

Lösungen: Untersuchungsaufgaben

10.1 Man beobachtet keinen dauerhaften Ausschlag, wenn der Magnet ruht, sondern nur dann, wenn man ihn bewegt. Ein besonders großer Ausschlag entsteht, wenn der Magnet sehr schnell hinein- oder herausbewegt wird und dadurch den magnetischen Fluss stark ändert, zum Beispiel indem man ihn weit in die Spule hinein- und wieder herauszieht. Die Ausschlagsrichtung kehrt sich um, wenn die Bewegungsrichtung umgekehrt wird.

16.1 In einem Gleichstromkreis steigt die Stromstärke bei einer Spule nach dem Einschalten verzögert an, weil die Selbstinduktion die Stromänderung bremst, während bei einem Kondensator zunächst ein Ladestrom und danach bei Gleichspannung kein Strom mehr fließt.

In einem Wechselstromkreis wirkt die Spule umso stärker „bremsend“, je höher die Frequenz ist ($R_L = \omega L$), während der Kondensator umso „leichter durchlässt“, je höher die Frequenz ist ($R_C = 1/\omega C$).

16.2 Der Lichtsensor zeigt eine periodische Helligkeitsschwankung, weil die Leistung zeitlich wie $P(t) \propto \sin^2(\omega t)$ verläuft. Bei einer Netzfrequenz von 50 Hz ergibt sich deshalb eine 100-Hz-Helligkeitsmodulation, weshalb das Flackern mit dem Auge kaum auffällt, im Messdiagramm aber deutlich sichtbar ist.

16.3 Der Mittelwert von $\sin^2(\omega t)$ ist 0,5, weil man die Identität $\sin^2(x) = \frac{1 - \cos(2x)}{2}$ verwenden kann: Über eine ganze Periode mittelt sich $\cos(2x)$ zu Null, daher bleibt nur 1/2 übrig. Das entspricht auch der Aussage, dass $\sin^2(\omega t)$ zwischen 0 und 1 schwankt und der zeitliche Mittelwert $\overline{\sin^2 \omega t} = 1/2$ beträgt.

26.1 In Österreich ist der Endenergieverbrauch in den letzten Jahren deutlich gesunken. Statistik Austria berichtet für 2022 einen Rückgang um rund 5 % und für 2023 nochmals einen Rückgang um rund 4 %, was vor allem mit hohen Energiepreisen, Einsparungen und einer schwächeren Konjunktur zusammenhängt.

26.2 Die Förderung und Nutzung fossiler Energieträger verursacht große CO₂-Emissionen und treibt damit die Erderwärmung an. Zusätzlich entstehen gesundheitsschädliche Schadstoffe, und bei Förderung und Transport gibt es erhebliche Eingriffe in Ökosysteme, etwa durch Bergbau, Leckagen und Unfälle. Erneuerbare Energieträger haben im Betrieb deutlich geringere Emissionen, benötigen aber Flächen und Infrastruktur und sind oft wetterabhängig, weshalb Netze, Speicher und Lastmanagement wichtiger werden.

26.3 Für Österreich weist die Statistikbroschüre der E-Control für die inländische Erzeugung (öffentliches Netz) folgende Größenordnungen aus: Wasserkraft und Sonstige rund 39 170 GWh, Wärmekraft rund 18 925 GWh und Wind, Photovoltaik und Geothermie zusammen rund 10 708 GWh. Das entspricht grob 56,9 % Wasserkraft und Sonstige, 27,5 % Wärmekraft und 15,6 % Wind, PV und Geothermie an der inländischen Stromerzeugung. Quelle: (E-Control)

<https://www.e-control.at/documents/1785851/0/E-Control-Statbro-2023-Deutsch.pdf>

26.4 Wasserkraft ist in Österreich sehr wichtig (im Betrieb CO₂-arm und gut regelbar), greift aber in Flussökosysteme ein. Windkraft ist ebenfalls CO₂-arm, schwankt aber mit dem Wind. Photovoltaik ist CO₂-arm und gut für Dächer geeignet. Es liefert vor allem tagsüber und im Sommer viel Strom. Biomasse ist speicherbar, kann aber bei intensiver Nutzung Flächenkonkurrenz und Emissionen verursachen. Wenn man Wasserkraft plus Wind und PV als Kern von „Ökostrom“ nimmt, liegt der grobe Anteil an der inländischen Erzeugung nach den genannten Zahlen in 26.3 bei rund 72 %.

Im internationalen Vergleich liegt Österreich wegen der starken Wasserkraft traditionell im Spitzenfeld bei erneuerbarem Strom in Europa, während Länder ohne große Wasserkraft stärker auf Wind, Solar, Netzausbau und Speicher angewiesen sind.

26.5 Im Haushalt sind typische große Stromverbraucher Kochen/Warmwasser, dazu kommen Kühlen/Gefrieren sowie Waschen/Trocknen, wobei Beleuchtung durch LED heute meist deutlich weniger ausmacht als früher.

