

3 Organische Verbindungen

3.37 Durchblick Zusammenfassung und Übung

Zu den Aufgaben

A1

Stoff	Strukturmerkmale
Diamant	Die Kohlenstoffatome im Diamant bilden ein dreidimensionales Diamantgitter. Mit seinen vier Valenzelektronen geht ein C-Atom vier Atombindungen (Elektronenpaarbindungen) mit vier anderen C-Atomen ein. Die vier Bindungen sind tetraedrisch angeordnet. Außerdem sind gewellte Sechsringe zu erkennen. Vier C-Atome eines solchen Ringes bilden ein Rechteck, ein Atom liegt über dessen Ebene, eins darunter.
Graphit	Das Graphitgitter besteht aus übereinander liegenden ebenen Schichten. In jeder Schicht liegen ebene Sechsringe von C-Atomen vor. Je drei Valenzelektronen eines C-Atoms sind an den Bindungen zu drei weiteren C-Atomen beteiligt. Das vierte Valenzelektron ist ähnlich wie bei Metallen über die ganze Schicht beweglich. Der Abstand zwischen den verschiedenen Schichten ist mehr als doppelt so groß wie zwischen den Atomen derselben Schicht.
Buckminster-Fulleren	Das Buckminster-Fulleren ist ein aus 60 C-Atomen bestehendes kugelförmiges Molekül mit einem Durchmesser von 0,7 nm. Es ist wie ein Fußball aus 20 Sechsringen und 12 Fünfringen aufgebaut. Wie im Graphit hat auch hier jedes Atom drei Bindungspartner. Das vierte Valenzelektron ist auf der Moleküloberfläche frei beweglich.
Kohlenstoff-Nanotubes	Kohlenstoff-Nanotubes sind röhrenförmige Moleküle mit Durchmessern zwischen etwa 1 nm und 50 nm, deren Wände aus wabenartig zusammengesetzten Kohlenstoff-Sechsringen bestehen. Die Länge der Moleküle reicht von einigen Millimetern bis zu 20 cm. Es gibt auch mehrwandige Kohlenstoff-Nanotubes mit Durchmessern über 100 nm.
Graphen	In der zweidimensionalen wabenförmigen Struktur des Graphens ist jedes Kohlenstoffatom mit drei weiteren Kohlenstoffatomen verbunden. Die Dicke einer Graphenschicht entspricht dem Durchmesser eines Kohlenstoffatoms: 0,08 nm.

A2 Der Name „Diamant“ enthält das griechische Wort für „unbezwingbar“. Diamant ist der härteste aller natürlich vorkommenden Stoffe. Jedes C-Atom im Diamantgitter ist mit vier weiteren C-Atomen verknüpft. Mechanisch gelingt es nur sehr schwer, einzelne Atome oder Atomgruppen aus diesem Gitter herauszubrechen.

Der Name „Graphit“ kommt vom griechischen Wort für „schreiben“. Beim Gleiten über Papier spalten sich kleine Graphit-Plättchen ab und hinterlassen eine schwarze Spur. Das Graphitgitter besteht aus übereinander liegenden ebenen Schichten. In jeder Schicht liegen ebene Sechsringe von C-Atomen vor. Je drei Valenzelektronen eines C-Atoms sind an den Bindungen zu drei weiteren C-Atomen beteiligt. Der Abstand zwischen den verschiedenen Schichten ist mehr als doppelt so groß wie zwischen den Atomen derselben Schicht. Die Anziehungskräfte zwischen den Schichten sind schwach; die Schichten lassen sich leicht abspalten.

A3 Die Aufgabe lässt sich durch Probieren lösen, oder auch rechnerisch:

Teilchenmassen: $m_t(\text{Alkanmolekül}) = 72 \text{ u}$; $m_t(\text{C}) = 12 \text{ u}$; $m_t(\text{H}) = 1 \text{ u}$

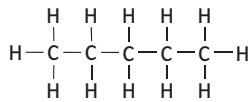
Aus der allgemeinen Summenformel $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ folgt:

$$12 \text{ u} \cdot n + 1 \text{ u} \cdot (2n + 2) = 72 \text{ u} \quad \Leftrightarrow \quad 14 \text{ u} \cdot n + 2 \text{ u} = 72 \text{ u} \quad \Leftrightarrow \quad n = 5$$

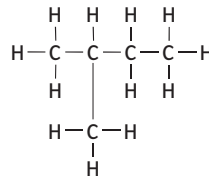
\Rightarrow Summenformel: C_5H_{12}

Probe: $12 \text{ u} \cdot 5 + 1 \text{ u} \cdot 12 = 72 \text{ u}$

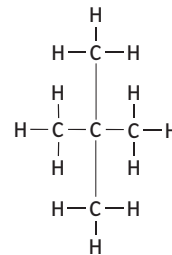
Mögliche Strukturformeln:



