

## Inhaltsverzeichnis

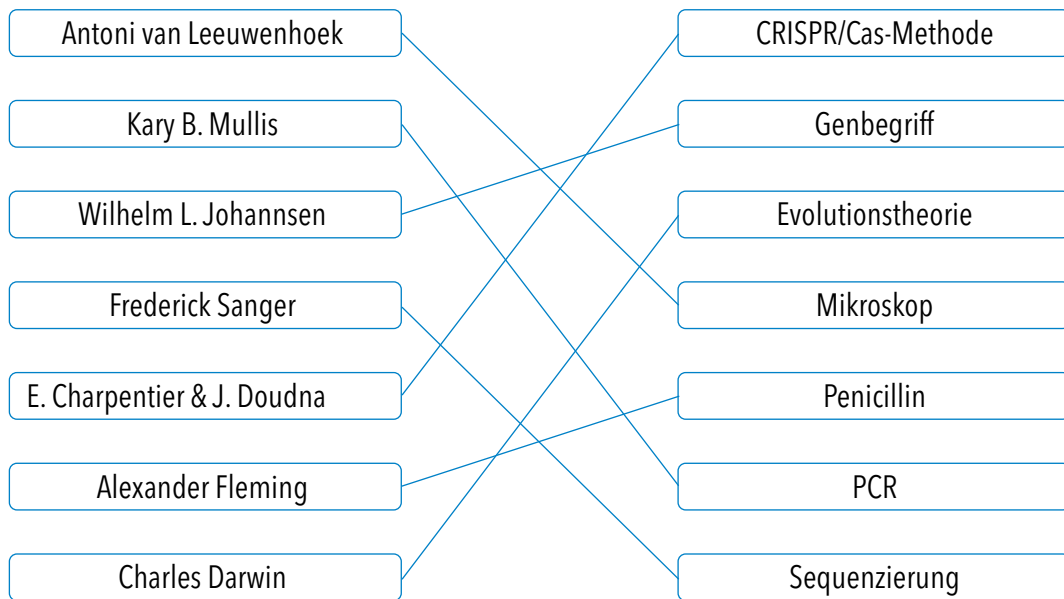
Arbeitsblatt	Thema	Niveau	Kapitel
1	Meilensteine der Biotechnologie	SEK II	1
2	Biotechnologie – was ist das?	SEK I / SEK II	2.2
3	Vergleich Prokaryoten/Eukaryoten	SEK I / SEK II	3
4	Mikrobiologische Fachbegriffe	SEK I / SEK II	3.2
5	PCR-Test und Schnelltest	SEK I / SEK II	3.3
6	Funktionsweise eines DNA-Chips	SEK II	3.3
7	Genom- und Proteomforschung	SEK I / SEK II	3.3
8	Cystein: Herstellung und Anwendung	SEK II	4.1
9	Technische Enzyme – Meister der Katalyse	SEK II	5
10	Pharmawirkstoffe – heute und morgen	SEK II	6.3
11	Bakterien als Bioplastik-Fabriken	SEK I / SEK II	7
12	Biotechnologie und Meer	SEK I / SEK II	9.1



Das Inhaltsverzeichnis ist verlinkt.  
Klicken Sie auf den gewünschten Inhalt und Sie gelangen direkt dorthin. Möchten Sie wieder zurück, klicken Sie rechts oben auf das Home-Icon.

## Aufgabe 1

Ordnen Sie dem Namen der Forscher:innen jeweils die richtige Entdeckung oder Erfindung durch Ziehen einer Verbindungslinie zu.



## Aufgabe 2

Nennen Sie die wichtigsten wissenschaftlichen Arbeiten und Erkenntnisse, die zur gezielten Veränderung von Erbmaterial führten.

- 1869** isolierte Friedrich Miescher erstmals die Erbsubstanz DNA aus weißen Blutkörperchen und beschrieb ihre chemischen Eigenschaften.
- 1944** erkannten Oswald Avery, Colin MacLeod und Maclyn McCarty, dass die DNA für die Übertragung vererbbarer Eigenschaften verantwortlich ist. Der Grundstein für die Gentechnik war gelegt.
- 1953** klärten James Watson und Francis Crick die Struktur der DNA auf.
- 1962** entdeckte Werner Arber die Restriktionsenzyme als Werkzeuge der Gentechnik.
- 1966** entschlüsselten Severo Ochoa, Marshall W. Nirenberg, Heinrich Matthaei und Har Gobind Khorana den genetischen Code.
- 1972** wendete Paul Berg die Restriktionsenzyme Arbers gentechnisch an. Er stellte mittels Restriktion und Ligation das erste rekombinante DNA-Molekül her.
- 1973** erzeugten Herbert Boyer und Stanley Cohen mit Paul Bergs Technik neu kombinierte DNA und brachten diese erstmals in das Bakterium Escherichia coli ein.
- 1977** stellten Frederick Sanger, Allan Maxam und Walter Gilbert Methoden zur Bestimmung der DNA-Sequenz, d. h. der Nukleotid-Abfolge in einem DNA-Molekül, vor.
- 1985** etablierte Kary B. Mullis die Polymerase-Kettenreaktion (PCR). Mit diesem Verfahren werden gewünschte DNA-Abschnitte vervielfältigt.
- 2012** wurde durch eine Arbeitsgruppe um Emmanuelle Charpentier und Jennifer Doudna die erste wissenschaftliche Dokumentation zur Entwicklung und zum Einsatz der CRISPR/Cas-Methode veröffentlicht.

## Aufgabe 1

Definieren Sie die Begriffe „Biotechnologie“ und „Gentechnik“. Erklären Sie, warum die Gentechnik als ein Teilgebiet der Biotechnologie angesehen wird.

Es existieren zahlreiche moderne Definitionen zum Thema Biotechnologie. Eine davon lautet:

Biotechnologie ist der interdisziplinäre Ansatz, mit dem biologische Systeme erforscht und die gewonnenen Erkenntnisse praktisch angewendet werden.

Unter der Bezeichnung „biologische Systeme“ sind Organismen, Zellen und deren Bestandteile (zum Beispiel Enzyme) zu verstehen.

Zahlreiche naturwissenschaftliche und technische Disziplinen liefern Beiträge für die Weiterentwicklung der Biotechnologie. Hierzu zählen beispielsweise die Chemie, Physik, Biologie, Material- und Ingenieurwissenschaften.

Unter dem Begriff Gentechnik werden alle Methoden und Verfahren zur Isolierung, Veränderung und Übertragung von Erbmaterial zusammengefasst.

Gentechnik bildet ein Teilgebiet der modernen Biotechnologie, weil ihr Instrumentarium in nahezu allen biotechnologischen Anwendungsfeldern zum Einsatz kommt: bei der Herstellung therapeutisch wirksamer Eiweißstoffe ebenso wie bei der Erzeugung gentechnisch veränderter Pflanzen oder der Funktionsverbesserung von Enzymen für die Waschmittelindustrie.

## Aufgabe 2

Ordnen Sie die folgenden Anwendungsbereiche und biotechnologischen Produkte im richtigen Zusammenhang in die Tabelle ein.

	Anwendungsbeispiele	Produktbeispiele
	Umweltschutz Nachwachsende Rohstoffe Landwirtschaft Haushalt Therapie Kosmetik Feinchemikalien Polymere Produktion Lebensmittel Diagnostik	Cyclodextrine Schadstoff abbauende Bakterien Vitamin B2 Schwammkollagen Chymosin Waschmittelenzyme Kartoffelstärke Phytase Faktor VIII Insektenresistenter Mais
	<b>Anwendung</b>	<b>Produkt</b>
Rote Biotechnologie	Therapie Diagnostik	Faktor VIII
Grüne Biotechnologie	Nachwachsende Rohstoffe Landwirtschaft Lebensmittel	Kartoffelstärke Insektenresistenter Mais
Weißer Biotechnologie	Haushalt Feinchemikalien Polymere Lebensmittel Produktion	Cyclodextrine Vitamin B2 Chymosin Waschmittelenzyme Phytase
Graue Biotechnologie	Umweltschutz	Schadstoff abbauende Bakterien
Blaue Biotechnologie	Kosmetik	Schwammkollagen

### Aufgabe 3

Vergleichen Sie klassische chemische Herstellungsverfahren mit der biotechnologischen Produktion. Berücksichtigen Sie hierbei, dass enzymatische Katalyse unter physiologischen Bedingungen stattfindet und dabei schneller und spezifischer abläuft. Bewerten Sie beide Verfahren im Hinblick auf die Aspekte Wirtschaftlichkeit (Effizienz) und Nachhaltigkeit (Ressourcenschonung, Umweltschutz).