Eine sinnvolle Untersuchung ist, entweder über eine Woche mit einem Energiemessgerät nacheinander Kühlschrank, Gefriergerät, Geschirrspüler, Waschmaschine, Wäschetrockner, Computer und Unterhaltungselektronik zu messen und/oder jeweils Betriebszeit und kWh zu protokollieren. Vor der Messung/Protokollierung kann man als Vermutung formulieren, dass Geräte mit Heizwiderstand wie Trockner/Warmwasser am meisten Energie pro Nutzung verbrauchen und dass Dauerläufer wie der Kühlschrank über die Woche ebenfalls stark ins Gewicht fallen. Aus den Ergebnissen leitet man konkrete Maßnahmen ab, etwa niedrigere Warmwassertemperatur, effizientere Programme, weniger Standby und Geräte austauschen.

26.6 Praxisnahe Tests zeigen für viele E-Autos typische Größenordnungen um etwa 18 bis 22 kWh pro 100 km, wobei es je nach Modell und Fahrweise deutlich schwankt. Bei Benzinautos sind typische Verbräuche im Alltag grob 6 bis 8 l pro 100 km, und die EPA-Definition der „gasoline gallon equivalent“ setzt 1 Gallone Benzin $\approx$ 33,7 kWh an, was ungefähr 8,9 kWh pro Liter entspricht.

Für eine grobe weltweite Abschätzung muss man Annahmen treffen: Wenn man beispielsweise mit 1 Milliarde Benzinautos und 10 000 km pro Jahr rechnet, ergibt das bei 20 kWh pro 100 km einen zusätzlichen Strombedarf von etwa 2 000 TWh pro Jahr. Verglichen mit der weltweiten Stromerzeugung von 29 925 TWh (2023) wären das grob rund 7 % mehr.

26.7 Auch wenn im Netz immer ein physikalischer Strommix fließt, wird über Verträge und Herkunftsnachweise festgelegt, welche Energiemenge ein Anbieter anteilmäßig aus erneuerbaren Quellen einspeist und verkauft. Wenn mehr Menschen Ökostrom nachfragen, steigen Investitionsanreize und Ausbau von Erneuerbaren, und das verändert langfristig den realen Kraftwerkspark und damit den tatsächlichen Mix.

26.8 Man könnte untersuchen, wie stark Wärmepumpen den Strombedarf eines Haushalts über das Jahr verändern und welche Rolle Lastverschiebung spielt. Zum Beispiel könnte auch verglichen werden, wie sich unterschiedliche Stromtarife und variable Preise auf das eigene Verbrauchsverhalten auswirken.

28.1 Die World Nuclear Association gibt an, dass weltweit ungefähr rund 440 Leistungsreaktoren Strom erzeugen und Kernenergie etwa 9 % der Weltstromerzeugung liefert. Quelle: (World Nuclear Association) <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today>

28.2 In der EU betreiben unter anderem Belgien, Bulgarien, Tschechien, Finnland, Frankreich, Ungarn, die Niederlande, Rumänien, die Slowakei, Slowenien, Spanien und Schweden Kernkraftwerke, während Deutschland 2023 ausgestiegen ist. Außerhalb der EU betreiben zum Beispiel auch das Vereinigte Königreich, die Schweiz und die Ukraine Kernkraftwerke.

28.3 Es kann u.a. die Tabelle der World Nuclear Association genutzt werden: <https://world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/nuclear-generation-by-country>

28.4 Weltweit listet die World Nuclear Association viele Reaktoren „under construction“ (in Bau) samt Zieljahren, darunter auch europäische Projekte wie Hinkley Point C im Vereinigten Königreich mit Zieljahren um 2029 bis 2031 je nach Szenario. Ob neue Kernkraftwerke sinnvoll sind, hängt von Kriterien ab wie Bauzeit, Kostenrisiko, Sicherheitsanforderungen, Endlagerstrategie und dem Bedarf an gesicherter Leistung neben Wind/Solar.

28.5 Finnland ist mit dem Onkalo-Projekt am weitesten und steht kurz vor dem Start der Endlagerung. Für Frankreich wird für Cigéo häufig ein Zeitraum genannt, in dem ab etwa 2035 bis 2040 erste Abfälle eingelagert werden könnten. In der Schweiz ist das Verfahren weiter in Planung und die Inbetriebnahme wird deutlich später erwartet, wobei für ein Endlager Zeiträume ab der Mitte des Jahrhunderts diskutiert werden.

28.6 Windkraft ist in Österreich stark im Osten konzentriert, besonders in Niederösterreich und im Burgenland, während in westlichen Bundesländern deutlich weniger Anlagen stehen. Das passt zu den dort günstigeren Windbedingungen und zu großen, gut erschließbaren Flächen im Osten.

29.1 Sehr hohe Wasserkraftanteile findet man zum Beispiel in Norwegen, Paraguay und Island. Solche Länder haben entweder sehr wasserreiche Gebiete, große Höhenunterschiede oder beides, was Wasserkraft besonders attraktiv macht.

