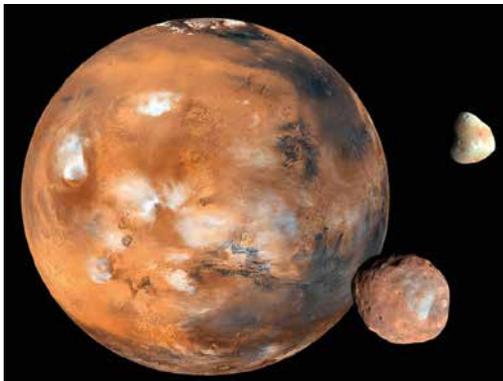


MC 67056-12

## Vermischte Aufgaben

### Basisaufgaben

- 1) Der 1949 entdeckte Asteroid Icarus gehört zu den Apollo-Asteroiden, einer Gruppe von Asteroiden, die der Erde besonders nahekommen. Seine siderische Umlaufdauer um die Sonne beträgt 409 d, die numerische Exzentrizität  $\varepsilon$  seiner Bahn hat den Wert 0,83.
- Geben Sie an, was sich mit dem Wert  $\varepsilon$  über die Form einer Ellipsenbahn aussagen lässt.
  - Berechnen Sie die große Halbachse  $a$ , die Periheldistanz  $r_P$  und die Apheldistanz  $r_A$  von Icarus.
  - Beschreiben Sie die Bahn des Icarus innerhalb des Sonnensystems und stellen Sie eine Vermutung auf, welche Eigenschaft des Asteroiden zu seinem Namen Icarus geführt haben könnte.
- 2) Der Marsmond Phobos umrundet den Planeten Mars innerhalb von 0,3189 Tagen auf einer Kreisbahn mit dem Radius  $r = 9378$  km. Der Mars hat den Radius  $R_M = 3,39 \cdot 10^3$  km. Berechnen Sie die Masse des Planeten Mars und die Fallbeschleunigung auf der Marsoberfläche.



- 3) Für die Bahngeschwindigkeit  $v$  eines Körpers auf einer Keplerellipse gilt:
- $$v = \sqrt{G \cdot M \cdot \left( \frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)}$$
- Geben Sie an, für welche Größen die Buchstaben  $M$ ,  $r$  und  $a$  in der Formel stehen.
  - Leiten Sie ausgehend von der angegebenen Beziehung für die Geschwindigkeit  $v$  auf einer Ellipsenbahn Formeln zur Berechnung der 1. und 2. kosmischen Geschwindigkeit her, und beschreiben Sie jeweils, welche Bedeutung diese Geschwindigkeiten haben.
  - Berechnen Sie die beiden kosmischen Geschwindigkeiten für den Planeten Saturn.

- 4) 1974 und 1976 wurden die deutsch-amerikanischen Raumsonden Helios A und Helios B auf Hohmann-Bahnen mit der numerischen Exzentrizität  $\varepsilon = 0,538$  zur Sonne geschickt.
- Ermitteln Sie die Startgeschwindigkeit auf einer solchen Hohmann-Bahn und die Flugdauer bis zum sonnennächsten Punkt dieser Bahn.
  - Berechnen Sie, bis auf welchen Abstand sich die Helios-Sonden der Sonne näherten.
  - Recherchieren Sie, durch welche technischen Maßnahmen die Helios-Sonden vor der heißen Strahlung in Sonnennähe geschützt wurden.
  - Im August 2018 brach die NASA-Sonde Parker Solar Probe zur Sonne auf. Ihren sonnennächsten Punkt erreichte die Sonde erstmals 2024. Zu diesem Zeitpunkt flog sie mit einer Geschwindigkeit von  $200 \frac{\text{km}}{\text{s}}$  im Perihel einer elliptischen Bahn um die Sonne mit der großen Halbachse  $a = 30$  Mio. km. Berechnen Sie den minimalen Abstand der Sonde von der Sonne und vergleichen Sie diesen mit Ihrem Ergebnis aus b).
- 5) Jupiter wurde bereits von mehreren Sonden besucht, die an ihm vorbeiflogen oder ihn umrundeten.
- Eine Raumsonde soll auf einer Hohmann-Bahn zum Jupiter fliegen. Skizzieren Sie die Hohmann-Bahn und berechnen Sie die Flugdauer.
  - Im April 2023 startete die Sonde JUICE mit dem Reiseziel Jupiter. Informieren Sie sich im Internet über den Verlauf und die Forschungsaufgaben dieser Mission. Erläutern Sie, weshalb die Flugdauer von JUICE viel länger ist als die in a) berechnete Flugdauer.

- 6) SMART-1, die erste europäische Raumsonde, die den Mond erforschte, nutzte einen solarelektrischen Ionenantrieb. Recherchieren und präsentieren Sie die Funktionsweise eines solchen Antriebs.



**Abiturähnliche Aufgaben**

**7\ Die unteren Planeten Merkur und Venus**

Der Planet Merkur ist nach dem römischen Götterboten Merkur benannt, der mit Flügelschuhen den Himmel durchheilt und schneller als alle anderen unterwegs ist.



- a) Nähert man eine Planetenbahn durch eine Kreisbahn, so entspricht die Zentripetalkraft  $F_Z$  der Gravitationskraft  $F_G$  zwischen Planet und Sonne. Leiten Sie aus dem Ansatz  $F_Z = F_G$  eine Formel für die Bahngeschwindigkeit  $v$  eines Planeten her und erklären Sie damit, dass Merkur im Vergleich zu den anderen Planeten seinen Namen zu Recht trägt.
- b) Skizzieren Sie die gegenseitige Lage von Sonne, Erde und Merkur für den Fall, dass sich Merkur in oberer Konjunktion befindet. Begründen Sie, dass man Merkur in oberer Konjunktion nicht beobachten kann.
- c) Im Oktober 2018 startete die Raumsonde BepiColombo zum Merkur. Bei ihrem Vorbeiflug im Oktober 2021 sammelte die Sonde Messdaten zu Teilchen des Sonnenwindes im Magnetfeld des Merkurs. Lesen Sie den Text in M2 und beschreiben Sie, wie auf dem Merkur auch ohne eine Atmosphäre Polarlichter entstehen können.

Nutzen Sie bei den folgenden Aufgaben die in M1 angegebenen Daten.

- d) Erläutern Sie, wie sich die Merkurbahn von der Venusbahn bezüglich ihrer Form unterscheidet.
- e) Ermitteln Sie die mittlere Bahngeschwindigkeit der Venus.
- f) Berechnen Sie Merkurs Umlaufdauer um die Sonne und seine Bahngeschwindigkeiten im Perihel und im Aphel. Vergleichen Sie diese beiden Geschwindigkeiten mit der mittleren Bahngeschwindigkeit der Venus.
- g) Ein Flug zur Venus erfordert weniger Startgeschwindigkeit als zu jedem anderen Planeten. Berechnen Sie die Differenzgeschwindigkeit zur Bahngeschwindigkeit der Erde, die nötig ist, um aus der Umlaufbahn der Erde um die Sonne auf eine Hohmann-Bahn zu wechseln, in deren Perihel die Venus liegt.
- h) Nach ihrer Ankunft im Perihel der Hohmann-Bahn soll die Sonde auf eine Kreisbahn um die Venus gebracht werden, die 500 km über der Venusoberfläche verläuft. Berechnen Sie die Bahngeschwindigkeit der Sonde auf dieser Kreisbahn und beschreiben Sie, wie ein solcher Bahnwechsel vollzogen wird.