Pentan



2-Methylbutan



2,2-Dimethylpropan

A4

Name	Summenformel	Strukturformel	Verwendung
Methan	CH ₄	$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{H} \\ \\ \text{H} \end{array} $	Methan wird überwiegend als Heizgas zur Wärmegewinnung, zum Kochen und zum Betrieb von Verbrennungsmotoren verwendet. Methan ist ein wichtiger Ausgangsstoff für die Gewinnung von Wasserstoff (z. B. für die Ammoniaksynthese).
Butan	C ₄ H ₁₀	$ \begin{array}{ccccccc} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & & \\ & & & & & & \\ \text{H} & - \text{C} & - \text{C} & - \text{C} & - \text{C} & - \text{H} & \\ & & & & & & \\ & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & & \end{array} $	Butan (meist zusammen mit 2-Methylpropan und Propan) wird als Feuerzeuggas, Heizgas zur Wärmegewinnung, zum Kochen und zum Betrieb von Verbrennungsmotoren verwendet.
2-Methylpropan	C ₄ H ₁₀	$ \begin{array}{ccccccc} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & & & \\ & & & & & & \\ \text{H} & - \text{C} & - \text{C} & - \text{C} & - \text{H} & & \\ & & & & & & \\ & \text{H} & & \text{H} & & & \\ & & \text{H} & - \text{C} & - \text{H} & & \\ & & & & & & \\ & & & \text{H} & & & \end{array} $	2-Methylpropan (meist zusammen mit Butan und Propan) wird als Feuerzeuggas, als Heizgas zur Wärmegewinnung, zum Kochen und zum Betrieb von Verbrennungsmotoren verwendet.
Ethen	C ₂ H ₄	$ \begin{array}{c} \text{H} \quad \quad \text{H} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{C} = \text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H} \quad \quad \text{H} \end{array} $	Ethen (Ethylen) ist eine organische Grundchemikalie, aus der z. B. Ethanol, Chlorethen (Vinylchlorid) und Polyethen (Polyethylen) gewonnen werden. Pro Jahr werden weltweit ca. 150 Mio. Tonnen Ethen produziert. 40 bis 50 % davon werden zur Herstellung von Polyethen verwendet.
Propen	C ₃ H ₆	$ \begin{array}{c} \text{H} \quad \quad \text{H} \quad \quad \text{H} \\ \diagdown \quad \diagup \quad \quad \\ \text{C} = \text{C} - \text{C} - \text{H} \\ \diagup \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \quad \quad \quad \text{H} \end{array} $	Propen (Propylen) ist ebenfalls eine organische Grundchemikalie, aus der z. B. Aceton, Acrylsäure, Propandiole und Polypropen (Polypropylen) gewonnen werden.
Ethin	C ₂ H ₂	$ \text{H} - \text{C} \equiv \text{C} - \text{H} $	Ethin (Acetylen) wird zum Schweißen und Schneiden verwendet. Etwa 80 % der weltweit ca. 150 000 t Ethin werden allerdings für organische Synthesen eingesetzt, z. B. für die Gewinnung von Chlorethen (Vinylchlorid) für die PVC-Herstellung.
Cyclohexan	C ₆ H ₁₂	$ \begin{array}{ccccccc} & & & \text{H} & & & \\ & & & & & & \\ & \text{H} & & \text{C} & & \text{H} & \\ & & & & & & \\ \text{H} & - \text{C} & - & \text{C} & - & \text{C} & - \text{H} \\ & & & & & & \\ \text{H} & - \text{C} & - & \text{C} & - & \text{C} & - \text{H} \\ & & & & & & \\ \text{H} & - \text{C} & - & \text{C} & - & \text{C} & - \text{H} \\ & & & & & & \\ & \text{H} & & \text{H} & & \text{H} & \\ & & & & & & \\ & & & \text{H} & & & \end{array} $	Cyclohexan wird u. a. als Lösungsmittel in Lacken, Harzen und Fleckentfernern verwendet. Cyclohexan ist ein Ausgangsstoff zur Herstellung von ε-Caprolactam, welches wiederum zur Produktion der Kunstfaser Perlon benötigt wird.

A5

Alkane	Alkene	Alkine
CH ₄ Methan		
CH ₃ —CH ₃ Ethan	CH ₂ =CH ₂ Ethen	CH≡CH Ethin
CH ₃ —CH ₂ —CH ₃ Propan	CH ₂ =CH—CH ₃ Propen	CH≡C—CH ₃ Propin
CH ₃ —CH ₂ —CH ₂ —CH ₃ Butan	CH ₂ =CH—CH ₂ —CH ₃ But-1-en	CH≡C—CH ₂ —CH ₃ But-1-in
CH ₃ —CH ₂ —CH ₂ —CH ₂ —CH ₃ Pentan	CH ₂ =CH—CH ₂ —CH ₂ —CH ₃ Pent-1-en	CH≡C—CH ₂ —CH ₂ —CH ₃ Pent-1-in

A6 Die gegenseitigen Berührungs- und Polarisierungsmöglichkeiten und damit die Van-der-Waals-Kräfte zwischen den Molekülen hängen von der Moleküloberfläche ab. Das verzweigte Isobutanmolekül hat eine kleinere Oberfläche als das Butanmolekül. Damit sind die Anziehungskräfte zwischen Isobutanmolekülen geringer, und die Siedetemperatur ist niedriger als die von Butan.

A7 Mit steigender Kettenlänge der unverzweigten Alkanmoleküle und damit wachsender Oberfläche nehmen gegenseitige Berührungs- und Polarisierungsmöglichkeiten und damit die Anziehungskräfte zu. Daher nimmt die Viskosität der Alkane zu.

A8 Hinweise:

- Die Vielfalt der Primärenergien ermöglicht es, unterschiedliche Unterrichtsmethoden (Gruppenarbeit, Gruppenpuzzle, Projekt, Internetrecherche) zu nutzen.
- Im Folgenden können nur einige wenige Vorzüge und Nachteile der verschiedenen Primärenergieträger aufgezeigt werden. Eine vollständige Darstellung würde mehrere Bände umfassen.
- In Ausdrücken wie „Kraftwerk“, „Kraftstoff“, „Wasserkraft“, „Kraft-Wärme-Koppelung“ usw. taucht leider immer noch das Wort „Kraft“ auf, obwohl es in diesen Zusammenhängen um Energie und nicht um Kraft geht. Die heute falsche Bezeichnung von Energie als Kraft war im 19. Jahrhundert üblich.

a) Kohle*Information:*

Kohle ist ein fossiler Energieträger. Der Massenanteil des Kohlenstoffs beträgt über 50%.

Vorzüge:

Kohle kann verbrannt werden, um die in ihr gespeicherte Energie in thermische oder elektrische Energie umzuwandeln, aus Kohle können aber auch Gas und Benzin und einige Grundstoffe der chemischen Industrie gewonnen werden. Ein großer Teil der Kohle wird zur Herstellung von Koks eingesetzt. Koks wird zur Reduktion von Eisenoxiden im Hochofen benötigt.