29.2 Pumpspeicherkraftwerke können Schwankungen ausgleichen, weil sie bei Stromüberschuss Wasser in ein höheres Becken pumpen und bei Bedarf über Turbinen wieder ablassen und Strom erzeugen. In der Praxis reichen bestehende Speicher aber meist nicht aus, um längere Schwachwind- oder Winterphasen alleine zu überbrücken, weshalb zusätzlich Netzausbau, flexible Verbraucher, Batterien und weitere Speichertechnologien gebraucht werden.

29.3 Für neue Speicherkraftwerke spricht, dass sie regelbare Leistung liefern, das Netz stabilisieren und Überschüsse aus Wind und Solar nutzbar machen. Dagegen sprechen Eingriffe in Natur und Landschaft, hohe Investitionskosten und lange Genehmigungs- und Bauzeiten. Pro-Argumente sind besonders stark, wenn ein Projekt ökologisch verträglich geplant ist und nachweislich einen Engpass im Netz oder bei der Flexibilität beseitigt.

29.4 Die Netze stoßen vielerorts an Grenzen, weil Wind und Solar oft weit entfernt von Verbrauchszentren erzeugen und weil viele Leitungen nicht für die neuen Lastflüsse ausgelegt sind. Typische Probleme sind Engpässe, Verzögerungen bei Genehmigungen, fehlende Speichieranbindung und zu geringe grenzüberschreitende Kapazitäten. Wenn politische Entscheidungskriterien formuliert werden müssten, könntest du Versorgungssicherheit, CO₂-Wirkung, Kosten für Haushalte und Industrie, Naturschutz, Akzeptanz und die Geschwindigkeit der Umsetzung gemeinsam bewerten.

31.1 Die gesamte solare Einstrahlung an der Obergrenze der Atmosphäre liegt bei etwa 1361,6 W/m². Daraus folgt, dass die Erde pro Jahr in der Größenordnung von $5,5 \cdot 10^{24}$ J Sonnenenergie „angeboten“ bekommt. Der weltweite Primärenergieverbrauch liegt bei ungefähr 620 EJ pro Jahr, also $6,2 \cdot 10^{20}$ J, weshalb die jährliche Sonneneinstrahlung grob rund 9000-mal größer ist als der jährliche Energiebedarf der Menschheit.

31.2 Solarzellen werden typischerweise aus Silizium hergestellt. Dies wird aus Quarzsand gewonnen und hochrein gereinigt. Anschließend wird es geschmolzen, zu Blöcken (Ingots) geformt und in dünne Scheiben (Wafer) gesägt. Die Wafer werden dotiert und zu Zellen mit Kontakten verarbeitet, die dann zu Modulen laminiert werden. Moderne PV-Systeme haben je nach Technologie und Standort oft eine

Energierücklaufzeit in der Größenordnung von wenigen Jahren, weil sie im Betrieb sehr viel mehr Energie erzeugen als für Herstellung und Installation benötigt wurde.

34.1 FLOPS misst, wie viele Gleitkommaoperationen pro Sekunde ein System ausführen kann. Im Buch wird als Beispiel ein ExaFLOPS-Supercomputer genannt, was etwa 10^{18} Operationen pro Sekunde bedeutet. Frühe Rechner aus der Anfangszeit waren mechanisch oder elektromechanisch und lagen viele Größenordnungen darunter, oft im Bereich von wenigen Operationen pro Sekunde. Ein modernes Smartphone erreicht heute in geeigneten Benchmarks typischerweise Werte im Bereich von 10^{12} FLOPS.

37.1 Aus Quarzsand wird hochreines Silicium gewonnen, zu einem Einkristall gezogen und in dünne Wafer gesägt, die anschließend oxidiert werden. Mittels Fotolithografie wird der Schaltplan durch eine Fotomaske auf einen lichtempfindlichen Lack übertragen. Nach dem Ätzen der Strukturen erfolgt die Dotierung mit Fremdatomen, um die elektrische Leitfähigkeit gezielt zu verändern, bevor eine Metallisierung die Bauteile vernetzt. Seltene Erden dienen dabei nicht als Baumaterial, sondern als essenzielle Hilfsmittel, etwa Cer zum Polieren der Wafer oder Lanthan für spezielle Isolationsschichten.

38.1 a) In der Praxis dominieren Silicium basierende Solarzellen, aber es wird auch an organischen Solarzellen geforscht. Aktuell sind außerdem Tandemkonzepte (z.B. Perowskit-Silicium) wichtig, weil sie höhere Wirkungsgrade ermöglichen, während Stabilität, Kosten, Rohstoffbedarf und Recycling zentrale Probleme bleiben.

b) In Österreich werden Solarzellen vor allem auf Hausdächern, auf Gebäuden von Gewerbe und Industrie sowie in Freiflächenanlagen eingesetzt. (z.B. große Anlage am Flughafen Wien von mehreren zehn GWh pro Jahr.)