		Biotechnischer Prozess	Chemisch-technischer Prozess	Biotechnischer Prozess	Chemisch-technischer Prozess	Differenz (Bio. - Chem.)
<b>Wirkungskategorien, aggregiert</b>						
KEA	GJ	917	<b>973</b>	5,25	<b>5,58</b>	<b>-0,32</b>
Treibhauspotenzial	Mg CO <sub>2</sub> -Äq.	34,8	<b>51,8</b>	2,94	<b>4,39</b>	<b>-1,44</b>
Versauerungspotenzial	kg SO <sub>2</sub> -Äq.	177	<b>557</b>	4,34	<b>13,7</b>	<b>-9,34</b>
Eutrophierungspotenzial (terrestrisch)	kg PO <sub>4</sub> -Äq.	12,9	<b>24,5</b>	2,48	<b>4,70</b>	<b>-2,22</b>
Eutrophierungspotenzial (aquatisch)	kg PO <sub>4</sub> -Äq.	<b>26,8</b>	10,1	<b>4,82</b>	1,81	<b>3,01</b>
Ozonbildungspotenzial (POCP)	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -Äq.	8,31	<b>28,7</b>	0,96	<b>3,32</b>	<b>-2,36</b>
<b>Humantoxische Einzelstoffe</b>						
Benzo(a)pyren (L)	kg	—	—	—	—	—
Blei (L)	kg	—	—	—	—	—
Cadmium (L)	kg	—	—	—	—	—
Schwefeldioxid (L)	kg	105	<b>424</b>	10,9	<b>43,9</b>	<b>-32,99</b>
Staub (L)	kg	—	—	—	—	—
<b>Ökotoxische Einzelstoffe</b>						
Ammoniak (L)	kg	<b>2,87</b>	0,80	<b>0,38</b>	0,11	<b>0,27</b>
Fluorwasserstoff (L)	kg	—	—	—	—	—
Schwefeldioxid (L)	kg	105	<b>424</b>	10,9	<b>43,9</b>	<b>-32,99</b>
Schwefelwasserstoff (L)	kg	—	—	—	—	—
Stickoxide (L)	kg	91,7	<b>186</b>	4,71	<b>9,57</b>	<b>-4,86</b>
Ammonium (W)	kg	0,072	<b>14,6</b>	0,03	<b>5,20</b>	<b>-5,17</b>
AOX (W)	kg	0,00021	<b>0,39</b>	0,004	<b>7,38</b>	<b>-7,38</b>
Chlorid (W)	kg	40,1	<b>922</b>	—	—	—
Kohlenwasserstoffe (W)	kg	0,063	<b>0,39</b>	1,22	<b>7,55</b>	<b>-6,33</b>

Biochemische Stoffwechselwege liefern häufig bereits das gewünschte Endprodukt, ohne dass es aus einer Vorstufe weiterverarbeitet werden muss. Dies gilt für niedermolekulare Stoffe wie Isopropanol oder Buttersäure ebenso wie für komplex aufgebaute Stoffe, beispielsweise Proteine. Auch chirale, also „händische“ Substanzen (zum Beispiel D- und L-Aminosäuren) werden nicht als Gemisch erzeugt, sondern ausschließlich in der biochemisch bevorzugten Form hergestellt. Somit entfallen aufwendige Trennverfahren und die Gefahr von Verunreinigungen des Endprodukts.

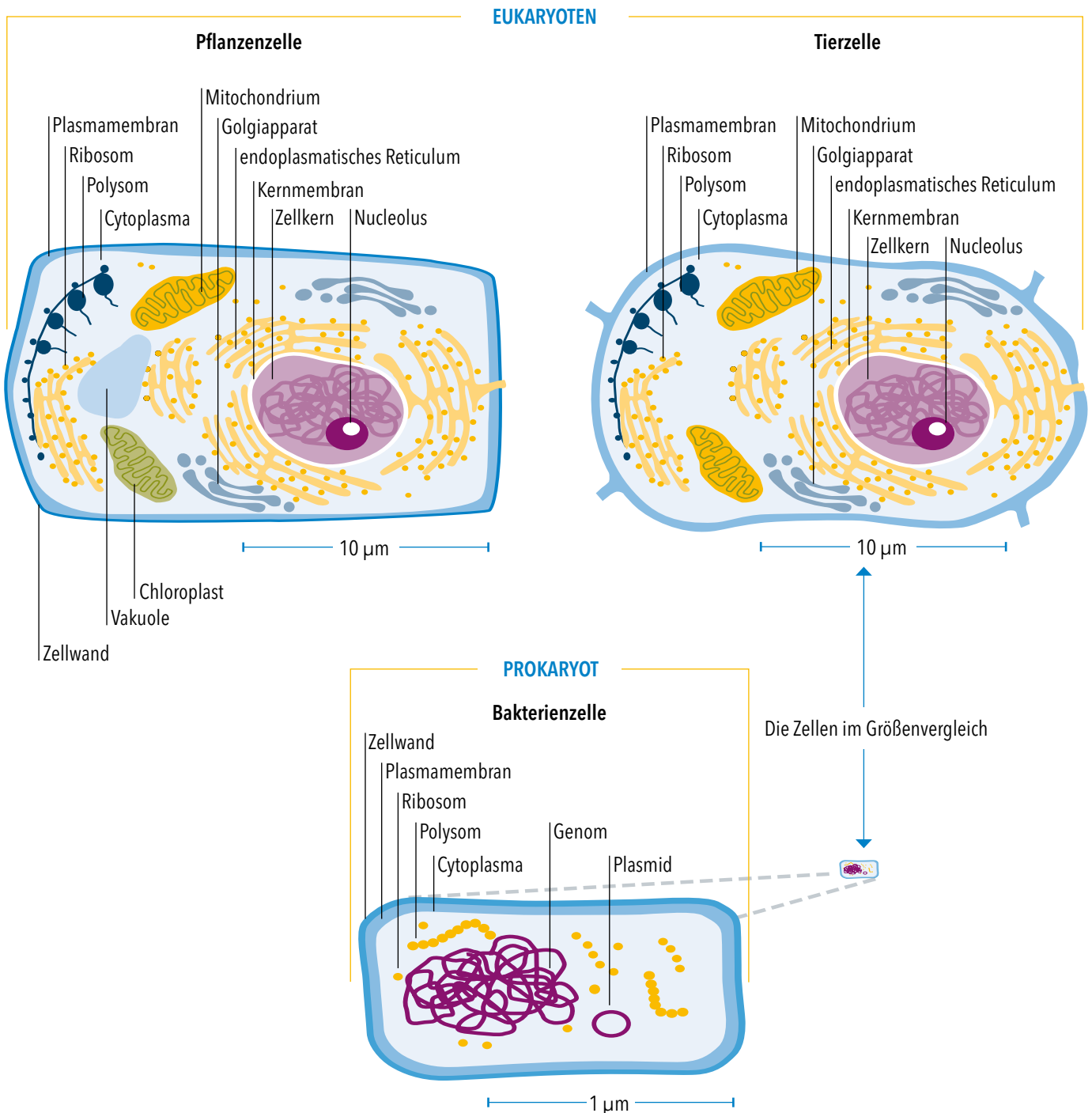
Die biotechnologische Produktion benötigt für die gewünschten biochemischen Stoffumwandlungen lediglich kostengünstige Ausgangsstoffe wie Wasser, Zucker, Salze, Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid. Teure Spezialchemikalien werden nur selten benötigt.

Während viele klassische Produktionsverfahren hohe Temperaturen und besondere Druckverhältnisse erfordern, arbeiten die „biologischen Helfer“ überwiegend bei Raumtemperatur und Atmosphärendruck. Das kann Energie sparen und Kosten senken. Im Vergleich mit manchen chemischen Verfahren können außerdem deutlich weniger Nebenprodukte und Abfallstoffe anfallen.

Entsprechend der oben dargestellten Tabelle entstehen bei der biotechnologischen Produktion weniger Treibhausgase, Säuren und Stoffe, die zur Ozonbildung beitragen. Weiterhin gelangen weniger Nährstoffe in Gewässer und Böden und es werden (bis auf die Ausnahme des Ammoniaks) geringere Mengen an Stoffen gebildet, die im menschlichen Organismus und in Ökosystemen Giftwirkungen entfalten.