Nachteile:

Bei der Verbrennung der Kohle entsteht Kohlenstoffdioxid, das zum anthropogenen Treibhauseffekt beiträgt. Bei der Verbrennung der meisten Kohlesorten entsteht auch Schwefeldioxid, dieses lässt sich aber in modernen Kohlekraftwerken weitgehend entfernen. Die Kohlevorräte sind endlich.

b) Erdöl*Information:*

Erdöl besteht hauptsächlich aus Kohlenwasserstoffen. Rohöl ist mit mehr als 17000 Verbindungen ein komplexes und vielfältiges Gemisch, das natürlich auf der Erde vorkommt.

Erdöl ist der derzeit wichtigste Rohstoff der modernen Industriestaaten, der zur Erzeugung von Treibstoffen und für die chemische Industrie herausragende wirtschaftliche Bedeutung besitzt.

Vorzüge:

Die meisten chemischen Erzeugnisse lassen sich aus ca. 300 Grundchemikalien aufbauen. Diese Molekülverbindungen werden heute zu ca. 90% aus Erdöl und Erdgas gewonnen. Zu diesen gehören: Ethen, Propen, Butadien, Benzol, Toluol, ortho- und para-Xylol. Nur ca. 6 bis 7% des weltweit geförderten Erdöls werden für die chemischen Produktstambäume verwendet, der weitaus größere Anteil wird einfach in Kraftwerken und Motoren verbrannt. Gibt es kein Erdöl mehr, müssen diese Grundchemikalien über alternative und kostenintensivere Verfahren mit hohem Energieverbrauch hergestellt werden. Der chemische Baukasten des Erdöls wird verwendet, um fast jedes chemische Erzeugnis zu produzieren. Dazu gehören Farben und Lacke, Arzneimittel, Wasch- und Reinigungsmittel.

Erdöl ist viel zu schade, als dass es nur verbrannt wird.

Nachteile:

Umweltbelastungen bei der Förderung, dem Transport, der Lagerung und Aufbereitung; bei der Verbrennung der Erdölprodukte entsteht Kohlenstoffdioxid, das zum anthropogenen Treibhauseffekt beiträgt. Erdöl selbst und einige Produkte sind gesundheitsschädlich, giftig, sehr giftig und/oder kanzerogen. Die Erdölvorräte sind endlich. Die Erdölvorräte sind sehr ungleichmäßig verteilt. Sie können die Ursache für kriegerische Auseinandersetzungen bilden.

c) Uran

Information:

Das Uranisotop ^{235}U ist die einzige bekannte natürlich vorkommende Atomart, die zu einer nuklearen Kettenreaktion fähig ist. ^{235}U wird in Kernkraftwerken zur Energiegewinnung genutzt. Grundlage eines Kernkraftwerkes ist die Energie, die bei der Spaltung von Atomkernen frei wird. In einem Kernkraftwerk (KKW) – häufig auch Atomkraftwerk (AKW) genannt – wird elektrische Energie durch Kernspaltung gewonnen. Die Erzeugung elektrischer Energie geschieht indirekt. Die Wärme, die bei der Kernspaltung entsteht, wird auf ein Kühlmittel übertragen. Meist ist das Kühlmittel Wasser, bei der Erwärmung wird Wasserdampf erzeugt, der dann eine Dampfturbine antreibt. Ein Kernkraftwerk weist in der Regel mehrere Blöcke auf.

Vorzüge:

Uran steht wahrscheinlich als Energierohstoff noch für mehr als 200 Jahre zur Verfügung, wobei die Reichweite natürlich von mehreren Faktoren abhängt: Ausbau der Kernkraft, technologische Weiterentwicklung der Nutzung, Förderkosten für Uran, Preis des Urans usw. Uran wird derzeit überwiegend in politisch stabilen Ländern gefördert. Aufgrund seiner hohen Energiedichte und seiner sehr guten Lagerfähigkeit kann Uran gut bevorratet werden. Die Erzeugung von Energie aus Uran beim Betrieb von Kernkraftwerken kann nahezu ohne Freisetzung von Kohlenstoffdioxid erfolgen.

Nachteile:

Wegen der Gesundheitsgefahren der Radioaktivität und des möglichen Einsatzes in Atomwaffen sind der Abbau und die Verwendung von Uran politisch stark umstritten.

Der Uranabbau kann zu Umweltschäden und Gesundheitsschäden führen, da durch den Uranbergbau Uran und radioaktive Folgeprodukte (z. B. das radioaktive Edelgas Radon) freigesetzt werden und aus dem Untergrund an die Oberfläche gelangen. Auch die Uranvorräte sind endlich. Ein großes Problem ist die sichere „Endlagerung“ abgebrannter Brennstäbe und kontaminierten Materials.

Die Regierung der Bundesrepublik Deutschland hat 2011 aufgrund des Reaktorunfalls in Fukushima (Japan) März 2011 den Ausstieg aus der Verwendung der Kernenergie in Deutschland beschlossen. Die Abschaltung der zunächst acht Kernenergieanlagen macht den verstärkten Einsatz anderer Energiequellen erforderlich. Die restlichen neun Anlagen sollen bis 2022 abgeschaltet werden. (Im Mai 2018 waren noch sieben Anlagen in Betrieb.)

d) Erdgas*Information:*

Erdgas ist ein brennbares Naturgas, das hauptsächlich aus Methan besteht. Häufig enthält Erdgas auch größere Anteile an Ethan, Propan, Butan und Ethen. Ein Nebenbestandteil ist häufig Schwefelwasserstoff, der durch „Entschwefelung“ entfernt werden muss, ein weiterer Nebenbestandteil ist Kohlenstoffdioxid. Dieses wird in die Luft abgegeben. Von großem Wert sind Erdgase, die einen höheren Anteil an Helium (bis zu sieben Prozent) enthalten. Diese sind die Hauptquelle der Heliumgewinnung.

Vorzüge:

Erdgas kann in Kraftwerken zur Strom- und Wärmeerzeugung verbrannt werden. Ein Erdgaskraftwerk kann in Spitzenzeiten des Energieverbrauchs hochgefahren und in Zeiten geringen Energieverbrauchs heruntergefahren werden. Bei der Verbrennung von Erdgas wird bezogen auf die Verbrennungswärme z. B. von 1 kWh weniger Kohlenstoffdioxid erzeugt als bei der Verbrennung von Braunkohle, Steinkohle oder Heizöl.