38.2 a) Eine PV-Anlage (zusammengeschaltete Module) wandelt Sonnenlicht in Gleichstrom um. Ein Wechselrichter wandelt diesen für Haushalt und Netz in Wechselstrom um.

b) Vorteile sind u.a. emissionsarmer Betrieb und Stromerzeugung am Verbrauchsort. Wenn Standort und Ausrichtung passen, haben PV-Anlagen eine Energierücklaufzeit von nur etwa ein bis zwei Jahren. Nachteile sind schwankende Produktion und der Bedarf an Netz, Speicher oder Lastmanagement.

42.1 Die Nachrichtenübertragung entwickelte sich von Boten und Rauchzeichen über optische Telegraphen zu elektrischer Telegraphie, Telefon und Funk.

Beispiel für Präsentation: Übergang zur Funktechnik und erklären, dass Informationen erstmals drahtlos mit elektromagnetischen Wellen übertragen wurden. Aufbau: Einleitung, technische Idee, gesellschaftliche Wirkung und ein kurzes Beispiel.

43.1 Um höhere Frequenzen zu erhalten, müsste man im Schwingkreis die Induktivität L und/oder die Kapazität C verkleinern, weil $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ dann größer wird. Das erreicht man zum Beispiel durch eine Spule mit weniger Windungen oder einen Kondensator mit kleinerer Kapazität.

45.1 Bei Saite und Antenne treten Resonanz und stehende Wellen auf, die man mit Knoten und Bäuchen beschreibt. Bei der Saite schwingt eine mechanische Welle, und bei der Antenne schwingen Ladung und Strom so, dass elektromagnetische Wellen abgestrahlt oder empfangen werden. In beiden Fällen bestimmen Randbedingungen und effektive Länge die Eigenfrequenzen.

48.1 Kurzwellentherapie (Diathermie) nutzt hochfrequente Felder, um Gewebe zu erwärmen, und wird zum Beispiel in der Physiotherapie eingesetzt. Mikrowellen wirken im Körper vor allem über Erwärmung, weil polare Moleküle im wechselnden Feld Energie aufnehmen, weshalb Expositionen begrenzt werden müssen.

48.2 Infrarotkameras machen Wärmestrahlung sichtbar, indem ein Sensor die Infrarotstrahlung misst und daraus ein Temperaturbild berechnet. Nachtsichtgeräte verstärken vorhandenes Restlicht (passiv) oder nutzen nahes Infrarot, um bei Dunkelheit Strukturen sichtbar zu machen (aktiv). Anwendungen sind u.a. Bauthermografie, Tierbeobachtung und Feuerwehr.

49.1 Röntgenapparaturen erzeugen Bilder, weil verschiedene Materialien Röntgenstrahlung unterschiedlich stark abschwächen, wodurch Knochen sehr kontrastreich erscheinen. Ein CT erstellt daraus durch viele Richtungen Schichtbilder und rekonstruiert innere Strukturen. Ein MRT verwendet starke Magnetfelder und Radiowellen und ist besonders gut für Weichteile geeignet, ohne Röntgenstrahlung zu nutzen.

49.2 SODIS nutzt Sonnenlicht, um Wasser in transparenten Flaschen durch UV-Strahlung und Erwärmung zu desinfizieren. WADI ist ein kleines Gerät, das anzeigt, wann die UV-Dosis ausreichend war, damit die Anwendung sicherer und einfacher wird. Für die Entwicklung braucht man eine klare Zielgröße (UV-Dosis), robuste Sensorik, eine sehr einfache Anzeige, Energieautarkie und Tests unter realen Umweltbedingungen.

50.1 Bei der Entschlüsselung der DNA-Struktur spielten Rosalind Franklin mit Röntgenbeugungsdaten sowie James Watson und Francis Crick mit dem Modell der Doppelhelix zentrale Rollen. Die wichtigste Methode war die Röntgenkristallografie, bei der aus Beugungsbildern auf die räumliche Struktur geschlossen wird. Für eine kurze Darstellung reichen Personen, Methode, Ergebnis und Bedeutung für Biologie und Medizin.

51.1 Zeitzeichensender wie DCF77 senden auf niedrigen Frequenzen mit sehr großer Reichweite. Die Antennen sind sehr groß, weil die Wellenlänge bei solchen Frequenzen sehr groß ist und effizientes Senden und Empfangen große Antennenstrukturen benötigt.

51.2 Unterwasserkabel sind für die Datenübertragung zwischen Kontinenten entscheidend, weil sie große Datenmengen stabil und mit geringer Verzögerung transportieren. Die Kabel werden mit Spezialschiffen verlegt und in Küstennähe oft in den Meeresboden eingebracht, um sie vor Schäden zu schützen.

52.1 Ein CCD-Sensor besteht aus vielen lichtempfindlichen Elementen, die je nach Helligkeit unterschiedlich viele Ladungsträger erzeugen und so das Bild elektrisch abbilden. Damit Farbbilder entstehen, muss das Licht in Rot, Grün und Blau zerlegt werden, weil sich aus diesen drei Grundkanälen die meisten Farben technisch zusammensetzen lassen (additive Farbmischung). Die Trennung geschieht zum Beispiel mit Prismensystemen oder Farbfiltern, und die Signale werden anschließend zu einem Farbbild kombiniert.