### Aufgabe 1

Beschreiben Sie anhand der folgenden Abbildungen den Unterschied zwischen Prokaryoten und Eukaryoten sowie zwischen Pflanzen- und Tierzelle hinsichtlich des Zellaufbaus und erklären Sie mithilfe Ihres Wissens über den Fluss der genetischen Information in beiden Systemen, warum Eukaryoten für die Produktion bestimmter Proteine besser geeignet sind als Prokaryoten.



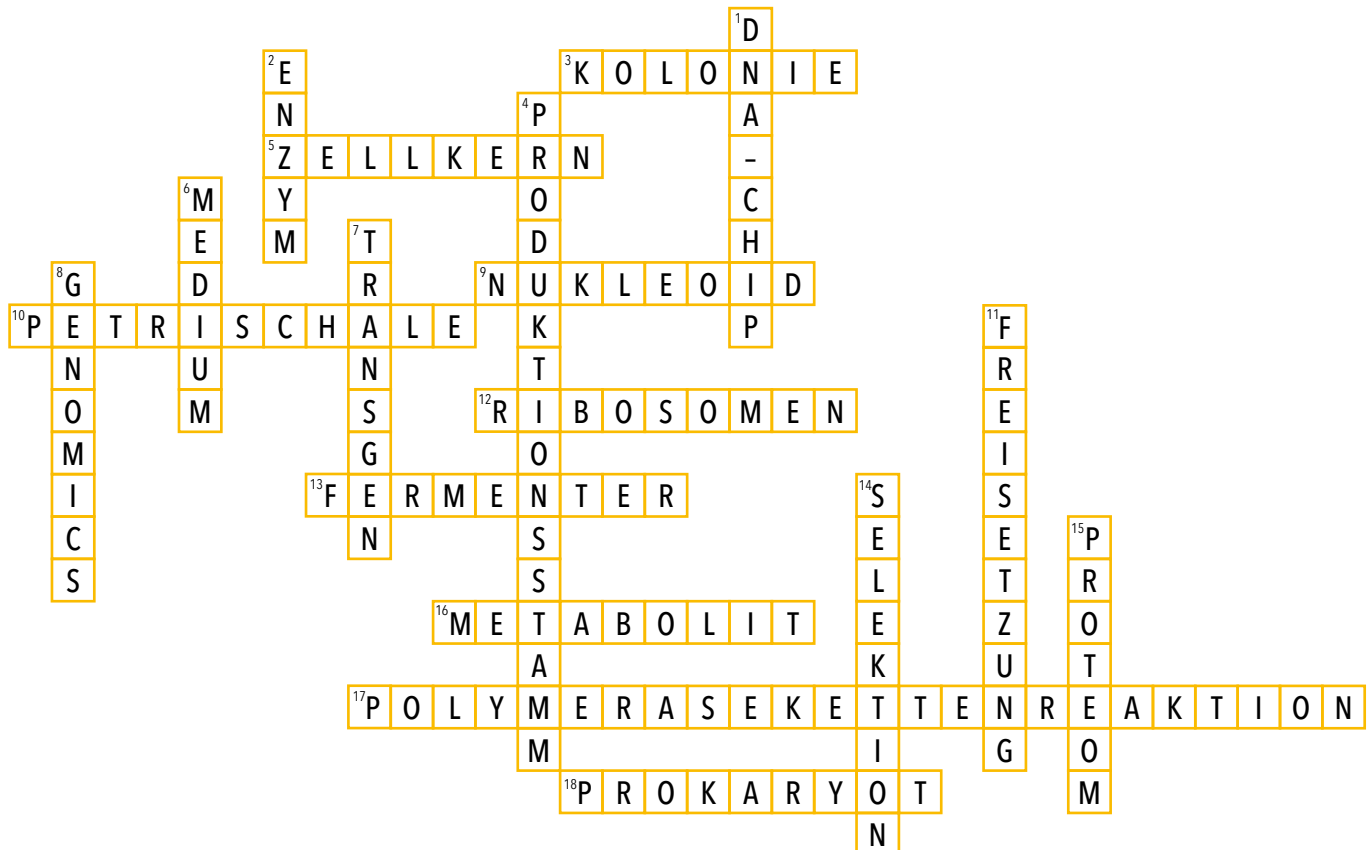
Die prokaryotische Zelle ist im Gegensatz zur eukaryotischen Zelle von einer festen Zellwand umschlossen. Das Zellinnere weist eine geringe Strukturierung auf. Die größeren Komponenten des Zytoplasmas bestehen aus dem Kernäquivalent, Polysomen und Plasmiden. Die genomische DNA liegt in Form eines großen, verknäuelten Ringchromosoms vor, während sie in der eukaryotischen Zelle in einem echten Zellkern in Form einzelner Chromosomen organisiert ist. Eukaryotenzellen enthalten im Gegensatz zu Prokaryotenzellen verschiedene Kompartimente mit unterschiedlichen Stoffwechselläufgaben (Mitochondrien, glattes und raues endoplasmatisches Retikulum, Golgiapparat).

Eukaryoten sind verglichen mit Prokaryoten für die Produktion bestimmter Proteine besser geeignet, da sie über einen wesentlich leistungsfähigeren Translationsapparat verfügen. Somit lassen sich Proteine mit komplexerer Faltung, mit Disulfidbrücken oder chemischen Oberflächenmodifikationen wie beispielsweise Glykosylierungen herstellen, die in Prokaryotenzellen nicht synthetisierbar sind.

Pflanzelle und Tierzelle gehören beide zu den Eukaryoten. Pflanzenzellen besitzen Chloroplasten und Vakuolen. In den Chloroplasten betreiben Pflanzen Photosynthese, in den Vakuolen speichern sie das Wasser und erzeugen den sogenannten Turgor oder auch Zellinnendruck, der dafür sorgt, dass die Pflanzenzelle prall ist und somit stabil bleibt. Außerdem besitzt die Pflanzenzelle eine Zellwand, die der Stabilität der Zelle dient und die sie in „Form“ hält; sie wirkt dem osmotischen Druck der Zelle entgegen.

## Aufgabe 1

Das folgende Kreuzworträtsel enthält zell- und mikrobiologische Fachbegriffe.



### Senkrecht

1. Miniaturisiertes Instrument zur Nukleinsäureanalytik
2. Biologischer Katalysator
4. Wird durch Optimierungsschritte aus einem Laborstamm erzeugt
6. Nährlösung für Organismen in Kultur
7. Gentechnisch verändert
8. Englischer Fachbegriff für Genomforschung
11. Ausbringen gentechnisch veränderter Organismen zu Testzwecken
14. Gezielte Auslese
15. Gesamtheit aller Eiweißstoffe einer Zelle

### Waagrecht

3. Ansammlung genetisch identischer Zellen
5. „Managementzentrale“ höherer Zellen
9. Kernäquivalent
10. Kulturgefäß
12. Syntheseorte der Eiweißstoffe
13. Kulturbehälter für den Produktionsmaßstab
16. Stoffwechselprodukt
17. Verfahren zur Vervielfältigung von Erbmaterial
18. Organismus ohne echten Zellkern



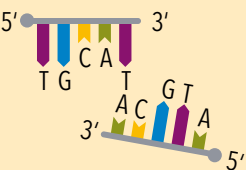





### Aufgabe 1

Recherchieren Sie, in welchen Bereichen die Polymerase-Kettenreaktion verwendet wird. Nennen Sie mindestens drei Anwendungsbereiche für eine PCR.

Vaterschaftstest, Erkennung von Virusinfektionen, genetischer Fingerabdruck, Diagnose von Erbkrankheiten

### Aufgabe 2

Benennen Sie die einzelnen Komponenten und ordnen Sie ihnen die richtige Funktion zu. Für eine PCR werden verschiedene Komponenten benötigt: Zunächst wird die DNA-Probe mit dem zu untersuchenden Abschnitt der Erbsubstanz (die sogenannte Template-DNA) benötigt. Des Weiteren werden Primer, DNA-Polymerase und Desoxyribonukleosidtriphosphate (dNTPs) gebraucht.

Komponenten		Funktion
		Dieser Abschnitt der DNA dient als Vorlage zur Vervielfältigung.
		Diese spezielle Polymerase ist besonders hitzebeständig und synthetisiert den neuen DNA-Strang.
		Dabei handelt es sich um kurze RNA- oder auch DNA-Abschnitte, die den Startpunkt der Synthese für die Polymerase auf den beiden Einzelsträngen der DNA markieren.
		Die DNA-Polymerase nutzt diese Bausteine, um den neuen DNA-Strang zu synthetisieren. Für jede Base gibt es diese Nukleotide (dATP, dTTP, dCTP, dGTP).

### Aufgabe 3

Beschreiben Sie die Funktionsweise des Covid-19-Antigen-Schnelltests unter Verwendung von Fachsprache.