Erdgas kann anstelle von Benzin zum Betrieb von Kraftfahrzeugen eingesetzt werden.

Nachteile:

Bei der Verbrennung von Erdgas wird Kohlenstoffdioxid gebildet.

e) Biomasse*Information:*

Unter Biomasse werden alle rezenten Stoffe organischer Herkunft verstanden.

(rezent: gegenwärtig lebend, im Gegensatz zu fossil)

Zur Biomasse gehören damit:

- die in der Natur lebenden Pflanzen und Tiere (Phyto- und Zoomasse),
- die pflanzlichen und tierischen Rückstände bzw. Nebenprodukte (z. B. tierische Exkreme wie die Gülle),
- abgestorbene, aber noch nicht fossile Pflanzen- und Tiermasse (z. B. Stroh),
- im weiteren Sinne alle Stoffe, die beispielsweise durch eine technische Umwandlung oder eine Nutzung von Pflanzen und Tieren entstanden sind (z. B. Papier und Zellstoff, Schlachthofabfälle, organische Stoffe des Hausmülls, Alkohol, Pflanzenöl usw.)

Die Abgrenzung der Biomasse gegenüber den fossilen Energieträgern beginnt beim Torf, dem fossilen Sekundärprodukt der Verrottung. Damit zählt Torf im strengeren Sinn dieser Begriffsabgrenzung nicht mehr zur Biomasse. In einigen Ländern (u. a. Schweden, Finnland) wird Torf durchaus als Biomasse bezeichnet.

Der Vielfalt der Biomasse entspringen die vielen Vorzüge und Nachteile, die eigentlich getrennt betrachtet werden müssten. Im Folgenden werden nur einige Beispiele aufgezeigt.

Vorzüge:

Die Nutzung von Biomasse ist weitgehend CO₂-neutral, da nur das Kohlenstoffdioxid freigesetzt wird, das zuvor bei der Entstehung der Biomasse der Atmosphäre entnommen wurde.

Holzpellets können zur Heizung und natürlich auch zur Stromerzeugung eingesetzt werden. Sie haben einen Heizwert von ca. 5 kWh/kg. Damit entspricht der Energiegehalt von einem Kilogramm Pellets ungefähr dem von einem halben Liter Heizöl. Zur Herstellung von Holzpellets kann Restholz (Späne, Sägemehl, Äste usw.) eingesetzt werden. Holzpellets lassen sich in einer modernen Heizungsanlage automatisch zuführen.

Das bei der „Vergärung“, dem mikrobiologischen Abbau von organischen Stoffen in feuchter Umgebung unter Luftabschluss (anaerobes Milieu) gebildete Biogas besteht hauptsächlich aus Wasser, Kohlenstoffdioxid und Methan.

Das Biogas kann am Ort seiner Bildung, z. B. in Kläranlagen, auf einem Bauernhof, verbrannt werden. Das Methan kann abgetrennt und zum Betrieb von Kraftfahrzeugen eingesetzt werden.

Die Biogasproduktion kann Abfallstoffe nutzen, die sonst die Umwelt belasten würden. Allerdings werden zur Biogasproduktion auch „Energiepflanzen“ angebaut.

Der Einsatz von Ethanol, Rapsöl und Rapsölmethylester hilft, fossile Energieträger einzusparen.

Nachteile:

Beim Anbau von Energiepflanzen gehen Flächen der Nahrungsmittelproduktion oder des Umweltschutzes verloren. Wenn die Wälder aufgeräumt werden, alle Äste usw. genutzt werden, wird der natürliche Kreislauf des Waldes empfindlich gestört.

Beim Verbrennen von Rapsölmethylester sollen mehr und gefährlichere Reaktionsprodukte entstehen als bei der Verbrennung von Benzin oder Diesel.

f) Erdwärme

Vorzüge:

Erdwärme gehört zu den Energiequellen, deren Einsatz den Ausstoß von Treibhausgasen deutlich reduzieren kann. Im Gegensatz zu den anderen regenerativen Energien steht sie fast überall und jederzeit zur Verfügung – unabhängig vom Klima und von der Jahres- und Tageszeit. Mit den heute zur Verfügung stehenden Techniken lässt sich Erdwärme sowohl oberflächennah als auch in großen Tiefenbereichen bis zu 5000 m und mehr nutzen. Die niedrigen Temperaturen in den oberen Erdschichten werden vor allem zur Beheizung von Gebäuden genutzt. Weit verbreitet ist dabei der Einsatz wartungsarmer Erdwärmesonden. Die in größeren Tiefen vorhandenen thermischen Energiepotenziale werden über geothermische Tiefensonden, über die Förderung von heißen Tiefenwässern (Thermalwässern) oder durch die Errichtung von geothermischen Kraftwerken genutzt.

In Gebäuden kann die Erdwärme zur Heizung und Klimatisierung eingesetzt werden. Die Erdwärmenutzung ist bei geringer Tiefe des Grundwassers besonders effizient. Bei offenen Systemen entnimmt man kontinuierlich oberflächennahes Grundwasser. Am Wärmetauscher gibt das Grundwasser seine Wärme ab (Hausheizung) oder es erwärmt sich durch überschüssige Raumwärme (Klimatisierung). Anschließend leitet man das abgekühlte bzw. erwärmte Wasser in den Grundwasserleiter zurück.

Nachteile:

Zur Nutzung der Erdwärme bedarf es einer elektrisch angetriebenen Wärmepumpe. Es sind hohe Anfangsinvestitionen notwendig. Der Einsatz der Erdwärme bietet sich zunächst für Neubauten an.

g) Gezeitenenergie

Information:

Bei einem Gezeitenkraftwerk wird während der Flut ein vom Meer abgetrennter Stauraum mit Wasser aufgefüllt. Bei der darauf folgenden Ebbe wird das aufgestaute Wasser für den Betrieb der Turbinen genutzt. Die Turbinen können aber auch beim Füllvorgang arbeiten.