52.2 Ein LCD steuert die Lichtdurchlässigkeit pro Pixel über Flüssigkristalle, die die Polarisation des Lichts beeinflussen und so hell oder dunkel schalten. TFT bedeutet, dass jeder Pixel mit einem Dünnschichttransistor aktiv angesteuert wird, damit die Helligkeit stabil bleibt und schnelle Bildwechsel möglich sind.

52.3 Fernsehen und Internet prägen den Alltag durch Information, Kommunikation und Unterhaltung, weil sie jederzeit Inhalte verfügbar machen. Vorteile sind schneller Zugang zu Wissen und Austausch. Unter den Nachteilen zählen Ablenkung, Zeitverlust und mögliche einseitige Informationsblasen. In einer Diskussion könnte man Nutzung, Nutzen, Risiken und Regeln für einen bewussten Konsum gegenüberstellen.

52.4 Internetnutzung braucht Energie, weil Daten in Netzen übertragen und in Rechenzentren verarbeitet und gespeichert werden. Streaming erhöht den Datenverkehr stark, weshalb Effizienz von Geräten, Netzen und Rechenzentren sowie erneuerbarer Strom für den Klimaschutz immer relevanter werden. Man könnte als Konsequenz nennen, dass bewussteres Streaming und energiesparende Einstellungen den Fußabdruck senken können.

53.1 Makrozellen versorgen große Gebiete wie ländliche Regionen oder weite Stadtbereiche, weil hohe Antennenstandorte und Reichweite wichtig sind. Mikrozellen und Picozellen versorgen kleinere Bereiche wie dichte Innenstädte oder Gebäude, weil dort viele Nutzer gleichzeitig versorgt werden müssen und kleine Zellen mehr Kapazität pro Fläche liefern.

53.2 Internet im Flugzeug funktioniert über Satelliten oder über Funkverbindungen zu Bodenstationen, die das Flugzeug mit einer Antenne nutzt. Bei Start und Landung wird die Nutzung oft eingeschränkt, weil diese Phasen sicherheitskritisch sind. Aus diesem Grund sollten in dieser Phase internetfähige Geräte entweder ausgeschaltet oder in den Flugmodus gestellt werden.

53.3 Der Dopplereffekt verschiebt bei Radar die Frequenz des reflektierten Signals, wenn sich ein Objekt auf das Radar zu oder von ihm wegbewegt. Aus dieser Frequenzverschiebung kann die Geschwindigkeit in Strahlrichtung bestimmt werden, was für Verkehrs- und Wetterradar wichtig ist.

53.4 Tarnkappentechnik (Stealth-Technologie) minimiert die Entdeckbarkeit von Militärfahrzeugen, Flugzeugen oder Schiffen durch Radar, Infrarot und andere Sensoren durch eine Kombination aus Form, Material und Kühlung. Dadurch werden die Objekte zwar nicht unsichtbar, aber extrem spät erkennbar. Militärisch kann das Schutz und Überraschung erhöhen, aber auch Konfliktrisiken verschärfen. Die Bewertung der Technik muss also auch politische und ethische Folgen berücksichtigen.

55.1 In Österreich werden Grenzwerte und Prüfverfahren für elektromagnetische Felder über Fachnormen und behördliche Vorgaben festgelegt und orientieren sich an international etablierten Empfehlungen. Bei der Bestimmung solcher Grenzwerte sind Frequenz, Expositionsdauer, Abstand zur Quelle, Sendeleistung und Messunsicherheiten entscheidend. Für Schlussfolgerungen im Alltag ist es sinnvoll, Abstand zu starken Quellen zu halten und unnötig lange Expositionen zu vermeiden, weil Feldstärken mit Abstand typischerweise stark abnehmen.

55.2 Bei sichtbarem Licht reicht die Energie nicht aus, um Atome zu ionisieren, bei hoher Intensität kann es aber Augen und Haut schädigen. UV-Strahlung wirkt stärker photochemisch und kann Haut und Augen schädigen, wobei das Risiko mit kürzerer Wellenlänge zunimmt. Röntgenstrahlung ist ionisierend und kann daher bei hoher Dosis Zellschäden verursachen, weshalb sie z.B. in der medizinischen Diagnostik nur kontrolliert eingesetzt wird.

62.1 Aus Tab. 61.1 erhält man für Wasser den Quotienten c/c_{Wasser} ungefähr zu 1,32(rot), 1,33(gelb) und 1,34(violett). Für Glas ergibt sich c/c_{Glas} ungefähr zu 1,52(rot & gelb) sowie zu 1,53(violett). Damit passt der Wert für gelbes Licht in Wasser sehr gut zu $n = 1,33$ aus 62.2, während der Glas-Wert merklich abweicht, weil n vom Materialtyp (Glassorte) und von der Farbe abhängt und Tabellen oft unterschiedliche „Glas“-Referenzen verwenden.