Das Grundprinzip von Antigen-Schnelltests ist bei den meisten Tests häufig gleich. Zunächst wird die Probe (Speichel, Rachenabstrich, Urin, ...) auf das Auftragsvlies der Test-Kassette gegeben, und die Probe fließt dort in Richtung Reagenzvlies. Dieses ist von außen nicht sichtbar. Dort befindet sich eine große Menge speziell markierter Antikörper, die an die Antigene in der Probe binden, falls sie darin enthalten sind. Die ungebundenen Antikörper



wandern mit dem Rest der Probe weiter und erreichen die erste Reagenzienzone (Testlinie – auf der Kassette meist mit einem T markiert). Dort befindet sich ein immobilisierter Antikörper, der gegen eine andere Stelle des Antigens gerichtet ist und an den Immunkomplex bindet. In der zweiten Reagenzienzone (Kontrolllinie – meist mit einem C (control) gekennzeichnet) befinden sich Sekundärantikörper, die an die freien Antikörper binden, allerdings nicht an den Immunkomplex. Bei einem korrekt durchgeführten Test setzt in der Kontrollzone daher immer ein Farbumschlag ein. Nur bei einem positiven Test färbt sich zusätzlich noch die Testlinie.

## Aufgabe 4

Erklären Sie die Sensitivität des Antigen-Schnelltests zur Identifikation einer Corona-Infektion.

Sensitivität: Die diagnostische Sensitivität gibt an, bei welchem Anteil der mit Corona infizierten Personen die Erkrankung von dem jeweiligen Test tatsächlich auch erkannt wird. Je höher die Sensitivität ist, desto wahrscheinlicher werden tatsächlich infizierte Personen erkannt.

## Aufgabe 5

Erklären Sie das Auftreten von falsch positiven Ergebnissen.

Eine zu geringe Spezifität eines Schnelltests kann zu falsch positiven Ergebnissen führen.

Spezifität: Je höher die Spezifität ist, desto wahrscheinlicher werden gesunde Personen nicht fälschlicherweise als krank erkannt.

## Aufgabe 6

Vor dem Zutritt zu einem Konzert führt der Veranstalter einen Antigen-Schnelltest bei allen Besucherinnen und Besuchern durch. Nur negativ getestete Personen dürfen das Konzert besuchen. Insgesamt erscheinen 10.000 Personen zum Konzert und werden getestet. 99 % der getesteten Personen erhalten ein negatives Testergebnis. Der Hersteller des Tests gibt an, dass nur zu 5 % falsch positive und zu 10 % falsch negative Testergebnisse angezeigt werden.

a) Die Sensitivität eines Antigen-Schnelltests beträgt circa 95 %. Was bedeutet das?

95 % aller positiven Testergebnisse sind auch wirklich positiv. 5 % der negativen Testergebnisse sind eigentlich positiv (falsch negatives Ergebnis).

b) Wie viele Besucherinnen und Besucher wurden im schlimmsten Fall falsch negativ getestet?

9.900 Personen wurden negativ getestet. 5 % können falsch negativ sein. Im schlimmsten Fall sind 495 Personen falsch negativ getestet.

c) Wie viele Besucherinnen und Besucher wurden auf Basis der Herstellerangaben vermutlich falsch positiv getestet?

100 Personen positiv, 1 % Fehlerquote: Vermutlich 1 Person falsch positiv getestet.

d) Die Spezifität eines Antigen-Schnelltests beträgt circa 99 %. Was bedeutet das?

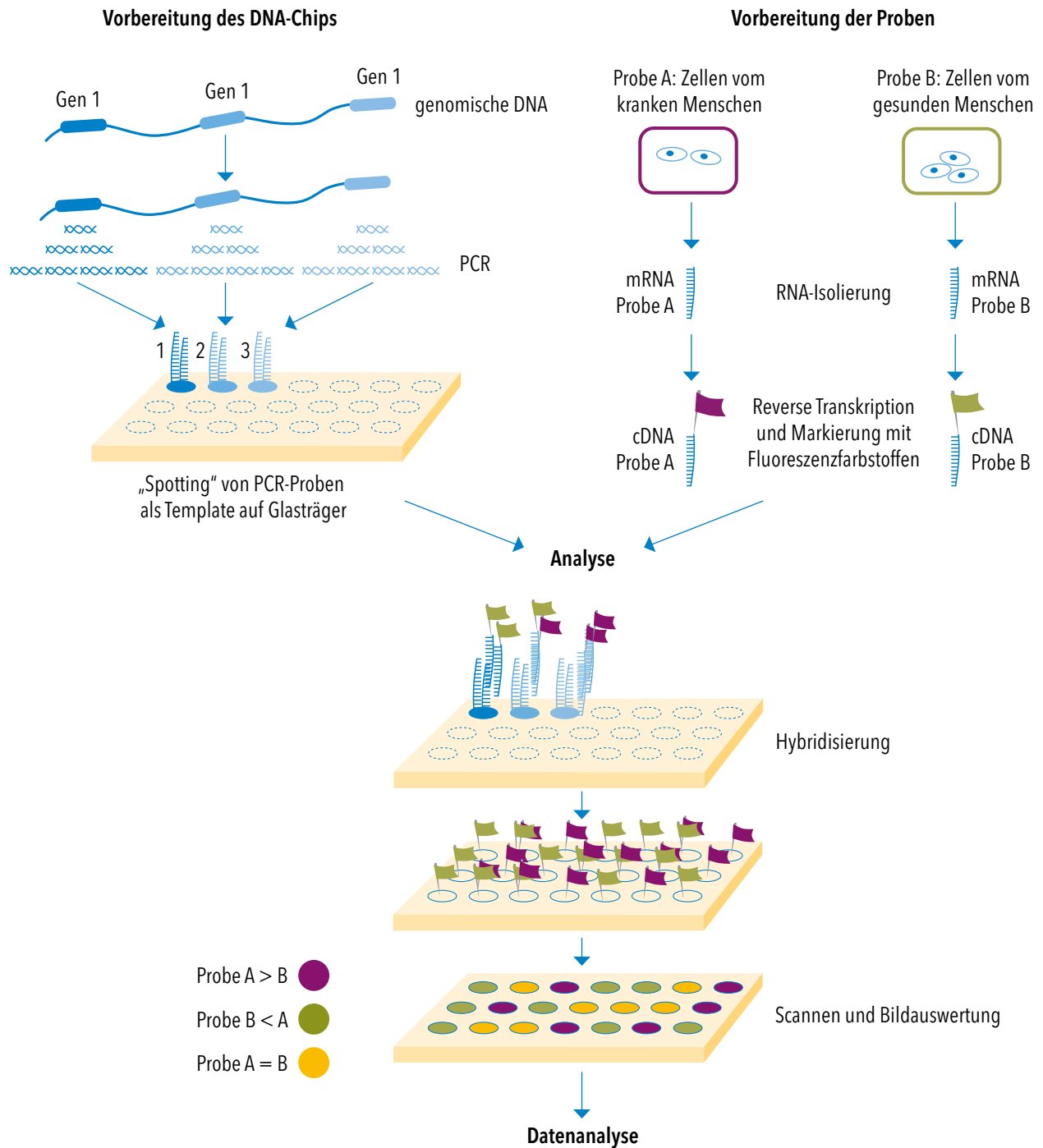
Zu 99 % erhält man ein negatives Testergebnis, das auch tatsächlich negativ ist. Zu 1 % erhält man ein positives Testergebnis, das aber eigentlich negativ sein muss (falsch positives Ergebnis).

e) Welche Faktoren können zu einem falsch negativen Ergebnis führen?

Falsche Anwendung, Testperson wird zu früh/spät getestet (zu wenig Antigene), Test defekt.

### Aufgabe 1

Erklären Sie anhand der nachstehenden Abbildungen die Funktionsweise eines DNA-Chips. Erläutern Sie, warum dieses Verfahren nicht nur zeigt, dass ein Gen aktiv ist, sondern auch, wie stark es transkribiert wird.



Auf der Oberfläche eines Trägermediums (z. B. Objektträger aus Glas) werden im Punktraster verschiedene einzelsträngige DNA-Proben chemisch fest gebunden. Jeder Punkt enthält eine andere bekannte DNA-Spezies, deren Basensequenz jeweils zum Beispiel einem Abschnitt eines menschlichen Gens entspricht (auf einem DNA-Chip können Abschnitte mehrerer Tausend Sequenzen aufgebracht werden).