**M1: Daten der Planeten Merkur und Venus**

	Merkur	Venus
Große Halbachse in AE	0,387	0,723
Numerische Exzentrizität der Bahn	0,21	0,0067
Masse in kg	$3,301 \cdot 10^{23}$	$4,867 \cdot 10^{24}$
Mittlerer Radius in km	$2,44 \cdot 10^3$	$6,05 \cdot 10^3$

## Vermischte Aufgaben

### M2: „Regen“ aus Elektronen erzeugt Merkurs Polarlichter

Beim Vorbeiflug [...] konnte [BepiColombo] erstmals Messungen über der nördlichen Nachtseite sowie über der Tagseite der Südhalbkugel [des Merkurs] durchführen und so die Struktur der Magnetosphäre, des Einflussbereichs des planetaren Magnetfeldes, und ihrer Grenze, der Magnetopause, bestimmen. Wie bei der Erde ist die Merkur-Magnetosphäre auf der sonnenabgewandten Seite zu einem langen Schwanz verzerrt; auf der sonnenzugewandten Seite zeigte sie sich stark gestaucht. „Der Sonnenwind muss zum Zeitpunkt der Messungen besonders kräftig gewesen sein.“, folgert MPS-Wissenschaftler Dr. Norbert Krupp [...].

Zudem konnte [BepiColombo] den Entstehungsprozess der Merkur-Polarlichter genau nachverfolgen. Aus dem Schwanz der Magnetosphäre kommend bewegen sich hochenergetische Elektronen entlang der Magnetfeldlinien auf den Planeten zu. Dort „regnen“ sie auf ihn hinunter und wechselwirken so an den Polen mit dem Material an seiner Oberfläche.



Dabei werden Moleküle ionisiert, die ihrerseits als Folge hochenergetische Röntgenstrahlung abstrahlen. „Zum ersten Mal konnten wir beobachten, wie Elektronen in der Magnetosphäre des Merkurs beschleunigt und auf die Planetenoberfläche geschleudert werden. Obwohl die Magnetosphäre des Merkurs viel kleiner ist als die der Erde und eine andere Struktur und Dynamik aufweist, haben wir die Bestätigung, dass der Mechanismus, der Polarlichter erzeugt, im gesamten Sonnensystem der gleiche ist.“, so [...] Dr. Sae Aizawa vom Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie im französischen Toulouse.

„Regen“ aus Elektronen erzeugt Merkurs Polarlichter.  
18.07.2023. <https://www.mps.mpg.de/regen-aus-elektronen-erzeugt-merkurs-polarlichter>  
[Zugriff: 20.10.2024]

### 8\ Der Mond – unser Begleiter im Sonnensystem

Mond und Erde bewegen sich als Zweikörpersystem näherungsweise auf Kreisbahnen um ihren gemeinsamen Schwerpunkt, der etwa 73 % des Erdradius vom Erdmittelpunkt entfernt ist.

Diese gemeinsame Bewegung von Mond und Erde wird durch die allgemeine Formulierung des 3. Keplerschen Gesetzes beschrieben:

$$\frac{T^2}{(r_{\text{Erde-Mond}})^3} = \frac{4\pi^2}{G \cdot (m_{\text{Erde}} + m_{\text{Mond}})}$$

- Berechnen Sie die Dauer eines vollständigen Umlaufs des Mondes um den gemeinsamen Schwerpunkt von Erde und Mond.
- Begründen Sie, dass sich die Zeitspanne von 29,53 Tagen zwischen zwei aufeinanderfolgenden Vollmonden von der in a) berechneten Umlaufdauer unterscheidet.



## B \ Das Sonnensystem

Zur Erforschung des Mondes führten die USA von 1961 bis 1972 im Rahmen des Apollo-Programms bemannte Flüge zum Mond durch. Bei den Apollo-Missionen wurde die Raumkapsel zunächst in eine kreisförmige Erdumlaufbahn 190 km über der Erdoberfläche gebracht.

- Berechnen Sie die Geschwindigkeit der Raumkapsel auf dieser Bahn.
- Zwischen Erde und Mond gibt es einen Punkt, den sogenannten abarischen Punkt, an dem sich die Gravitationskräfte von Erde und Mond aufheben. Berechnen Sie den Abstand des abarischen Punkts zur Oberfläche des Mondes.
- Ermitteln Sie die Geschwindigkeit, auf welche die Raumkapsel aus ihrem Erdorbit heraus beschleunigt werden müsste, damit sie antriebslos den abarischen Punkt erreichen könnte. Der Einfluss des Mondes soll dabei nicht berücksichtigt werden
- Informieren Sie sich im Internet über den Flugverlauf und die Beschleunigungsphasen der Apollo-11-Mission. Vergleichen Sie die recherchierten Geschwindigkeiten mit den in den Aufgaben c) und e) berechneten Geschwindigkeiten.
- Berechnen Sie die Fluchtgeschwindigkeit von der Mondoberfläche und vergleichen Sie sie mit der Fluchtgeschwindigkeit  $v_F = 11,2 \frac{\text{km}}{\text{s}}$  von der Erdoberfläche. Erklären Sie, welche Bedeutung der Unterschied zwischen diesen beiden Fluchtgeschwindigkeiten für Mondlandemissionen hat.
- Bewerten Sie anhand von M1 Pläne für eine dauerhafte Besiedelung des Mondes.



### M1: „Mondkolonisation“ in Wikipedia

Die Polregionen [des Mondes] besitzen Punkte, die fast ständigem Lichteinfall ausgesetzt sind. [...] Somit wäre die Sonne als Energiequelle nutzbar. Bei einem Verbund mehrerer Solarparks wäre eine ständige Energieversorgung gewährleistet. Mittels eines Verteilernetzes ließen sich so auch Stütz-



punkte betreiben, die nicht ständigem Sonnenlicht ausgesetzt sind. [...] Darüber hinaus liegen die Täler der Bergketten stetig im Schatten. Untersuchungen zeigten, dass dort Wasseris vorhanden ist, das für eine Kolonie genutzt werden könnte (als Trinkwasser, Gewinnung von Sauerstoff für Atemluft, bzw. flüssigem Sauerstoff/Wasserstoff als Raketentreibladung). Die Äquatorialregionen [...] sind leichter erreichbar, da für Start und Landung keine polare Umlaufbahn erforderlich ist, sondern ein LMO (Low Moon Orbit) verwendet werden kann. Ein interessanter Standort könnte das Gebiet Reiner Gamma sein, das ein nennenswertes magnetisches Feld besitzt, um den Sonnenwind abzulenken.