63.1 Setzt man in $\sin \alpha / \sin \beta = n$ den Wert $\alpha = 90^\circ$ ein, dann gilt $\sin \beta = 1/n$ und damit: $\beta = \arcsin(1/n)$. Für Wasser mit $n = 1,33$ erhält man $\beta \approx 48,8^\circ$, und für Glas mit $n = 1,50$ erhält man $\beta \approx 41,8^\circ$. Eine passende Grenzwinkelformel ist allgemein $\beta_G = \arcsin(n_2/n_1)$. Beim Übergang Medium $\rightarrow$ Luft kann man oft $n_2 \approx 1$ setzen, also $\beta_G \approx \arcsin(1/n_1)$.

63.2 Bei langen Glasfaserstrecken werden Lichtimpulse schwächer (Dämpfung) und breiter (Dispersion), weshalb man je nach Strecke optische Verstärker, saubere Steckverbindungen und geeignete Wellenlängen braucht. Zusätzlich können Biegungen, Temperatur und nichtlineare Effekte die Signalqualität verschlechtern. Kupfer ersetzt man nicht überall durch Glasfaser, weil der Umstieg teuer ist, bestehende Infrastruktur auch weiter genutzt wird und weil Kupfer in vielen Anwendungen gleichzeitig Daten und elektrische Leistung liefern kann, was mit Glasfaserleitungen nicht möglich ist.

63.3 Aktuell bestehen zwischen Kontinenten sehr viele parallele Glasfaserverbindungen über Unterwasserkabel, zum Beispiel über transatlantische Systeme wie MAREA (USA–Spanien), Dunant (USA–Frankreich) oder Grace Hopper (USA–UK–Spanien), und viele weitere, die auf Karten wie der regelmäßig aktualisierten Submarine-Cable-Map sichtbar sind. Probleme sind hohe Reparaturkosten bei Kabelbrüchen, die Abhängigkeit von Verstärkern und Landestationen sowie Risiken durch Anker, Fischerei, Erdbeben oder geopolitische Störungen. Andere Übertragungsmöglichkeiten sind Satelliten oder terrestrische Funkstrecken, aber Glasfaser hat den großen Vorteil von sehr hoher Datenrate und meist deutlich geringerer Latenz als Satellitenkommunikation.

64.1 Beim Untersuchen verschiedener Brillen sollte man darauf achten, ob Gegenstände größer oder kleiner erscheinen, ob sich das Bild am Rand verzieht und ob sich die „bequeme“ Sehentfernung verändert. Eine Sammellinse macht nahe Gegenstände oft leichter scharf und kann vergrößern, während eine Zerstreuungslinse eher verkleinert und das Bild „nach hinten“ verkleinert wirken lässt. Sinnvoll ist es, jeweils denselben Gegenstand einmal ohne und einmal mit Brille aus gleicher Entfernung zu betrachten und die Veränderung zu beschreiben.

64.2 Optische Linsen findet man typischerweise in (Smartphone-)Kameras, Ferngläsern, Lupen, Projektoren, Taschenlampen mit Linsensystem und oft auch in Türspionen. In vielen dieser Geräte werden mehrere Linsen kombiniert, damit das Bild scharf und verzerrungsarm wird.

64.3 Ein modernes Lichtmikroskop besteht im Kern aus Okular, Objektiv, Kondensor und Beleuchtung, wobei der Kondensor das Licht so formt, dass ein kontrastreiches Bild entsteht, und die Scharfstellung über Grob- und Feintrieb erfolgt. Für eine kurze Geschichtspräsentation kann man den Weg von frühen zusammengesetzten Mikroskopen über Galileo Galilei und Robert Hooke bis zu Antonie van Leeuwenhoek darstellen und erklären, dass Mikroskope Zellen und Mikroorganismen zugänglich machten und dadurch Biologie, Medizin und Hygiene grundlegend veränderten.

67.1 Das menschliche Auge hat grob eine Länge beziehungsweise einen Durchmesser in der Größenordnung von etwa 24 mm. Den größten Anteil an der Brechkraft liefert die Hornhaut, während die Linse die Brechkraft variieren kann, damit man in verschiedenen Entfernungen scharf sieht.

67.2 Beim Blick durch die Linse eines Fischeauges fällt typischerweise eine sehr starke Vergrößerung und eine deutliche Verzerrung auf, weil die Linse sehr stark brechend und meist annähernd kugelförmig ist. Da Fischeaugen die Linse kaum in der Form verändern, stellen viele Fische scharf, indem sie die Linse mit Muskeln näher zur Netzhaut hin oder weiter weg bewegen.