Als Probe werden einzelsträngige cDNA-Moleküle zugegeben. Diese cDNAs wurden durch „Abschreiben“ zellulärer mRNA mit dem Enzym Reverse Transkriptase hergestellt und zusätzlich mit verschiedenen Fluoreszenzfarbstoffen markiert. Durch Hybridisierung binden die Proben-cDNAs immer dann an die DNA-Abschnitte auf dem Chip, wenn sie eine komplementäre Basensequenz besitzen. Punkte auf dem Chip, an denen eine DNA-Hybridisierung stattgefunden hat, sind bei Anregung mit ultraviolettem Licht durch ihre Fluoreszenz erkennbar. Durch Zuordnung der Punktposition zu dem entsprechenden Gen, dessen Teilsequenz an den Chip gebunden wurde, wird dessen Genaktivität nachgewiesen. Je stärker die Fluoreszenz an einer Position ist, desto mehr einzelsträngige cDNA-Moleküle wurden dort gebunden und desto mehr entsprechende mRNA muss in der Zelle durch Genaktivität gebildet worden sein.

## Aufgabe 1

Begründen Sie anhand des folgenden Textes, warum Genomforschung auch noch im Zeitalter der „Proteomics“ betrieben wird.

Die beiden Zeitalter der Genom- und der Proteomforschung sind keine für sich abgeschlossenen Phasen. Während bei einigen Organismen (z. B. dem Bakterium *Escherichia coli*) das Genom bereits entziffert ist und die Forschung sich auf das Proteom konzentriert, ist die Erforschung der Genome anderer Lebewesen (z. B. *Archaea*, der dritten Domäne neben den Bakterien und Eukaryoten) nach wie vor nicht abgeschlossen.

Das Verständnis um das Genom (Gesamtheit aller Gene) und das Proteom (Gesamtheit aller Eiweiße) sind elementare Voraussetzungen für Biotechnolog:innen. So zählen die Genomforschung und die Proteomforschung zu den wichtigsten Plattformtechnologien der Biotechnologie.

## Aufgabe 1

Erläutern Sie anhand der Reaktionsgleichung (Abbildung 1) ausführlich die chemischen Vorgänge, die bei einer Dauerwellenbehandlung zu Locken in normalerweise glatten Haaren führen.

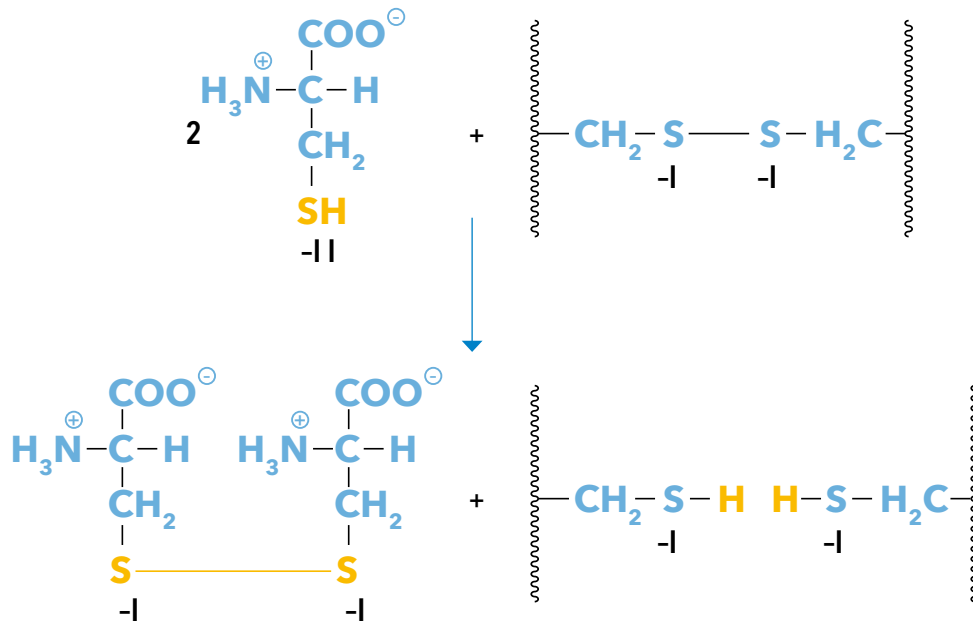


Abb. 1: Reaktion von Cystein mit den Disulfidbrücken des Keratins

Im unbehandelten Zustand sind die Proteinketten im Keratin der Haare durch Disulfidbrücken vernetzt. Diese müssen reaktiv gespalten werden, um das Haar verformen zu können. Als reduzierendes Agens wird Cystein eingesetzt, wobei zwei Mol Cystein zu Cystin reagieren. Die Disulfidbrücken zwischen den Proteinketten werden dabei gelöst. Durch Verformung der Haare verschieben sich die einzelnen Proteinketten gegeneinander. Nach Zugabe eines Oxidationsmittels (z. B. Bromat oder Wasserstoffperoxid) werden die freien Thiolgruppen der neu orientierten Proteinketten zu Disulfidbrücken oxidiert.

## Aufgabe 2

Vergleichen Sie das Klebereiweiß des Weizenmehls mit dem Keratin der Haare. Erklären Sie die Wirkung des Cysteins als Backzutat.

Im Gegensatz zum Keratin der Haare liegen auf der Oberfläche des Klebereiweißes im Weizenmehl Thiolgruppen frei auf der Proteinoberfläche vor. Durch Zugabe von Cystein als Backzutat werden zufällig benachbarte Thiolgruppen der Klebereiweißmoleküle zu Disulfidbrücken oxidiert, die dann die Proteine untereinander vernetzen. Dieses dreidimensionale Netzwerk schließt die quellende Stärke und Gasblasen ein.

### Aufgabe 3

Stellen Sie eine Hypothese auf, mit der Sie die mögliche Wirkung des Cysteins als Arzneistoff (z. B. zur Schleimlösung) erklären können. Recherchieren Sie im Internet nach schleimlösenden Mitteln bei Bronchialerkrankungen und überprüfen Sie so Ihre Hypothese.

Hypothese: Die schleimverflüssigende Wirkung des N-Acetylcysteins kommt durch oxidative Spaltung der Disulfidbrücken in den Mucopolysaccharidfasern, aus denen das in den Bronchien gebildete Sekret besteht, zustande. Moleküle mit kürzerer Kettenlänge bewirken eine niedrigere Zähigkeit des Schleims, der deshalb leichter abgehustet werden kann.

Gemäß Internetrecherche beruht die Wirkung des Arzneimittelwirkstoffs 2-Mercaptoethansulfonat-Natrium auf demselben Prinzip.

### Aufgabe 4

Erläutern Sie das herkömmliche Verfahren zur Cystein-Herstellung und vergleichen Sie es mit dem biotechnischen Herstellungsverfahren (Abbildung 2).

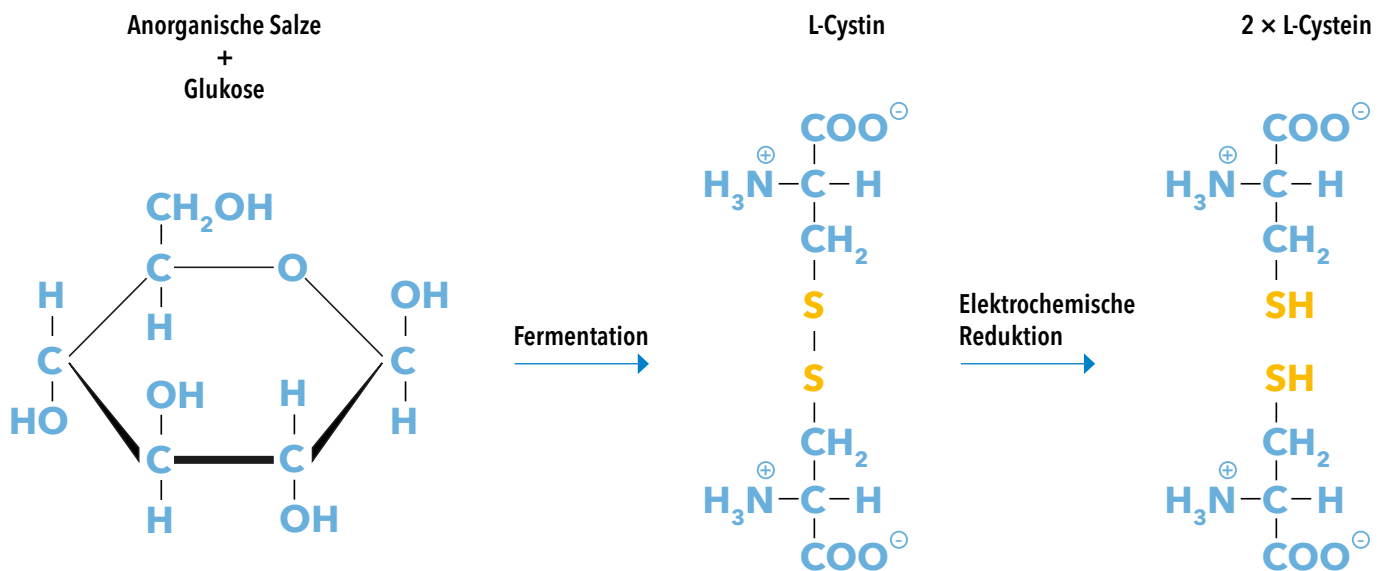


Abb. 2: Biotechnische Herstellung von Cystein

(Quelle: Cystein - Chemie-Schule Aminosäuren - Wacker Chemie AG)