Die Rückseite des Mondes bietet [...] eine Abschirmung gegen Radiosignale von der Erde, so dass der Betrieb von Radioteleskopanlagen unter optimalen Bedingungen erfolgen könnte. [...] Die Kommunikation mit der Erde wäre jedoch nur über einen Satelliten [...] realisierbar.

Mondkolonisation.  
18.07.2023. <https://de.wikipedia.org/wiki/Mondkolonisation>  
[Zugriff: 20.10.2024]

## Selbsttest: Überprüfen Sie Ihre Kenntnisse und Kompetenzen



### Selbsttest-Checkliste

- ✓ Bearbeiten Sie die Aufgaben schriftlich in ordentlicher Form. Die Auswertungstabelle zeigt die Kompetenzerwartungen und Hilfestellungen.
- ✓ Vergleichen Sie Ihre Lösungen mit den Lösungsskizzen unter [MC 67056-13](#)
- ✓ Bewerten Sie nun Ihre Lösungen mit den Symbolen 😊, 😐 oder 😞.



- 1 Das Sonnensystem enthält unzählige Himmelskörper auf Keplerbahnen.
  - a) Durch ihre numerische Exzentrizität  $\varepsilon$  wird die Form einer Keplerellipse beschrieben. Die Bahnen des Planeten Mars, des Asteroiden Pallas und des Kometen Hale-Bopp haben die Exzentrizitäten  $\varepsilon_M = 0,0934$ ,  $\varepsilon_P = 0,230$  und  $\varepsilon_{HB} = 0,995$ . Erläutern Sie, welche Informationen sich aus den Exzentrizitäten  $\varepsilon$  über die Bahnformen und die Geschwindigkeiten dieser Himmelskörper während eines Umlaufs folgern lassen.
  - b) Begründen Sie, dass für alle Himmelskörper, die die Sonne umlaufen, gilt:  $\frac{T^2}{a^3} = 1 \frac{a^2}{AE^3}$
  - c) Ermitteln Sie mit Hilfe des Gravitationsgesetzes den Wert der Kepler-Konstanten  $\frac{T^2}{a^3}$  für Himmelskörper, welche die Erde umlaufen. Verwenden Sie die Kreisbahnäherung. Nennen Sie Beispiele für solche Himmelskörper.
- 2 Am Beginn des Jahres 2023 konnte der Komet C/2022 E3 mit dem Schulteleskop beobachtet werden. Bei seinem Eintritt in das innere Sonnensystem bewegte er sich auf einer Keplerellipse mit der Exzentrizität  $\varepsilon = 0,9992$  und der großen Halbachse 1400 AE.
  - a) Berechnen Sie aus den angegebenen Daten die Zeit, die der Komet vom Aphel seiner Bahn bis zu seinem sonnennächsten Punkt benötigte, und ermitteln Sie die kleinste und die größte Entfernung des Kometen zur Sonne.
  - b) Erläutern Sie, warum der Schweif des Kometen nur während eines relativ kurzen Zeitraums von wenigen Wochen sichtbar war.
- 3 Der Saturnmond Rhea umläuft den Planeten Saturn innerhalb von 4,5 Tagen auf einer kreisförmigen Bahn mit einem Radius von  $5,27 \cdot 10^5$  km.
  - a) Erklären Sie, wie aus der Beobachtung des Umlaufs eines Mondes um einen Planeten die Masse des Planeten ermittelt werden kann.
  - b) Berechnen Sie die Masse des Saturns und vergleichen Sie diese mit der Erdmasse.
- 4 In der Raumfahrt spielt die gravitative Wechselwirkung zwischen den Himmelskörpern des Sonnensystems und Raumflugkörpern sowohl für die Wahl von Flugbahnen als auch für die Berechnung des Energiebedarfs eine entscheidende Rolle.
  - a) Der Nullpunkt der potenziellen Energie im Gravitationsfeld eines Himmelskörpers wird in unendlich großer Entfernung  $r$  vom Mittelpunkt des Himmelskörpers festgelegt. Geben Sie einen Grund an, der diese Festlegung als sinnvoll erscheinen lässt.  
Begründen Sie, dass die potenzielle Energie einer Masse im Gravitationsfeld eines Himmelskörpers stets negativ ist.

## B \ Das Sonnensystem

- b) Leiten Sie die Formel  $E_{\text{pot}} = -G \cdot \frac{M \cdot m}{r}$  für die potenzielle Energie eines Raumflugkörpers der Masse  $m$  im Gravitationsfeld eines Himmelskörpers der Masse  $M$  her.
- c) Geostationäre Satelliten umlaufen die Erde auf kreisförmigen Bahnen in einer Höhe von 35 786 km über der Erdoberfläche. Berechnen Sie, wie viel Energie mindestens benötigt wird, um einen Satelliten der Masse 3000 kg in diese Höhe zu befördern.
- 5 Die Mindestgeschwindigkeit, auf die ein Raumflugkörper in Erdnähe beschleunigt werden muss, damit er sich ohne eigenen Antrieb so weit von der Erde entfernt, dass die gravitative Anziehung durch die Erde vernachlässigbar klein wird, bezeichnet man als Fluchtgeschwindigkeit.
- a) Aus energetischen Betrachtungen ergibt sich für die Geschwindigkeit  $v$  eines Körpers auf einer Ellipsenbahn der Zusammenhang  $v = \sqrt{G \cdot M \cdot \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right)}$ .  
Leiten Sie daraus die Formel  $v_F = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot m_E}{R_E}}$  für die Fluchtgeschwindigkeit von der Erdoberfläche her.
- b) Im September 2005 landete die japanische Raumsonde Hayabusa auf dem Asteroiden Itokawa. Itokawa soll näherungsweise als kugelförmig mit einem Radius von 400 m und einer Masse von  $3,6 \cdot 10^{10}$  kg betrachtet werden. Berechnen Sie die Fluchtgeschwindigkeit von der Oberfläche von Itokawa und vergleichen Sie diese mit der Fluchtgeschwindigkeit von der Erdoberfläche.
- 6 Im Juli 2015 erreichte die NASA-Sonde New Horizons nach einer Flugdauer von etwa 9,5 Jahren den Zwergplaneten Pluto. Die New-Horizons-Mission lieferte Bilder von Pluto, wie sie vorher noch niemand gesehen hatte.
- a) Eine mögliche Bahn für den Flug zu Pluto ist eine Hohmann-Bahn. Skizzieren Sie die Hohmann-Bahn zu dem bei der Ankunft der Raumsonde von der Sonne 33 AE entfernten Pluto. Berechnen Sie die Flugdauer auf dieser Bahn. Recherchieren Sie den Grund für die Abweichung dieser Flugdauer von der Zeit, die tatsächlich vom Start der Raumsonde bis zum Erreichen des Pluto verging. Nennen Sie zwei Gründe für die gewählte Flugbahn.
- b) Die Kosten der New-Horizons-Mission betragen etwa 700 Millionen Dollar. Bewerten Sie den Nutzen der Mission unter Berücksichtigung physikalischer und außerphysikalischer Kriterien.