67.3 Man weiß, dass Tiere je nach Lebensweise sehr unterschiedliche Sehsysteme haben, zum Beispiel haben Greifvögel hohe Sehschärfe für die Jagd, während nachtaktive Tiere oft besonders lichtempfindlich sind. Manche Insekten sehen UV-Licht, was beim Finden von Blüten hilft, und einige Meerestiere können zusätzlich polarisiertes Licht nutzen. Daraus folgt, dass Sehvermögen und Verhalten oft direkt zusammenhängen, weil Sehen auf Nahrungssuche, Orientierung, Feinderkennung und Partnersuche angepasst ist.

67.4 Zu den wichtigsten Augenfehlern zählen Kurzsichtigkeit, Weitsichtigkeit, Astigmatismus und Alterssichtigkeit. Häufige Augenkrankheiten sind Katarakt, Glaukom und altersbedingte Makuladegeneration. Verlässliche Quellen erkennt man daran, dass sie von Fachgesellschaften, staatlichen Gesundheitsinstitutionen oder klinisch überprüften Informationen stammen und regelmäßig aktualisiert werden. Quellen sind weniger verlässlich, wenn sie keine Autorenschaft, keine medizinische Prüfung oder keine nachvollziehbaren Referenzen angeben, was bei manchen privaten Blogs und Werbeseiten vorkommt.

71.1 Aus $\sin(\varphi) = k \cdot \lambda/d$ folgt, dass φ nur dann merklich groß wird, wenn d in der Größenordnung der Wellenlänge λ liegt, weil sonst λ/d extrem klein ist und die Maxima praktisch im Zentrum bleiben. Bei sichtbarem Licht ist λ nur einige hundert Nanometer, deshalb sieht man deutliche Beugung vor allem an sehr kleinen Spalten, Gittern oder Hindernissen wie einem Haar. Eine passende Anleitung ist: Man verdunkelt den Raum, richtet einen Laser auf eine Wand, hält ein einzelnes Haar in den Strahl und beobachtet statt eines Punktes eine Reihe heller Punkte, die zu Beugungsmaxima gehören. Danach wiederholt man das mit einem Doppelspalt oder einem Gitter und vergleicht, dass kleinere Abstände d größere Winkelabstände der Maxima liefern.

75.1 Legt man zwei Polaroidbrillen übereinander, wird das Bild beim Drehen zunehmend dunkler, und bei etwa 90° ist es fast ganz dunkel, weil die Filter dann „gekreuzt“ stehen (ein Filter blockiert horizontal und der andere vertikal polarisiertes Licht) und kaum Licht durchlassen. Betrachtet man eine spiegelnde Wasserfläche mit Polaroidbrille, sind Reflexe deutlich schwächer, wenn die Durchlassrichtung so liegt, dass sie die bevorzugte Schwingungsrichtung des reflektierten Lichts unterdrückt. Dreht man die Brille, ändern sich Helligkeit und Blendung stark, weil reflektiertes Licht teilweise polarisiert ist und die Brille je nach Orientierung unterschiedliche Anteile absorbiert.

76.1 Im Internet gibt es verschiedene Anleitungen, um Hologramme mit einfachsten Mitteln herzustellen. Physikalisch betrachtet handelt es sich bei diesen Experimenten um kein echtes Hologramm, sondern um einen optischen Effekt. In einem Arbeitsblatt im digitalen Zusatzmaterial stellen wir neben einigen Links auch weitere Aufgaben zur Verfügung.

77.1 Ohne Lufthülle wäre der Himmel schwarz, weil dann kein Sonnenlicht in der Luft gestreut wird, und Sterne wären auch am „Tag“ sichtbar, wenn die Sonne nicht im Blickfeld ist. Auf dem Mond sieht der Himmel daher schwarz aus, weil es praktisch keine Atmosphäre gibt. Auf dem Mars erscheint der Himmel oft rötlich bis gelblich, weil feiner Staub in der dünnen Atmosphäre Licht streut, und nahe der Sonne können Sonnenuntergänge bläulich wirken, weil sich die Streuung mit dem Weg durch die Atmosphäre ändert.

85.1 Die Satellitengrafiken zeigen, dass sich viele Klimagrößen zwar saisonal verändern, sich aber die langfristigen Mittelwerte verschieben. In der Grafik 85.2 sieht man zum Beispiel den starken Anstieg der CO_2 -Konzentration bis etwa 420 ppm, welcher stark mit dem durchschnittlichen Temperaturanstieg korreliert. Außerdem macht der Strahlungshaushalt klar, dass Treibhausgase einen Teil der von der Erde abgegebenen Infrarotstrahlung absorbieren und wieder Richtung Erdoberfläche abstrahlen, was die Erde zusätzlich erwärmt.

89.1 In aktuellen Berichten wird häufig betont, dass 2024 ein globales Rekordjahr der Temperatur war und dass sich extreme Ereignisse wie Hitze, Starkniederschläge und Meereshitzewellen häufen. Gleichzeitig wird hervorgehoben, dass Treibhausgaskonzentrationen und Ozeanwärme weiter steigen und dadurch Risiken wie Meeresspiegelanstieg und Eisschwund zunehmen.