Bei der konventionellen Cystein-Herstellung wurde die Aminosäure durch Totalhydrolyse von Keratin aus Haaren, Federn, Hufen oder Schweineborsten mittels Kochen in hochkonzentrierter Salzsäure in Form des Cystins gewonnen und anschließend elektrochemisch zu Cystein reduziert. Das Verfahren war aufwendig und umweltbelastend.

Die moderne biotechnologische Produktion erfolgt durch Fermentation in einem gentechnisch optimierten *E. coli*-Bakterium. Das Produkt Cystin wird von dem Bakterium in das umgebende Nährmedium abgegeben, daraus gereinigt und zu Cystein reduziert. Die Ausbeute der biotechnischen Cystein-Produktion ist um 30 % höher als die des klassischen Verfahrens. Zudem werden nur 4 % der sonst benötigten Menge an Salzsäure verbraucht.

## Aufgabe 1

Beschreiben Sie das folgende Schaubild (Stabilitätsoptimum einer Waschmittelprotease) und erklären Sie den Zusammenhang zwischen Enzymstabilität und pH-Wert beziehungsweise Temperatur.

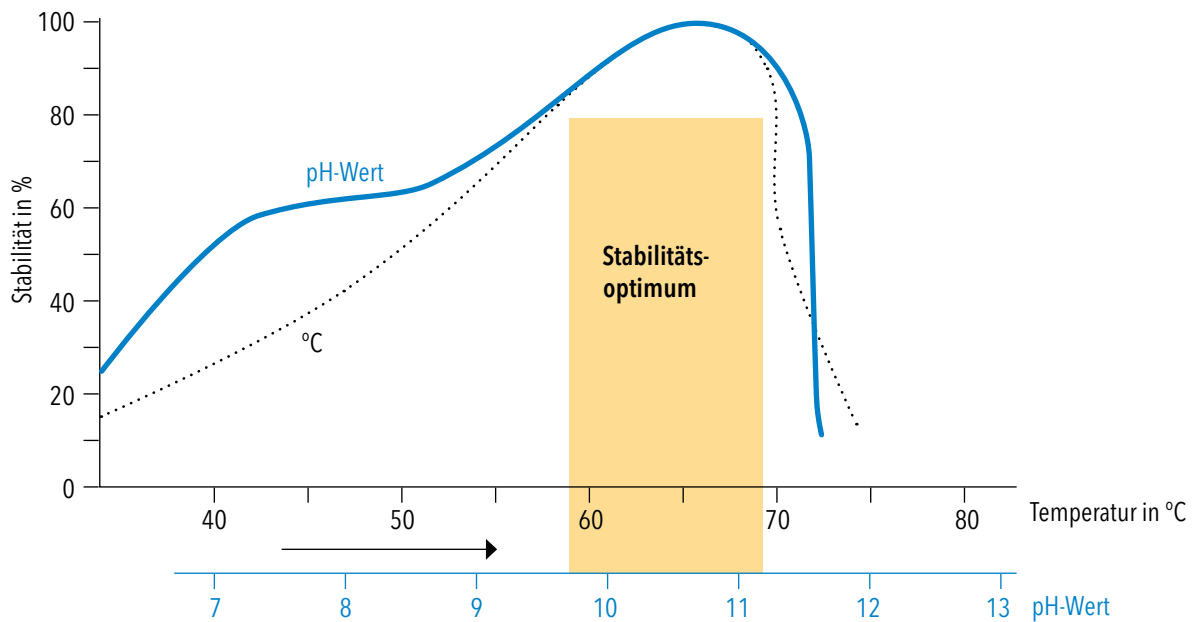


Abb. 1: Stabilitätsoptimum einer Waschmittelprotease

Das Schaubild zeigt die Stabilität einer Waschmittelprotease (in %), aufgetragen gegen die Temperatur in einem Bereich von 40 bis 80 °C bzw. dem pH-Wert in einem Bereich zwischen pH 7 und pH 13. Die Stabilität in Abhängigkeit des pH-Wertes hat einen sattelförmigen Verlauf mit einem ersten Maximum von 60 % bei etwa pH 7,5 und einem zweiten Maximum von nahezu 100 % bei etwa pH 10,5. Ihre Minima im Messbereich liegen mit 25 % bei pH 6 und 10 % bei pH 11,5.

Die temperaturabhängige Stabilitätskurve steigt von einem gemessenen Minimum von 15 % bei circa 33 °C bis zu ihrem Maximum von nahezu 100 % bei circa 65 °C und fällt dann bis zu einem gemessenen Minimum von etwa 10 % bei 75 °C steil ab. In einem als Stabilitätsoptimum bezeichneten Bereich zwischen circa 59 und circa 69 °C bzw. circa pH 9,7 und circa pH 11,2 zeigen beide Kurven einen nahezu deckungsgleichen Verlauf.

Die Stabilität eines Enzyms in Abhängigkeit von pH-Wert und Temperatur kann unmittelbar über seine katalytische Aktivität bestimmt werden. Enzyme katalysieren Reaktionen im Vergleich mit chemischen Katalysatoren bereits bei verhältnismäßig niedrigen Temperaturen. Sie besitzen ein Temperaturoptimum, d. h., in einem bestimmten Temperaturbereich entfalten sie die meiste katalytische Aktivität. Unterhalb dieses Temperaturbereichs ist die Reaktionsgeschwindigkeit durch die niedrigere Aktivierungsenergie geringer. Oberhalb des Optimums führt die höhere Temperatur zu einer Veränderung der Proteinfaltung bis zur vollständigen Denaturierung des Eiweißmoleküls und dadurch zum Verlust der katalytischen Aktivität.

Die Abhängigkeit der Stabilität vom pH-Wert ergibt sich aus der Protonierung bzw. Deprotonierung und damit der elektrischen Ladung von Seitengruppen der Proteinkette, die einerseits auf die Stabilisierung der räumlichen Proteinstruktur, andererseits auf die chemische Reaktivität funktioneller Seitengruppen im aktiven Zentrum des Enzyms Einfluss hat.

## Aufgabe 2

Gelatine besteht aus langen Ketten des Proteins Kollagen, die nach Erwärmen in Wasser durch Bildung eines dichten Netzwerks ein Gel bilden. Waschmittelproteasen lösen Gelatine auf, weil sie das Protein Kollagen spalten.

Planen Sie ein Experiment, mit dem Sie die Temperaturabhängigkeit der Enzymaktivität von Proteasen in Vollwaschmittel beweisen können.

### Versuchsdurchführung

**Kontrollansatz:** Entsprechend der Anleitung auf der Packung wird in einem Becherglas Gelatine in Wasser aufgeschlämmt, erwärmt und durch Abkühlen zum Erstarren gebracht.

**Reaktionsansatz 1:** Im zweiten Becherglas wird die Gelatine in dem gleichen Flüssigkeitsvolumen einer verdünnten Vollwaschmittellösung aufgelöst.

**Reaktionsansatz 2:** Im dritten Becherglas wird die Vollwaschmittellösung vor der Zugabe der Gelatine für 5 Minuten aufgekocht und wieder abgekühlt.

### Beobachtung/Erklärung

Becherglas 1 enthält keine Protease, deshalb kann die Gelatine erstarren.