## Auswertungstabelle

Ich kann ...	Hilfe
1 die Keplerschen Gesetze und das Gravitationsgesetz nutzen, um die Bahnen von Objekten im Sonnensystem zu beschreiben und ihre Massen zu bestimmen.	S. 54 ff.
2 die Formel für die potenzielle Energie einer Masse im Gravitationsfeld herleiten und anwenden.	S. 58 ff.
3 aus dem Energieerhaltungssatz die Formel für die zweite kosmische Geschwindigkeit herleiten.	S. 60 ff.
4 die Daten einer Hohmann-Bahn für einen interplanetaren Raumflug ermitteln.	S. 62
5 zu unterschiedlichen Ansichten gegenüber der Raumfahrt begründet Stellung beziehen.	S. 64 ff.

## Zusammenfassung

### Himmelskörper des Sonnensystems

#### Definierende Eigenschaften von Planeten

- Umlaufbahn um die Sonne
- ausreichende Masse für kugelhähnliche Form
- dominierendes Objekt seiner Umlaufbahn

Neben den **8 Planeten** Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun umlaufen die Sonne zahlreiche weitere Himmelskörper auf Ellipsenbahnen:

- **Zwergplaneten**
- **Kleinkörper (Asteroiden, Kometen, Meteoroiden)**

Diese Himmelskörper unterscheiden sich unter anderem durch Größe, Form, Bahnexzentrizität und Bahnneigung.

#### Aufenthalts- bzw. Herkunftsorte von Kleinkörpern

Asteroidengürtel, Kuipergürtel, Oortsche Wolke



Planet Jupiter

Asteroid Ida

Komet C/2022 E3

**Monde** umlaufen einen Planeten, Zwergplaneten oder Kleinkörper.

### Keplersche Gesetze

Die drei Keplerschen Gesetze beschreiben, wie sich Planeten bewegen.

#### 1. Keplersches Gesetz (Ellipsensatz)

Die Planeten bewegen sich auf Ellipsenbahnen um die Sonne, die in einem der Brennpunkte der Ellipse steht.

Die **numerische Exzentrizität  $\epsilon$**  beschreibt, wie stark die Ellipsenbahn von einer Kreisbahn abweicht:

$$\epsilon = \frac{e}{a} \text{ und } 0 \leq \epsilon < 1$$

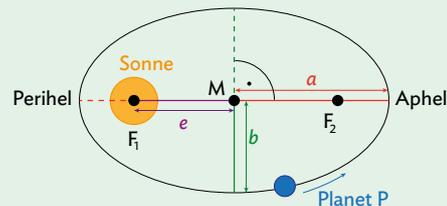
#### 2. Keplersches Gesetz (Flächensatz)

Die Verbindungsstrecke zwischen der Sonne und einem Planeten überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen.

#### 3. Keplersches Gesetz

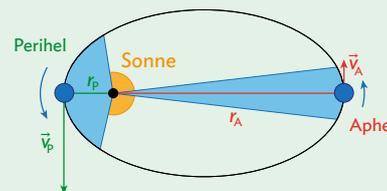
Für alle Planeten des Sonnensystems ist das Verhältnis des Quadrats der siderischen Umlaufdauer  $T$  zur dritten Potenz der großen Halbachse  $a$  gleich groß:

$$\frac{T^2}{a^3} = 1 \frac{a^2}{AE^3} = \text{konstant}$$



Periheldistanz:  $r_P = a \cdot (1 - \epsilon)$

Apheldistanz:  $r_A = a \cdot (1 + \epsilon)$



#### Folgerung aus dem 2. Keplerschen Gesetz

Die Bahngeschwindigkeit  $v$  eines Planeten ist umso größer, je kleiner sein Abstand  $r$  zur Sonne ist.

$$r_P \cdot v_P = r_A \cdot v_A$$

B \ Das Sonnensystem

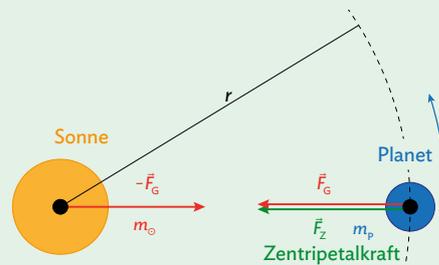
**Gravitationsgesetz**

Die Ursache der Bewegung eines Planeten um die Sonne ist die **Gravitationskraft**  $F_G$ , die zwischen Sonne ( $\odot$ ) und Planet (P) wirkt:

$$F_G = G \cdot \frac{m_\odot \cdot m_P}{r^2}$$

**Herleitung des 3. Keplerschen Gesetzes** aus dem Gravitationsgesetz:

$$F_Z = F_G \implies \frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{G \cdot m_\odot} = \text{konstant}$$



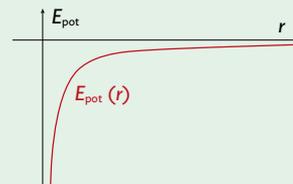
Die  **Masse des Zentralkörpers** lässt sich aus Umlaufdauer  $T$  und Bahnradius  $r$  eines auf einer Kreisbahn umlaufenden Körpers bestimmen.

**Potenzielle Energie im Gravitationsfeld**

Für die potenzielle Energie des Systems zweier Massen  $M$  und  $m$ , die sich im Abstand  $r$  zueinander befinden, gilt:

$$E_{\text{pot}}(r) = -G \cdot \frac{M \cdot m}{r}$$

- $E_{\text{pot}}(r)$  nimmt mit  $r$  zu.  $\implies E_{\text{pot}}(r) < 0$
- $E_{\text{pot}}(r) = 0$  für  $r \rightarrow \infty$



**Bahngeschwindigkeit eines Körpers auf einer Keplerellipse**

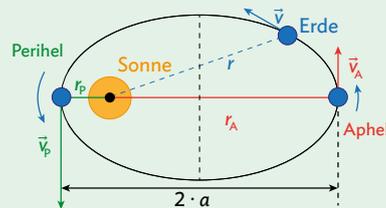
Für die **Geschwindigkeit eines Körpers auf einer Ellipsenbahn** in einem beliebigen Abstand  $r$  vom Brennpunkt, in dem sich eine Masse  $M$  befindet, gilt:

$$v = \sqrt{G \cdot M \cdot \left( \frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)}$$

**Fluchtgeschwindigkeit** von der Oberfläche eines Himmelskörpers mit der Masse  $M$  und dem Radius  $R$ :

$$v_F = \lim_{a \rightarrow \infty} v(R) = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{R}}$$

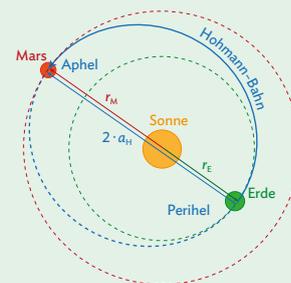
Die **Fluchtgeschwindigkeit**  $v_F = 11,2 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ , mit der sich ein Körper so weit von der Erde entfernt, dass der gravitative Einfluss der Erde vernachlässigbar gering wird, nennt man **2. kosmische Geschwindigkeit**  $v_2$ .