Das größte bisher gebaute Kraftwerk dieser Art steht in Frankreich (240 MW), an der Mündung des Flusses Rance. Der Tidenhub kann hier bis zu 18 m erreichen.

Zurzeit gibt es auch Ansätze, die Meeresströmungen für energetische Zwecke zu nutzen.

So wird in dem britisch-deutschen Projekt "Seaflo" versucht, die kinetische Energie dieser Strömung mit großen Propellern – die unter Wasser angeordnet werden – umzusetzen.

Der Standort dieses neuen Strömungskraftwerks befindet sich vor der Küste Cornwalls.

Vorzüge:

Die Nutzung der Gezeitenenergie ist CO₂-neutral.

Nachteile:

Hohe Anforderungen an die Technik und das eingesetzte Material. Es muss ein genügender Tidenhub (mindestens 3 m) herrschen. Der Naturschutz wird beeinträchtigt.

h) „Wasserkraft“

Information:

Bei der „Wasserkraft“ wird die Energie des aus der Höhe herabströmenden Wassers genutzt.

Diese Energie kann als kinetische Energie genutzt werden. Früher wurden damit Mühlen betrieben. Heute wird mithilfe von Turbinen meist elektrische Energie erzeugt, der Wirkungsgrad beträgt über 90%.

Vorzüge:

„Wasserkraft“ gehört zu den regenerativen Energiequellen und ist CO₂-neutral. Es entstehen keine Abfallstoffe, es werden nicht fortlaufend Rohstoffe verbraucht. Vor den Kraftwerken wird der Müll aus dem Wasser entfernt. In den Turbinen wird das Wasser mit Luft angereichert.

Nachteile:

Unter Umständen starke Eingriffe in die Natur: Begradigung von Flüssen, Errichtung von Stauseen, Umsiedlung der Bevölkerung, Veränderung der Fließgeschwindigkeit, Behinderung der Wanderung der Fische.

i) Windenergie**Information:**

Bei der Windenergie wird die Energie der strömenden Luftmassen genutzt.

Die Nutzung der Energie des Windes ist eine der ältesten Formen der Nutzung der Energie aus der Umwelt. Heute werden Windenergieanlagen vor allem zur Gewinnung elektrischen Stroms eingesetzt. In einigen Bereichen der deutschen Nordsee werden inzwischen über 70% des elektrischen Stroms aus Windenergie gewonnen. Die Erzeugung von elektrischer Energie aus Windenergie hat in Deutschland die Erzeugung elektrischer Energie aus „Wasserkraft“ überholt.

Vorzüge:

Es werden keine Rohstoffe fortwährend verbraucht, es entstehen keine Abfallstoffe, Windenergie ist CO₂-neutral. Die Energie, die zur Herstellung einer Windenergieanlage eingesetzt werden muss, hat sich nach Auskunft der Befürworter energetisch in kurzer Zeit amortisiert.

Nachteile:

Da der Wind nicht immer mit gleicher Geschwindigkeit (als günstig gilt 6,9 m/s in einer Höhe von 80 m) weht, kann die Windenergie nur im Verbund mit Speicheranlagen oder anderen Energiequellen genutzt werden. Windenergie kann nur Teil eines Energiemixes sein. Das Landschaftsbild wird beeinträchtigt. Diese Beeinträchtigung wird von Kritikern als „Verspargelung“ bezeichnet.

j) Sonnenenergie**Information:**

Die Sonne liefert als die größte Energiequelle pro Jahr eine Energiemenge von etwa $3,9 \cdot 10^{24}$ J, das sind $1,08 \cdot 10^{18}$ kWh, auf die Erdoberfläche. Diese Energiemenge ist etwa das 10 000-Fache des Weltprimärenergiebedarfs. Dieser ist allerdings keine feste Größe.

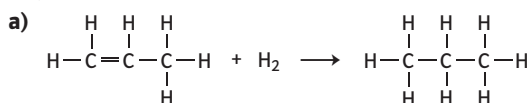
Vorzüge:

Es werden keine Rohstoffe verbraucht, es entstehen keine Abfallstoffe, Sonnenenergie ist CO₂-neutral. Mithilfe einer Fotovoltaikanlage kann Sonnenenergie direkt in elektrische Energie umgewandelt werden. Die Infrarotstrahlung kann als thermische Energie genutzt werden.

Nachteile:

Die Nutzung der Sonnenenergie hängt von der Breitenlage (Klima), der Jahreszeit, der Tageszeit und dem Wetter ab.

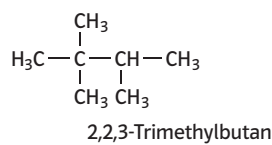
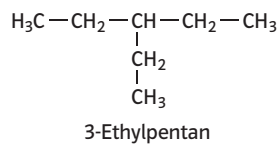
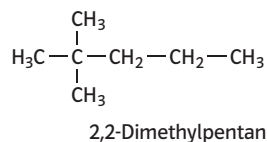
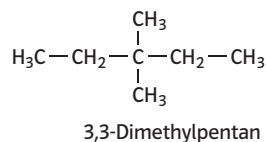
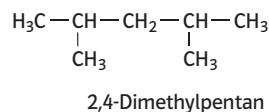
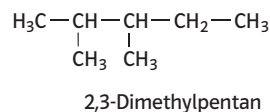
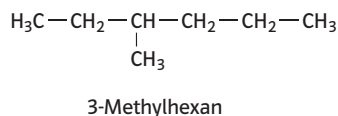
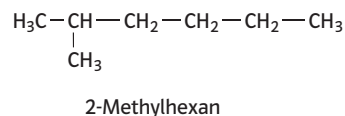
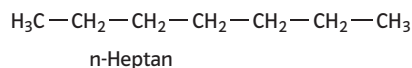
A9 Die Van-der-Waals-Kräfte zwischen den großen Molekülen des Henicosans sind so stark, dass eine Energiezufuhr eher die Spaltung von Bindungen bewirkt als die Aufhebung der Anziehungskräfte zwischen den Molekülen.