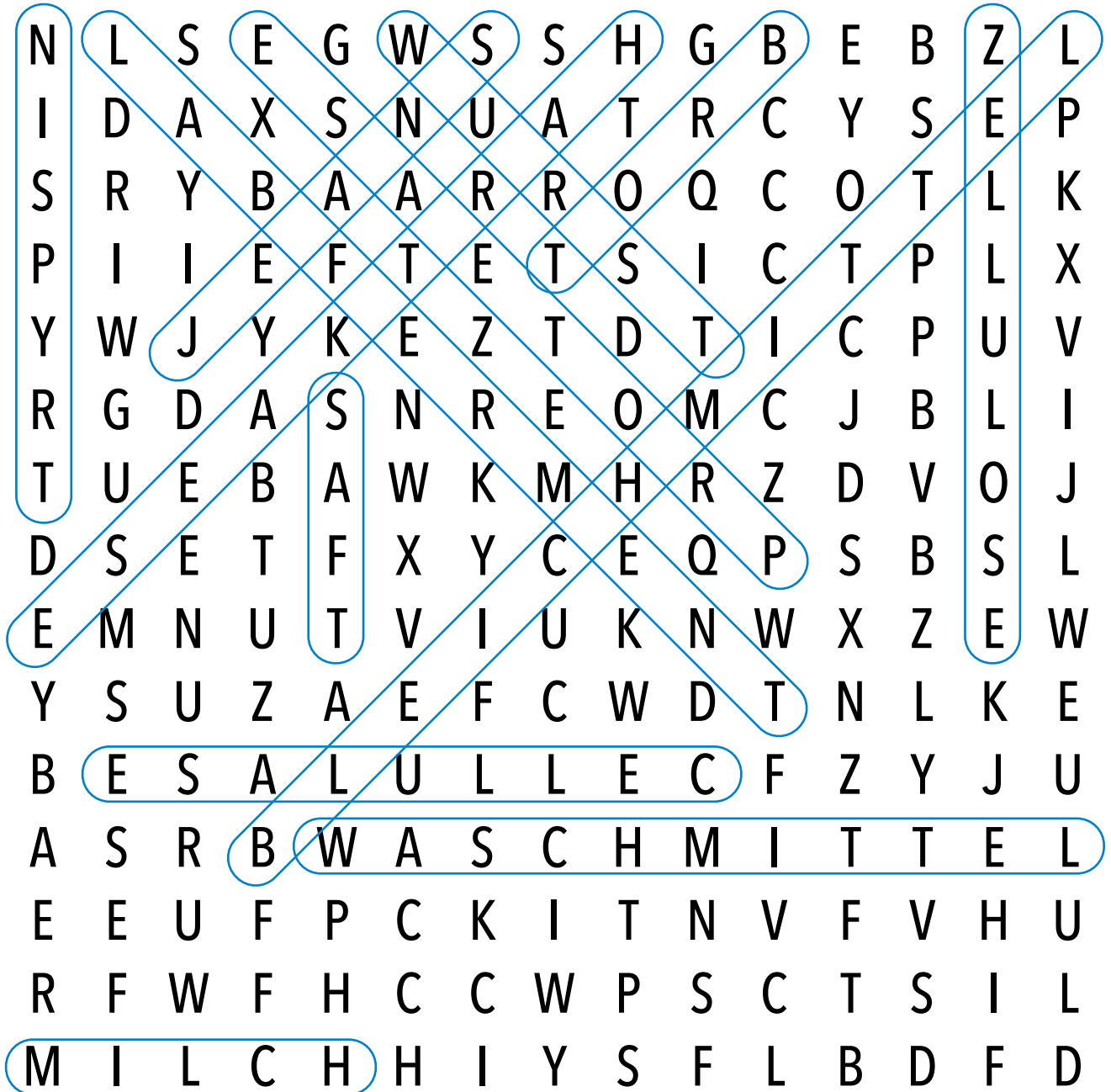
In Becherglas 2 wird das Kollagen in der Gelatine durch die Waschmittelprotease abgebaut. Die kurzen Proteinf Fragmente bilden kein Gel mehr und die Gelatine bleibt flüssig.

In Becherglas 3 ist die Protease durch das Aufkochen denaturiert. Das Enzym hat dadurch seine katalytische Aktivität verloren und kann das Kollagen nicht mehr spalten. Die Gelatine im Becherglas wird fest.



### Aufgabe 3

Das folgende Suchsel enthält die Namen von Enzymen und Produkten, die mithilfe der Enzyme verarbeitet oder hergestellt werden. Umranden Sie die gefundenen Begriffe (hochkant, waagrecht und diagonal).

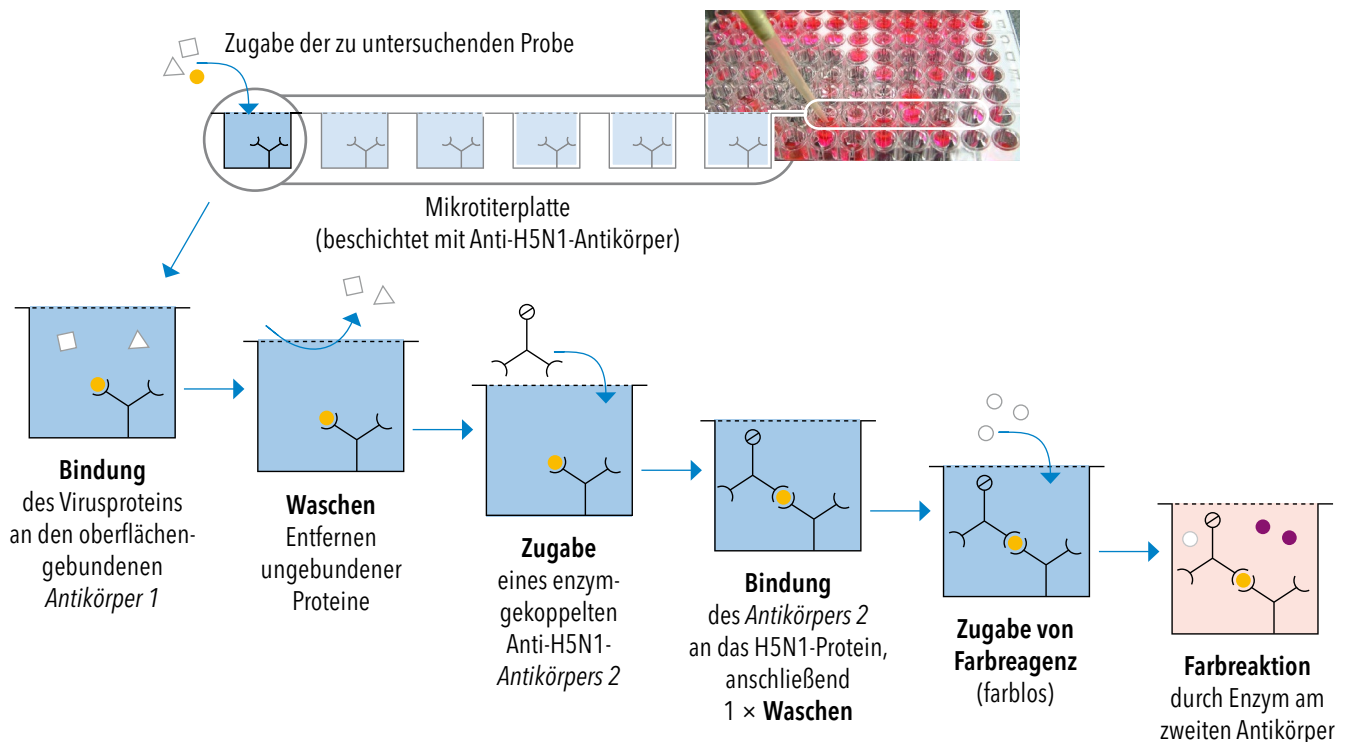


## Aufgabe 1

Die zwei wichtigsten Verfahren für den Nachweis einer Virusinfektion sind die Polymerase-Kettenreaktion (PCR) und der sogenannte ELISA, ein immunologisches Nachweisverfahren. Beschreiben Sie das ELISA-Verfahren anhand des folgenden Schaubildes.

### ELISA (Enzyme-linked Immunosorbent Assay)

#### Immunologischer Nachweis des Vogelgrippe-Erregers H5N1



In einer Mikrotiterplatte werden die Reaktionskammern („Wells“) mit einem gegen den nachzuweisenden Erreger (z. B. Virus H5N1) gerichteten Antikörper beschichtet. Eine möglicherweise virushaltige Probe – z. B. Blutserum eines Patienten – wird in die Reaktionskammer gegeben. Nach einer definierten Inkubationsdauer, in der das Virus-Antigen an den Antikörper binden konnte, wird die Probe abgegossen. Die Reaktionskammer wird ausgewaschen, um unspezifisch gebundene Proteine zu entfernen. Ein zweiter Antikörper, der ebenfalls gegen ein Oberflächen-Antigen des nachzuweisenden Erregers gerichtet ist, wird in die Reaktionskammer gegeben. Dieser Antikörper ist an seinem Fc-Teil an ein Enzym (z. B. Peroxidase) gekoppelt. Nach Inkubation werden überschüssige Sekundärantikörper durch Waschen entfernt. Nun wird ein farbloses Reagenz in das Well gegeben. Die Peroxidase wandelt dieses Reagenz in einen Farbstoff um. Die Farbreaktion tritt nur dort ein, wo ein Viruspartikel durch den primären und sekundären Antikörper gebunden wurde.