**Flugbahnen von Raumsonden**

Eine **Hohmann-Bahn** ist eine energetisch besonders günstige elliptische Flugbahn mit der Sonne in einem Brennpunkt. Sie verbindet die Umlaufbahnen der Erde und des Zielobjekts miteinander.

Bei einem **Swing-by-Manöver** wird die Flugbahn einer Raumsonde so gewählt, dass sie sich einem Planeten stark annähert. Die gegenseitige gravitative Anziehung kann zur Beschleunigung oder zum Abbremsen der Sonde genutzt werden.



## Bildnachweis

AdobeStock / David Hajnal – S. 51; Alamy Stock Photo / History\_docu\_photo – S. 53; - / IanDagnall Computing – S. 54; - / LWM, NASA, LANDSAT – S. 38/39; - / Stocktrek Images, Inc. – S. 40, 44; - / The Picture Art Collection – S. 56; DLR - Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt / CC BY-NC-ND 3.0 – S. 68; ESA / P. Carril – S. 59; ESO / Gerhard Hüdepohl (atacomphoto.com), CC BY-SA 4.0 – S. 53; Fotolia / Stefan Rajewski – S. 48; - / David Woods – S. 45; Getty Images Plus / iStockphoto, 3000ad – S. 67, 71; - / iStockphoto, 3DSculptor – S. 52, 64; - / iStockphoto, Azulillo – S. 2, 3; - / iStockphoto, dottedhippo – S. 48 (2); - / iStockphoto, Evgeny555 – S. 70; - / iStockphoto, Martin Holverda – S. 57; - / iStockphoto, kevin morefield – S. 55; - / iStockphoto, Johannes Gerhardus Swanepoel – S. 57; - / Photodisc, Digital Vision – S. 66; iStockphoto / dima\_zel – S. 66; Mauritius Images / Alamy Stock Photo, Dave G. Houser – S. 64; - / Science Source, NASA – S. 57; NASA / ESA, JPL, Arizona State Univ. – Cover; - / ESA, H. Weaver Jr JHUAPL, A. Stern SwRI und das HST Pluto Companion Search Team – S. 44; - / Goddard – Cover; - / Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, Carnegie Institution of Washington – S. 69; - / JPL – S. 49, 50, 51, 74; - / JPL-Caltech – S. 48, 49, 67; - / JPL-Caltech, MSSS – S. 66; - / JSC – S. 64, 65, 71; - / Labor für Angewandte Physik der Johns Hopkins University, Southwest Research Center, Chandra X-Ray Center – S. 73; - / JPL, USGS – S. 49, 74; NASA und The Hubble Heritage Team STScI/AURA. Danksagung: RG French Wellesley College, J. Cuzzi NASA/Ames, L. Dones SwRI und J. Lissauer NASA/Ames – S. 49; Science Photo Library / Armin Behrend, Look at Sciences – S. 47; - / MIGUEL CLARO – S. 72, 74; - / Collection Abecasis – S. 59; - / Lynette Cook – S. 73; - / ESA, ATG Medialab – S. 70; - / IDA / DASP / UPM / INTA / RSSD / IAA / LAM / UPD / ESA, MPS for OSIRIS Team MPS – S. 48; - / David A. Hardy, FUTURES: 50 YEARS IN SPACE – S. 68; - / NASA, ESA, A. Simon (Goddard Space Flight Center), and M. H. Wong (University of California, Berkeley) and the OPAL team – S. 69; - / Detlev Van Ravenswaay – S. 64; Wolfgang Vieser, München – S. 63; www.TaskCards.de – S. 43 (5); www.wikipedia.de / Antonsusi, CC BY-SA 3.0 – S. 46.

## Physik – Gymnasium Bayern Sek II

### Physik 13

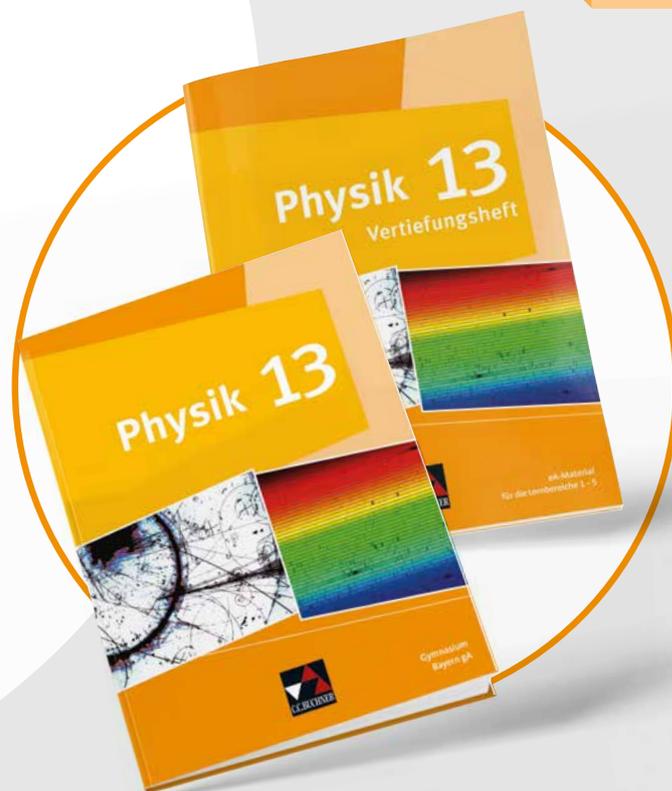
gA

Unsere Physik-Reihe für die Oberstufe ermöglicht einen praxisorientierten und strukturierten Unterricht. Mit progressiv aufeinander aufbauenden Fachmethoden sowie speziellen, abiturähnlichen Aufgaben legt Band 13 den Grundstein für die Abiturvorbereitung.

**Physik 13** ermöglicht eine klare Trennung der Anforderungsniveaus. Die Materialien für gA und eA sind voneinander entkoppelt.



Mehr Infos:  
[www.ccbuchner.de/bn/67053](http://www.ccbuchner.de/bn/67053)



### Für das grundlegende Anforderungsniveau

Für das grundlegende Anforderungsniveau (gA) bieten wir unser bewährtes Schulbuch – mit all seinen Vorzügen.

### Für das erhöhte Anforderungsniveau

Für das **erhöhte Anforderungsniveau (eA)** bieten wir Ihnen Arbeitsblätter, auf die Ihre Schülerinnen und Schüler bequem über QR- und Mediacodes in **Physik 13** zugreifen können – natürlich mit umfangreichen Aufgaben (inklusive Lösungen im click & teach). Zudem stellen wir Ihnen diese wichtigsten Inhalte für das erhöhte Anforderungsniveau auch als zusätzliches **Vertiefungsheft** zur Verfügung.



**Digital:** Die eA-Materialien können nach der Genehmigung durch das Bayerische Staatsministerium für Unterricht und Kultus aus dem Buch heraus aufgerufen werden.