A10

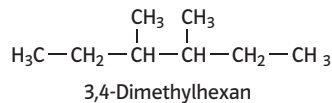
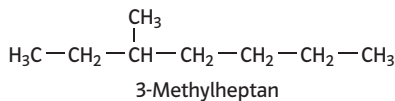
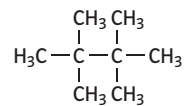
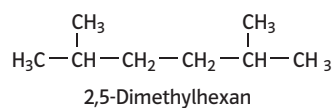
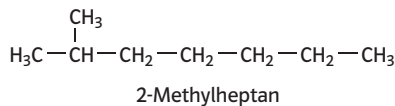
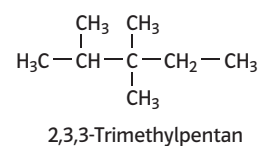
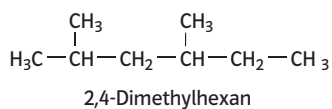
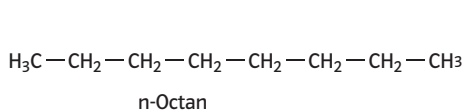
b) Es handelt sich um eine Hydrierung. Die Hydrierung gehört zu den Additionsreaktionen.

A11

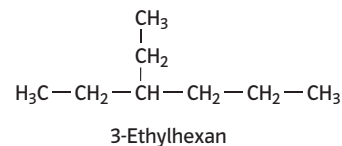
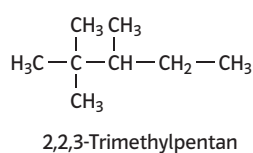
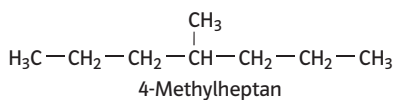
a)

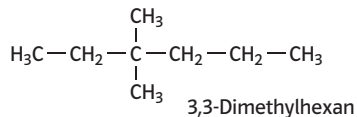
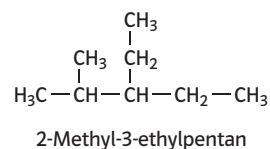
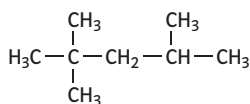
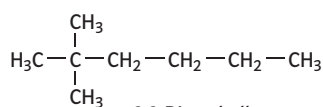


b)

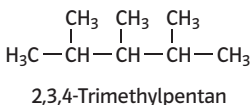
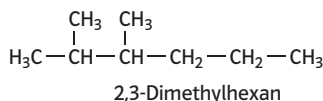
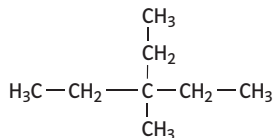


2,2,3,3-Tetramethylbutan





2,2,4-Trimethylpentan



A12

a), b)

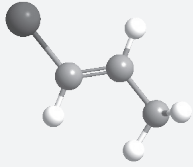
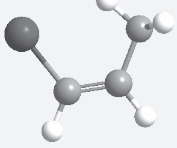
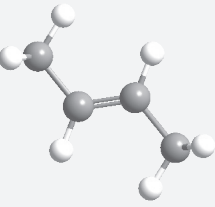
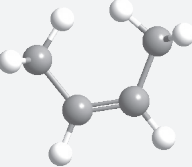
Verbindung	Summenformel	Halbstrukturformel	Siedetemperatur
Nonan	C ₉ H ₂₀	CH ₃ —CH ₂ —CH ₂ —CH ₂ —CH ₂ —CH ₂ —CH ₂ —CH ₂ —CH ₃	151 °C
Octan	C ₈ H ₁₈	CH ₃ —CH ₂ —CH ₂ —CH ₂ —CH ₂ —CH ₂ —CH ₂ —CH ₃	125 °C
2-Methylheptan	C ₈ H ₁₈	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	116 °C
2,2,3,3-Tetramethylbutan	C ₈ H ₁₈	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \\ \quad \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array}$	107 °C

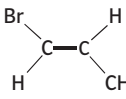
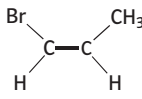
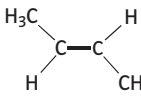
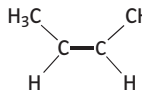
Das Nonan-Molekül hat die größte Oberfläche und Elektronenanzahl der vier Verbindungen. Daher sind die Van-der-Waals-Kräfte zwischen Nonan-Molekülen am größten, weshalb Nonan die höchste Siedetemperatur besitzt. Die anderen drei Moleküle besitzen im Vergleich zu Nonan-Molekülen geringere, jedoch zueinander identische Elektronenanzahlen, da es sich um Isomere handelt. Sie unterscheiden sich nur in der Anordnung der Atome und damit in der Größe der Oberfläche. Während das unverzweigte Octan-Molekül die größte Oberfläche und damit Octan die höchste Siedetemperatur der isomeren Verbindungen besitzt, nimmt die Oberfläche mit steigender Verzweigung ab. 2,2,3,3-Tetramethylbutan-Moleküle haben mit einem eher kugelförmigen Bau daher die kleinste Oberfläche. Diese Verbindung hat somit die geringste Siedetemperatur.

Hinweis:

Oftmals wird die Zunahme der Van-der-Waals-Kräfte mit der Molekülmasse thematisiert. Dies kann die irreführende Vorstellung hervorrufen, dass die Masse hier physikalisch relevant sei. Stattdessen wird im Werk „Elemente Chemie“ die Bedeutung der Elektronenanzahl in den Vordergrund gestellt, da der Ursprung dieser Wechselwirkung auf der elektronischen Ebene zu suchen ist. Nur weil die Masse eines Moleküls ungefähr proportional zur Elektronenanzahl ist, lässt sich rein formal auch die Masse als unabhängige Variable wählen.