89.2 Widersprüchliche Meldungen entstehen oft dadurch, dass einzelne kalte Winter oder schneereiche Jahre als „Entwarnung“ dargestellt werden, obwohl der langfristige Trend der Alpengletscher weiterhin klar rückläufig ist. Seriöse Argumente stützen sich auf viele Jahre Messreihen zu Länge und Masse, während schwache Argumente einzelne Ausnahmen oder kurze Zeiträume herausgreifen und daraus eine allgemeine Aussage machen. Für die Alpen zeigen offizielle Zusammenfassungen und Messberichte weiterhin starken Rückzug.

95.1 Nach dem Fermat'schen Prinzip nimmt Licht den Weg mit der kürzesten Laufzeit, und daraus ergibt sich beim Übergang zwischen zwei Medien das Brechungsgesetz, weil bei unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeiten der zeitlich schnellste Weg nicht gerade sein muss. Dass Licht beim Eintritt in ein optisch dichteres Medium zum Lot gebrochen wird, passt nur dann zur minimalen Laufzeit, wenn es sich dort langsamer ausbreitet als in Luft. Diese geringere Geschwindigkeit erklärt man damit, dass Licht im Medium mit Materie wechselwirkt und dadurch ein größerer Brechungsindex n entsteht.

101.1 In Abb. 101.2 bedeutet die Steigung der Geraden den Wert der Planck'schen Konstante h , weil nach der Einstein-Gleichung $E_{\text{kin,max}} = h \cdot f - W$ die kinetische Energie linear mit der Frequenz zunimmt. Dass alle Geraden (für Cs, Ca, Zn) praktisch die gleiche Steigung haben, zeigt, dass h nicht materialabhängig ist, während der Achsenabschnitt bzw. die Lage der Geraden durch W materialabhängig ist.

101.2 Ja, es gibt eine materialabhängige Grenzfrequenz f_G , unterhalb der kein Photoeffekt auftritt, weil dann $h \cdot f < W$ gilt und das Photon nicht genug Energie liefert, um ein Elektron aus dem Metall zu lösen. Für Zink mit $W = 4,27 \text{ eV}$ folgt aus $h \cdot f_G = W$ die Grenzfrequenz:

$$f_G = \frac{W}{h} \approx \frac{4,27 \text{ eV}}{4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eVs}} \approx 1,03 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

was einer Grenzwellenlänge von $\lambda_G \approx \frac{c}{f_G} \approx 2,9 \cdot 10^{-7} \text{ m} \approx 290 \text{ nm}$ entspricht und damit im UV Bereich liegt. Als verwendete Grundlage dienen die Lichtquantenhypothese $E = hf$ und die Einstein-Gleichung $E_{\text{kin}} = hf - W$.

110.1 Bei $m = 1 \text{ g} = 10^{-3} \text{ kg}$ und $v = 1 \text{ m/s}$ mit 1 % (= 0,01) Genauigkeit gilt für die Geschwindigkeitsunschärfe: $\Delta v = 1 \text{ m/s} \cdot 0,01 = 0,01 \text{ m/s}$. Daher gilt entsprechend für die Impulsunschärfe: $\Delta p = m \cdot \Delta v = 10^{-3} \text{ kg} \cdot 0,01 \text{ m/s} = 10^{-5} \text{ kg m/s}$. Mit $\Delta x \cdot \Delta p \approx h$ ergibt sich:

$$\Delta x \approx \frac{h}{\Delta p} \approx \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ kg m}^2/\text{s}}{10^{-5} \text{ kg m/s}} \approx 6,63 \cdot 10^{-29} \text{ m}$$

also extrem viel kleiner als ein Atomdurchmesser von 10^{-10} m . Das zeigt, dass quantenphysikalische Ortsunscharfen bei makroskopischen Objekten praktisch keine Rolle spielen.

125.1 Man richtet den Laserpointer auf eine matte Wand und hält eine Polarisationsfolie oder eine Polaroidbrille als Filter in den Strahl. Dann dreht man den Filter langsam und beobachtet die Helligkeit des Lichtpunkts auf der Wand. Wenn die Helligkeit beim Drehen deutlich zwischen hell und fast dunkel schwankt, ist der Strahl (zumindest teilweise) linear polarisiert, und wenn sich kaum etwas ändert, ist er unpolarisiert oder gemischt polarisiert. Einen sicher polarisierten Strahl erhält man, indem man den Laserstrahl durch eine Polarisationsfolie schickt, weil diese nur eine Schwingungsebene durchlässt.

125.2 Man füllt Wasser in ein durchsichtiges Gefäß und gibt wenige Tropfen Milch dazu. Dann lässt man den Laserstrahl quer zur Blickrichtung durch das trübe Wasser laufen und beobachtet das sichtbare Streulicht. Dann blickt man durch einen Polarisationsfilter auf das Streulicht und dreht ihn um die Blickrichtung. Wenn die Helligkeit des Streulichts beim Drehen deutlich variiert, ist das Streulicht polarisiert.