**Gedruckt:** Nach der Genehmigung werden die eA-Materialien auch gebündelt in einem zusätzlichen Vertiefungsheft erhältlich sein!



Hier finden Sie kostenfrei zum Herunterladen eine Vorabversion unserer eA-Materialien zu **Physik 12!**

**digitales Zusatzmaterial** auch via QR- oder Mediacodes direkt in der Print-Ausgabe verfügbar



### Ideal für den digitalen Materialaustausch

Die **digitale Ausgabe des Schülerbands click & study** und das **digitale Lehrermaterial click & teach** bilden zusammen die ideale digitale Lernumgebung.

Zusätzlich im digitalen Lehrermaterial click & teach sind auch die Lösungen und Arbeitsblätter zum erhöhten Anforderungsniveau enthalten.

Mehr Infos finden Sie auf den Seiten 54 bis 61 und auf [www.click-and-study.de](http://www.click-and-study.de) und [www.click-and-teach.de](http://www.click-and-teach.de).



Demo click & teach  
Band 12

Entdecken Sie mit Physik 12 und Biophysik neu auch unser Angebot für die 12. Jahrgangsstufe!



# click & study

Digitale Ausgabe des Schülerbands



## Digitaler Unterricht mit C.C.Buchner

Entdecken Sie unsere digitalen Lehr- und Lernmittel: Mit click & study – der digitalen Ausgabe des Schülerbands – und click & teach – dem digitalen Lehrermaterial – werden die Unterrichtsvorbereitung und die Schulstunde selbst einfacher als je zuvor.

### ► Einfach in der Navigation:

Im Mittelpunkt von click & study und click & teach steht immer die digitale Schulbuchausgabe, um die sich alle eingebundenen Materialien und Funktionen gruppieren. So behalten Sie stets den Überblick und finden alle Inhalte genau dort, wo sie benötigt werden.

### ► Einfach in der Bedienung:

Bei der Gestaltung der Menüs und der Bedienelemente haben wir darauf geachtet, dass diese nicht überladen werden und selbsterklärend bleiben. Nichtsdestotrotz haben Sie und Ihre Schülerinnen und Schüler die Auswahl an einer Fülle von nützlichen Funktionen – für einen modernen Unterricht mit digitaler Interaktion.

### ► Einfach im Zugriff:

click & study und click & teach können Sie überall und mit jedem Endgerät nutzen, auf dem ein aktueller Internetbrowser installiert ist. Oder Sie laden sich einfach die kostenfreie Tablet-App herunter – so können Sie auch offline arbeiten. Die digitale Schulbuchausgabe click & study kann zudem via [Bildungslogin.de](https://www.bildungslogin.de) genutzt werden.

# click & teach

Digitales Lehrermaterial



## ► Einfach in der Lizenzierung:

Egal ob für Einzelpersonen, das Kollegium oder die Schülerschaft – wir haben für jeden Bedarf ein passendes Angebot. Bestellen können Sie ausschließlich auf [www.ccbuchner.de](http://www.ccbuchner.de). Die digitale Schulbuchausgabe click & study kann zudem via [www.bildungslogin.de](http://www.bildungslogin.de) genutzt werden.

## ► Einfach in der Verwaltung:

Für Lehrmittelverantwortliche, IT-Kräfte und Lehrkräfte bieten wir das C.C.Buchner-Schulkonto an. Damit können die digitalen Lehr- und Lernmittel click & teach und click & study an einem zentralen Ort erworben, verwaltet und dem Kollegium oder der Schülerschaft zur Verfügung gestellt werden.

## ► Einfach für alle:

click & study und click & teach können miteinander verknüpft werden. So funktioniert der Unterricht bei Bedarf komplett digital – ideal für Tablet-Klassen und den digitalen Materialaustausch zwischen Lehrenden und Lernenden.

### Interaktives Inhaltsverzeichnis



### Digitale Arbeitsseite



### Lehrermaterial (nur in click & teach)



The screenshot displays the 'click & teach' digital chemistry textbook interface. On the left, a navigation menu lists various chemistry topics from 'Grundlagen aus Klasse 8-10' to 'Anhang'. The main content area features a section titled 'Chemie - eine Naturwissenschaft' with a photograph of a blue liquid in a beaker. Below the photo, there is text about chemical experiments and safety. The right sidebar contains safety information, including hazard symbols and a QR code for application. The interface is designed for interactive learning and includes a search bar and navigation icons.

### Digitale Ausgabe des C.C. Buchner-Lehrwerks



### Persönlicher Unterrichtsplaner (nur in click & teach)



## click &amp; study und click &amp; teach bieten:

		click & study	click & teach
	<p><b>Digitale Ausgabe des C.C.Buchner-Lehrwerks</b></p> <p>Der jeweilige Schülerband von C.C.Buchner ist als vollständige digitale Ausgabe in click &amp; study und in click &amp; teach enthalten. Sie können mit verschiedenen Endgeräten (PC, Mac, Tablet) online und auch offline via Tablet-App darauf zugreifen.</p> 	✓	✓
	<p><b>Interaktives Inhaltsverzeichnis</b></p> <p>Das Inhaltsverzeichnis ermöglicht einen schnellen Überblick über die Inhalte der digitalen Ausgabe des Schulbuchs und die Navigation zwischen den Kapiteln. Wird es nicht benötigt, lässt es sich einfach einklappen.</p>	✓	✓
	<p><b>Digitale Arbeitsseite</b></p> <p>Durch das Einfügen digitaler Arbeitsseiten besteht die Möglichkeit, auf einer zusätzlichen leeren Seite eigene Texte, Bilder, Links und Freihandzeichnungen zu hinterlegen.</p>	✓	✓
	<p><b>Umfangreiches Lehrermaterial</b></p> <p>click &amp; teach bietet zahlreiche digitale Zusatzmaterialien. Hier erhalten Sie Zugriff auf perfekt abgestimmte Inhalte wie zum Beispiel Lösungen, didaktische Hinweise, digitale Lernanwendungen, Animationen, Arbeitsblätter, Kopiervorlagen, Tafelbilder und vieles mehr.</p>	—	✓
	<p><b>Unterrichtsplaner</b></p> <p>Der Unterrichtsplaner sorgt dafür, dass Sie in click &amp; teach alle Materialien immer in der gewünschten Abfolge griffbereit haben. Strukturieren, kommentieren und präsentieren Sie die Materialien ganz nach Ihren Wünschen.</p>	—	✓

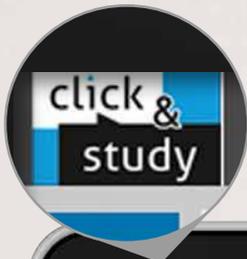
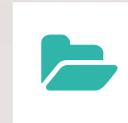
### Aufgabenpool und Forum