A13

Molekülbaukasten-Modelle:			
			
(E)-1-Bromprop-1-en	(Z)-1-Bromprop-1-en	(E)-But-2-en	(Z)-But-2-en

Strukturformeln:			
			
(E)-1-Bromprop-1-en	(Z)-1-Bromprop-1-en	(E)-But-2-en	(Z)-But-2-en

A14 Erdgas enthält meist wenige Schwefelverbindungen, außerdem lässt es sich vollständiger „entschwefeln“ als Heizöl, damit wird auch weniger bzw. kaum Schwefeldioxid bei der Verbrennung von Erdgas frei. Bei der Verbrennung von Heizöl entsteht ca. 25% mehr Kohlenstoffdioxid, das Methanmolekül im Erdgas besitzt im Vergleich zu höheren Kohlenwasserstoffmolekülen ein niedrigeres, d. h. günstigeres C:H-Verhältnis. Das weltweit zu hohe Kohlenstoffdioxidaufkommen aber ist Ursache für die gefährliche zunehmende Erwärmung der Erdatmosphäre, den „Treibhauseffekt“. Auch Verunreinigungen durch Schwermetalle oder andere Schadstoffe scheiden aus.

A15 Einige Möglichkeiten:

- Vermeidung von Flugreisen
- Absenkung der Zimmertemperatur im Winter
- Einsatz von Autos, die weniger Benzin oder Diesel verbrauchen
- Vermeidung von Pkw-Fahrten (z. B.: zu Fuß gehen, Fahrrad oder Cityroller fahren, öffentliche Verkehrsmittel benutzen)
- Verbrauchsbewusstes Autofahren (z. B.: starke Beschleunigungen vermeiden, geringere Höchstgeschwindigkeiten, Tempolimit auf Autobahnen, Kurzstrecken vermeiden)
- Einsatz von Erdgasautos (Die Masse des Kohlenstoffdioxids bezogen auf die Verbrennungswärme ist bei Erdgas geringer als bei Benzin oder Diesel.)
- Einsatz von Elektroautos (Allerdings darf die elektrische Energie dazu nicht durch Verbrennung fossiler Energieträger gewonnen werden.)

A16

Summenformel	Halbstrukturformel	Strukturformel	Namen
CH ₄ O	CH ₃ -OH	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\overline{\text{O}}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	Methanol
C ₂ H ₆ O	CH ₃ -CH ₂ -OH	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\overline{\text{O}}-\text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	Ethanol
C ₃ H ₈ O	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -OH	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\overline{\text{O}}-\text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	Propanol
C ₄ H ₁₀ O	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -OH	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\overline{\text{O}}-\text{H} \\ \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	Butanol

A17

a) Die Verwendung von Ethanol anstelle von Benzin soll die Abhängigkeit von Erdölimporten mindern. Ferner handelt es sich bei Ethanol um einen nachwachsenden Rohstoff.

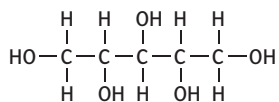
b) Einige Probleme, die mit der Herstellung von Ethanol aus Zuckerrohr aufgetreten sind:

- Der Anbau von Zuckerrohr auf Flächen, die bisher der Nahrungsmittelproduktion dienten, führte dazu, dass Grundnahrungsmittel importiert werden mussten und zu einer Landflucht mit Bildung von Slums in den Großstädten.
- Der Zuckerrohranbau erforderte eine intensive Düngung mit ihren negativen Folgen.
- Die Abwässer der Ethanolfabriken verschmutzten die Flüsse.
- Die staatliche Förderung führte zu einer Festlegung auf den Pkw als dominantes Verkehrsmittel; der öffentliche Personennahverkehr wurde nicht mehr gefördert.
- Der enorme Aufwand an Steuermitteln (bis zu 15 Mrd. US-Dollar pro Jahr) führte dazu, dass das Geld für lebenswichtige Projekte fehlte.

c) Nachwachsende Rohstoffe besitzen eine wesentlich günstigere Kohlenstoffdioxid-Bilanz als fossile Rohstoffe. Wenn man den Kohlenstoffdioxid-Ausstoß bei Anbau, Pflege, Düngung, Ernte und Verarbeitung nicht berücksichtigt, wird bei der Verbrennung nachwachsender Rohstoffe nur gerade so viel Kohlenstoffdioxid freigesetzt, wie die Pflanze beim Wachstum gebunden hat. Diesem Vorteil stehen allerdings die in (b) genannten Nachteile gegenüber.

A18 Wasser ist eine hydrophile, Benzin eine hydrophobe (lipophile) Flüssigkeit. Ethanol ist aufgrund des Baus seiner Moleküle hydrophil *und* lipophil und kann daher gleichzeitig hydrophile und lipophile Stoffe lösen („Lösungsvermittler“).

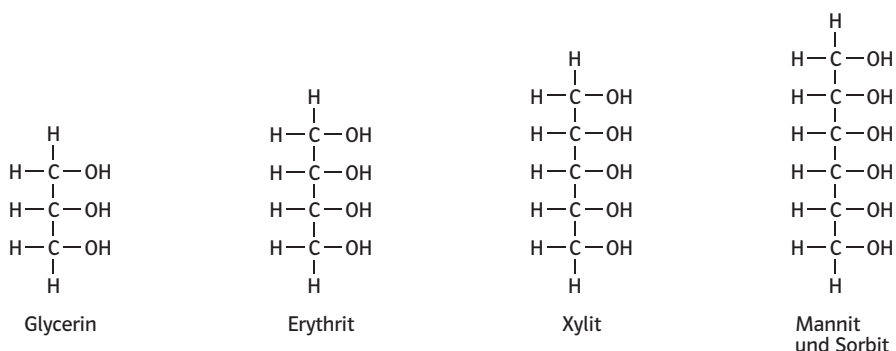
A19



Aufgrund der insgesamt 5 Hydroxygruppen ist Xylit (Pentanpentol) gut wasserlöslich.

Zuckeralkohole sind nichtcyclische **Polyole**, wobei in ihren Molekülen an jedem C-Atom eine OH-Gruppe gebunden ist. Sie gehen aus Monosachariden („Zuckern“) durch Reduktion der Carbonylgruppe hervor.

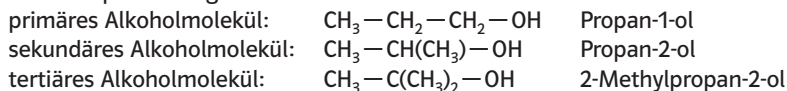
Natürlich vorkommende Zuckeralkohole sind z. B. Glycerin, Erythrit, Xylit, Mannit und Sorbit:



Hinweis: Mannit und Sorbit sind Stereoisomere.