### Toolbar mit zahlreichen Funktionen



### Digitales Zusatzmaterial




### Materialimport und -freischaltung (nur in click & teach)



## click &amp; study und click &amp; teach bieten:

		click & study	click & teach
	<p><b>Digitale Inhalte und Links</b></p> <p>Über Spots erhalten Schülerinnen und Schüler Zugriff auf Links und Zusatzmaterialien, die im gedruckten Schulbuch über Mediacodes zugänglich sind. So lassen sich z. B. Erklärvideos, gestufte Hilfen oder interaktive Lernanwendungen einfach in das Unterrichtsgeschehen integrieren.</p>	✓	✓
	<p><b>Toolbar mit vielen nützlichen Funktionen</b></p> <p>Der moderne Reader bietet Ihnen und Ihren Schülerinnen und Schülern nützliche Bearbeitungsfunktionen wie Markieren, Kopieren, Zoomen und Suchen. Dazu gibt es das Lesezeichen sowie einen Freihandstift für Skizzen und Notizen.</p>	✓	✓
	<p><b>Materialfreischaltung</b></p> <p>Als Lehrkraft haben Sie in click &amp; teach die Möglichkeit, Materialien für eine ausgewählte Lerngruppe oder für einzelne Lernende in click &amp; study freizuschalten und so schnell zu übermitteln.</p>	✓	✓
	<p><b>Aufgabenpool</b></p> <p>In diesem Bereich können die Lernenden Aufgaben digital empfangen und wieder abgeben. Schülerinnen oder Schüler sehen beim Hochladen der Aufgaben immer nur ihre eigenen Dateien. Den Überblick über den gesamten Aufgabenpool hat ausschließlich die Lehrkraft.</p>	✓	✓
	<p><b>Forum</b></p> <p>Das Forum ist das digitale Pendant zum gemeinsamen Gespräch im Klassenzimmer und funktioniert wie ein Gruppenchat. So können sich Lernende und Lehrende unkompliziert austauschen.</p>	✓	✓
	<p><b>Materialimport</b></p> <p>Das umfangreiche digitale Lehrermaterial können Sie mit Ihren eigenen Dokumenten wie Bildern, Audios, Videos oder Textdokumenten anreichern. Mit dem Materialimport laden Sie diese Dateien hoch und platzieren sie mit einem eigenen Spot auf den digitalen Schulbuchseiten.</p>	—	✓

## Lizenzmodelle click & teach

	Kollegiums- lizenz	Einzellizenz flex	Einzellizenz
<b>Inhalt</b>	Digitale Ausgabe + Lehrermaterial	Digitale Ausgabe + Lehrermaterial	Digitale Ausgabe + Lehrermaterial
<b>Preis</b>	ab 130,- €	ab 37,- €	ab 24,50 €
<b>Laufzeit</b>	solange das gedruckte Lehrwerk erhältlich ist	solange das gedruckte Lehrwerk erhältlich ist	solange das gedruckte Lehrwerk erhältlich ist
<b>Lizenzanzahl</b>	beliebige Anzahl für das komplette Fachkollegium inkl. Referendare	1	1
<b>Weitergabe</b>	übertragbar	übertragbar	nicht übertragbar
<b>Zugang</b>	direkte Freischaltung im Schulkonto	direkte Freischaltung im Schulkonto	digitaler Freischaltcode per E-Mail
<b>Verfügbarkeit</b>	im verknüpften Schulkonto	im verknüpften Schulkonto	im persönlichen Konto

### Einfache Verwaltung im Schulkonto

Für Lehrmittelverantwortliche, IT-Kräfte und Lehrkräfte bieten wir das C.C.Buchner-Schulkonto an. Damit können die digitalen Lehr- und Lernmittel click & teach und click & study an einem zentralen Ort erworben, verwaltet und dem Kollegium oder der Schülerschaft zur Verfügung gestellt werden.

#### ► Lizenzen erwerben

Einfach Kollegiumslizenzen sowie Einzellizenzen flex per Rechnung bestellen.



#### ► Lizenzen verwalten und übertragen

Zuordnung und Übertragung der Lizenzen zu Mitgliedern des Kollegiums einsehen und verwalten.

#### ► Zugriffsrechte verwalten

Den verknüpften Lehrkräften die Rechte (kaufen, verwalten, bearbeiten) individuell vergeben.

#### ► Lizenzen erwerben

Schulkonto- oder PrintPlus-Lizenzen per Rechnung in wenigen Schritten bestellen.



#### ► Schulstrukturen anlegen und verwalten

Nach Anlage der Schulstruktur Daten der Schülerschaft manuell pflegen oder importieren.

#### ► Lizenzen zuweisen

click & study je nach Bedarf einer ganzen Jahrgangsstufe, einer Klasse oder auch Einzelpersonen zuordnen.

## Lizenzmodelle click &amp; study

Bestellen Sie click & study  
im Schulkonto und profitieren  
Sie vom 3-fach-Rabatt!

click & study	Testlizenz	Einzellizenz	Schulkonto Lizenz	Schulkonto PrintPlus Lizenz
<b>Inhalt</b>	Digitale Ausgabe + Zusatzmaterial	Digitale Ausgabe + Zusatzmaterial	Digitale Ausgabe + Zusatzmaterial	Digitale Ausgabe + Zusatzmaterial
<b>Preis</b>	kostenfrei nur für Lehrkräfte	Standardpreis ab 6,90 €	Standardpreis abzgl. Schulkonto-, Laufzeit- und Mengenrabatt	ab 2,10 € bei Einführung des Schulbuchs
<b>Laufzeit</b>	100 Tage	12 + 1 Monat ab Freischaltung	12 + 1 Monat bis 6 Jahre ab Freischaltung	12 + 1 Monat ab Freischaltung
<b>Lizenzanzahl</b>	1 – 30	1	beliebige Anzahl für die Schülerschaft	1 pro eingeführtem Schulbuch
<b>Weitergabe</b>	nicht übertragbar	nicht übertragbar	übertragbar	nicht übertragbar
<b>Zugang</b>	digitaler Freischaltcode per E-Mail	digitaler Freischaltcode per E-Mail	direkte Freischaltung im Schulkonto	direkte Freischaltung im Schulkonto
<b>Verfügbarkeit</b>	im persönlichen Konto	im persönlichen Konto	im verknüpften Schulkonto	im verknüpften Schulkonto

### Sie haben Fragen? Wir helfen Ihnen gern!

Unsere Schulberatung und unsere Digitalberatung stehen Ihnen mit Rat und Tat zur Seite.

**E-Mail:** [click-and-teach@ccbuchner.de](mailto:click-and-teach@ccbuchner.de) | [click-and-study@ccbuchner.de](mailto:click-and-study@ccbuchner.de)

**Telefon:** +49 951 16098333

**Weitere Informationen,  
Schritt-für-Schritt-Anleitungen  
und Erklärvideos:**

- ▶ [www.click-and-study.de](http://www.click-and-study.de)
- ▶ [www.click-and-teach.de](http://www.click-and-teach.de)
- ▶ [www.ccbuchner.de/schulkonto](http://www.ccbuchner.de/schulkonto)



## Unsere WebSeminare für Bayern

Wir unterstützen und begleiten Sie beim Umsetzen des aktuellen LehrplanPLUS – und das nicht nur mit unseren neuen Lehrwerken. Wir möchten Ihnen Anregungen bieten, Materialien vorstellen und Gelegenheit zum Gedankenaustausch geben.