Zuckeralkohole schmecken süß, sind nicht kariogen und wirken abführend. Sie werden als Zuckeraustauschstoffe verwendet, weil sie den Blutzuckerspiegel nicht erhöhen und zum Abbau kein Insulin benötigen. In der Lebensmittelindustrie werden sie nicht nur als Süßungsmittel, sondern, aufgrund ihrer hygroskopischen Wirkung, auch als Feuchthaltemittel in Backwaren und Süßigkeiten verwendet.

A20 Beispiel-Lösung:



A21

a) Zwischen den Butanmolekülen wirken nur schwache Van-der-Waals-Kräfte, zwischen den Propan-1-ol-Molekülen zusätzlich relativ starke Wasserstoffbrücken. Die zwischenmolekularen Kräfte zwischen den Propan-1-ol-Molekülen sind also wesentlich stärker, folglich ist die Siedetemperatur von Propan-1-ol höher.

b) Zwischen Heptan-Molekülen wirken nur *Van-der-Waals-Kräfte*, während zwischen den Propan-1-ol-Molekülen zusätzlich relativ starke *Wasserstoffbrücken* wirken. Heptan-Moleküle haben jedoch eine wesentlich größere Molekülmasse ($M(\text{Heptan})=100,2 \text{ u}$; $M(\text{Propan-1-ol})= 60,1 \text{ u}$) und somit eine entsprechend größere Elektronenanzahl, sodass in diesem Fall die *Van-der-Waals-Kräfte* sehr viel größer sind. Beide Auswirkungen der zwischenmolekularen Kräfte sind in etwa gleich groß, sodass die Siedetemperaturen beider Verbindungen nahezu gleich sind (vgl. Schülerbuch, B7).

A22

a) Die stärksten Kräfte zwischen Wassermolekülen bzw. zwischen Ethanolmolekülen sind Wasserstoffbrücken. Sie sind damit hauptsächlich verantwortlich für die Höhe der Siedetemperaturen.

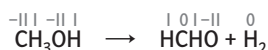
b) Methanolmoleküle können nur ein Wasserstoffatom (das der Hydroxygruppe) zur Bildung einer Wasserstoffbrücke zu anderen Methanolmolekülen zur Verfügung stellen. Die insgesamt größeren Methanolmoleküle haben außerdem eine unpolare Methylgruppe, an der keine Wasserstoffbrücken möglich sind.

Wassermoleküle stellen zwei Wasserstoffatome zur Bildung von Wasserstoffbrücken zur Verfügung und haben keine unpolare Gruppe. Insgesamt führt dies zu stärkeren zwischenmolekularen Kräften und damit zu einer höheren Siedetemperatur.

A23 Unter Dehydrierung versteht man in der Chemie die Abspaltung von Wasserstoff, unter Dehydratisierung die Abspaltung von Wasser.

Im Alltagssprachegebrauch wird der Ausdruck „dehydriert“ leider in anderem Sinne benutzt, und zwar im Hinblick auf starken Wasserentzug des Körpers. Wer in diesem Sinne „dehydriert“ ist, muss Wasser zu sich nehmen. Wegen der Kollision mit der Bedeutung des Wortes „dehydrieren“ in der Chemie sollte der Alltagsgebrauch vermieden werden.

A24 Formal verläuft die Dehydrierung von Methanol zu Methanal nach folgender Gleichung:



Das C-Atom ist also oxidiert worden, zwei H-Atome sind reduziert worden. Natürlich liegt sowohl eine Oxidation als auch eine Reduktion, also eine Redoxreaktion vor.

A25

a) Das Diagramm zeigt die Siedetemperaturen von Alkanolen und Alkanen im Vergleich. Auf der y-Achse sind die Siedetemperaturen der jeweiligen Verbindungen aufgetragen, auf der x-Achse die Zahl der Elektronen im Molekül.

Die untere Kurve (grün) gehört zur Stoffklasse der Alkane. Mit zunehmender Zahl der Elektronen, d.h. mit Fortschreiten in der homologen Reihe, steigen die Siedetemperaturen der Alkane. Der Anstieg ist nicht linear.

Die orangefarbene Kurve, die zur Stoffklasse der Alkanole gehört, verläuft oberhalb der Alkan-Kurve. Diese Kurve steigt ebenfalls mit Fortschreiten in der homologen Reihe an. In diesem Fall ist der Anstieg nahezu linear (Ausnahme: Methanol).

Zu Beginn weichen die Kurven stark voneinander ab, während sie sich am Ende annähern.

b) Die Siedetemperaturen beider Stoffklassen nehmen mit steigender Elektronenzahl in den Molekülen zu, da die Van-der-Waals-Kräfte aufgrund der größeren Polarisierungsmöglichkeiten (Bildung induzierter Dipole) ebenfalls ansteigen.

c) Bei den eher *kurzkettigen* Alkan- und Alkanol-Molekülen (links im Diagramm) wirken vergleichbare, entsprechend der Molekülgröße geringe Van-der-Waals-Kräfte. Bei den Alkanol-Molekülen wirken zusätzlich starke Wasserstoffbrücken, sodass die Unterschiede in den zwischenmolekularen Kräften groß sind. Daher sind auch die Unterschiede in den Siedetemperaturen der Alkane und Alkanole groß und die Kurven weichen am Anfang stark voneinander ab.

Die Stärke der Wasserstoffbrücken ist bei den langkettigen und kurzkettigen Alkanol-Molekülen gleich. Die Van-der-Waals-Kräfte dagegen sind bei den *langkettigen* Molekülen beider Stoffklassen deutlich größer, sodass die bei Alkanol-Molekülen zusätzlich wirkenden Wasserstoffbrücken in den Hintergrund treten. Dies hat zur Folge, dass sich die Siedetemperaturen der Alkan- und der Alkanol-Moleküle in diesem Bereich immer weiter annähern.