**Deshalb bieten wir Ihnen WebSeminare an, für die Sie auch eine Teilnahmebestätigung erhalten.**

Natürlich finden Sie uns ebenfalls auf überregionalen Messen und Kongressen.



Detaillierte Informationen und Termine finden Sie auf [www.ccbuchner.de/veranstaltungen](http://www.ccbuchner.de/veranstaltungen).

Wir freuen uns auf spannende Veranstaltungen, auf gute Gespräche und vor allem auf Sie!



Nichts mehr verpassen:  
Unser Newsletter  
mit allen aktuellen Terminen

Abonnieren Sie jetzt unseren Veranstaltungsnewsletter!  
Damit sind Sie fächerübergreifend immer über die aktuellen Termine von C.C.Buchner informiert und können sich Ihren Platz sichern.

# Ihr Schulberatungsteam in Bayern



**Dr. Katrin Brogl**

Mobil: 0178 6012379

E-Mail: k.brogl@ccbuchner.de

## Zuständigkeitsbereiche

- ▶ Mittelfranken PLZ-Bereiche 914-972
- ▶ Unterfranken



**Kilian Jacob**

Mobil: 0171 6012375

E-Mail: jacob@ccbuchner.de

## Zuständigkeitsbereiche

- ▶ Mittelfranken PLZ-Bereich 90-913
- ▶ Niederbayern
- ▶ Oberbayern ohne PLZ-Bereiche 82, 836/837, 850/52, 86
- ▶ Oberfranken
- ▶ Oberpfalz

## Tagungsstätten:

Gars, Wasserburg



**Annette Goldscheider**

Telefon: 0821 2593648

Mobil: 0171 6012371

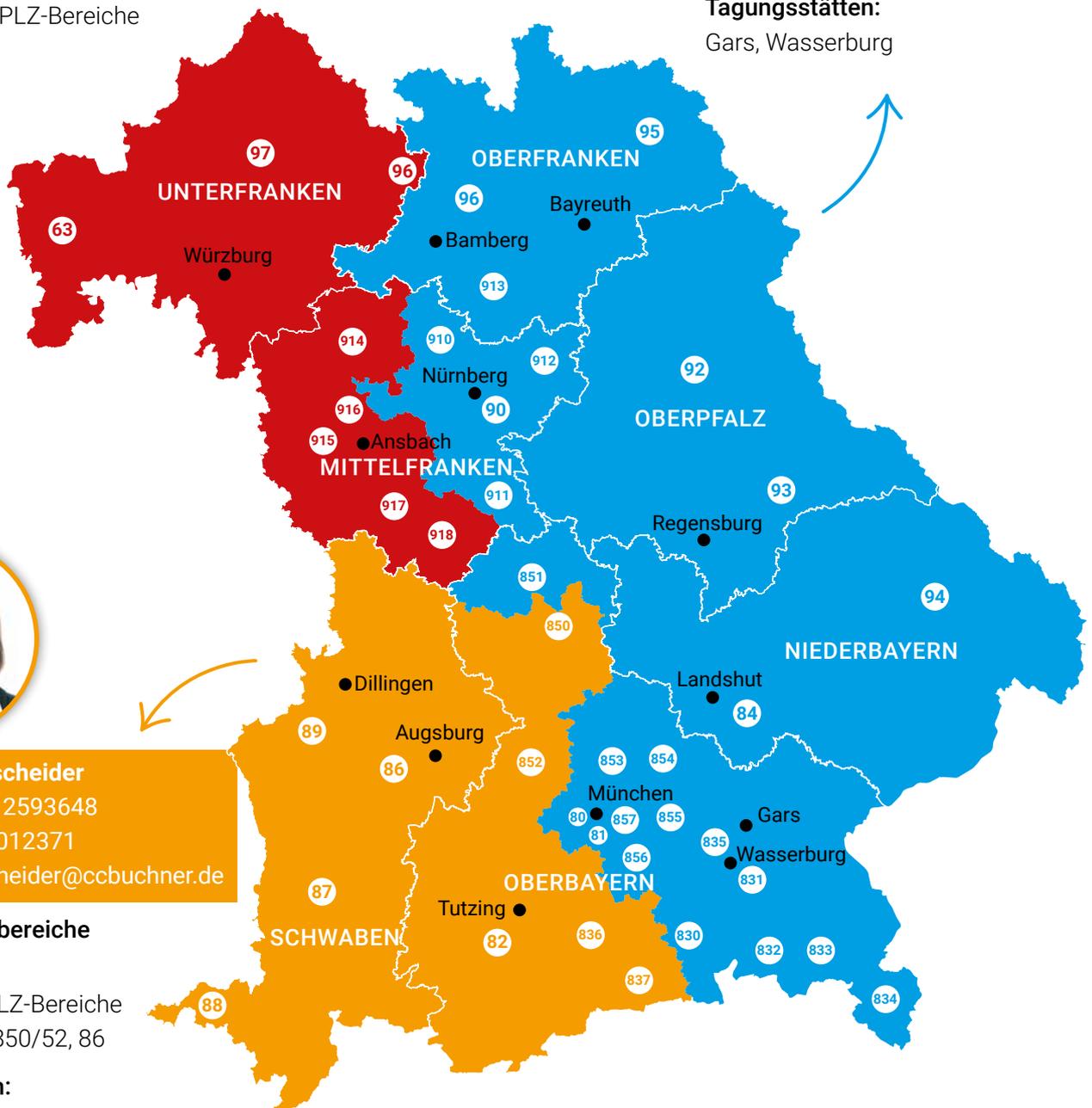
E-Mail: goldscheider@ccbuchner.de

## Zuständigkeitsbereiche

- ▶ Schwaben
- ▶ Oberbayern PLZ-Bereiche 82, 836/837, 850/52, 86

## Tagungsstätten:

Akademie Dillingen und Tutzing



Sie wünschen persönliche Beratung?  
Unser Schulberatungsteam für Bayern ist für Sie da  
– vor Ort, telefonisch und online:



**Dr. Katrin Brogl**

Mobil: 0178 6012379

E-Mail: k.brogl@ccbuchner.de



**Annette Goldscheider**

Telefon: 0821 2593648

Mobil: 0171 6012371

E-Mail: goldscheider@ccbuchner.de



**Kilian Jacob**

Mobil: 0171 6012375

E-Mail: jacob@ccbuchner.de

Sie benötigen weitere Exemplare  
dieser Leseprobe\* für Ihre Fachkonferenz?

1

Geben Sie auf [www.ccbuchner.de](http://www.ccbuchner.de) die  
Bestellnummer **L67056** in die Suchleiste ein.

L67056



2

Legen Sie die kostenfreie Leseprobe  
(1 Exemplar pro Person) und ggf. weitere  
Produkte in Ihren **Warenkorb**.



3

Folgen Sie den weiteren Anweisungen, um  
den Bestellvorgang abzuschließen.

\*Nur solange der Vorrat reicht.

Oder  
direkt über:



L67056