## Aufgabe 2

Recherchieren Sie im Internet, wie viele gentechnologisch hergestellte Präparate in Deutschland zugelassen sind und in welche Anwendungsbereiche man diese einteilen kann.

(Quellen z. B. [Medizinische Biotechnologie | VCI, Zugelassene Gentec-Medikamente einsehen | vfa, bcg-vfa-bio-biotech-report-2022](#))

2022 sind in Deutschland nach vfa-Recherchen 352 Biopharmazeutika mit 312 Wirkstoffen zugelassen, die gentechnisch hergestellt werden. Wichtige Anwendungsbereiche sind unter anderem Diabetes (Insuline), Multiple Sklerose und Autoimmunkrankheiten wie rheumatoide Arthritis und Psoriasis (Immunmodulatoren), Krebserkrankungen (monoklonale Antikörper), angeborene Stoffwechsel- und Gerinnungsstörungen (Enzyme, Gerinnungsfaktoren) sowie Schutzimpfungen (Gebärmutterhalskrebs, Hepatitis B) und Osteoporose.

## Aufgabe 1

Lesen Sie die folgenden Artikel durch. Markieren Sie im Text Schlüsselbegriffe. Fassen Sie mit eigenen Worten die Kernaussagen der Texte kurz zusammen.

### Individuelle Schülerleistung

Polyhydroxybuttersäure (PHB) eignet sich aus verschiedenen Gründen für eine Anreicherung in Bakterien und als Ausgangsstoff für biobasierte Polymere: PHB ist ein natürlicher Speicherstoff für viele Bakterienarten und wird daher in der Natur auch wieder abgebaut.

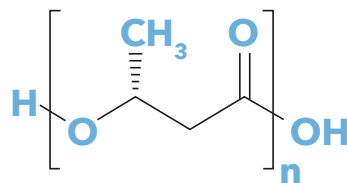
Das Polymer lässt sich durch genetische Eingriffe in den Bakterienzellen anreichern. Seine Synthese kann fermentativ auf der Basis unterschiedlicher Nährstoffe realisiert werden. Dies gelingt zum Beispiel auf Basis von Zucker oder Stärke, aber auch andere Nährstoffe wie Glycerin oder Pflanzenöle sind geeignet. Die im Beitrag beschriebene neue Entwicklung weist nach, dass sogar bislang nur schwer verwertbare tierische Abfallfette aus der Schlachtproduktion geeignete Nahrungsgrundlagen sein können. Das angereicherte PHB kann aus den Bakterienzellen durch Extraktion mit wiederverwendbaren Lösemitteln isoliert werden.

PHB ist in der Natur vergleichsweise zügig abbaubar und weist dennoch gute Eigenschaften für unterschiedliche Verwendungen auf, zum Beispiel als Verpackungsmaterial für kurzzeitig zu lagernde Lebensmittel.

## Aufgabe 2

Informieren Sie sich über Polyhydroxybuttersäure (PHB). Welche Rolle spielt dieser Stoff in der Natur?

### Ausschnitt aus dem PHB-Molekül



PHB ist wasserunlöslich und relativ stabil gegen Hydrolyse (im Gegensatz zu den meisten anderen Biopolymeren). Es findet Anwendung in reiner Form oder als Copolymer oder in Mischungen mit anderen Polymeren für Kontakt mit Lebensmitteln (Folien, Umhüllungen, Schalen, Besteck), als dehnbare oder schrumpfbare Verpackungen, kompostierbare Tragetaschen, Mulchfilm und vieles andere.

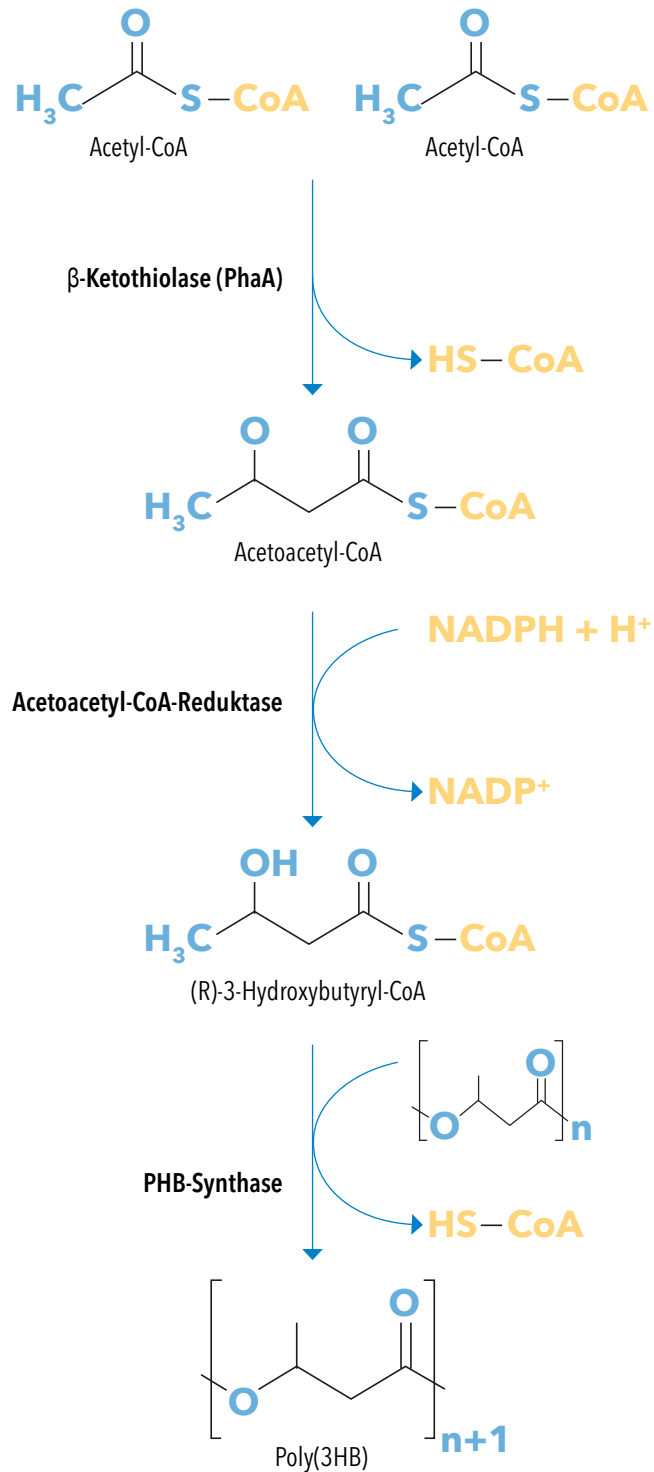
PHB kann als Granulat thermoplastisch verarbeitet werden wie klassische Thermoplaste. Es weist zum Beispiel beim Einsatz in Spritzgussverfahren ähnliche Verarbeitungs- und Produkteigenschaften auf wie der petrochemisch erzeugte Kunststoff Polypropylen (PP), ist im Vergleich zu PP jedoch härter und spröder. Zur Erhöhung ihrer Flexibilität werden Copolymere, Mischungen (Blends) oder Weichmacher verwendet.

In der Natur spielt PHB als Speicherstoff in Bakterien eine wichtige Rolle. Es wird während der Assimilation von Kohlenstoff aus unterschiedlichen Quellen synthetisiert, hauptsächlich jedoch aus Glucose und Stärke. In Abwesenheit anderer Energiequellen wird es wieder metabolisiert. Die bakterielle Biosynthese von PHB verläuft im Allgemeinen in drei Schritten ab, die von drei Enzymen katalysiert werden:

Zwei Moleküle Acetyl-CoA kondensieren durch Katalyse der  $\beta$ -Ketothiolase zu Acetoacetyl-CoA, das durch die NAD(P)H-abhängige Acetoacetyl-CoA-Reduktase zu (R)-3-Hydroxybutyryl-CoA reduziert wird. Dieses dient der PHB-Synthase als Substrat zur Polymerisation zum PHB.

### Biosynthese von PHB durch Bakterien

(Quelle: Wikipedia)

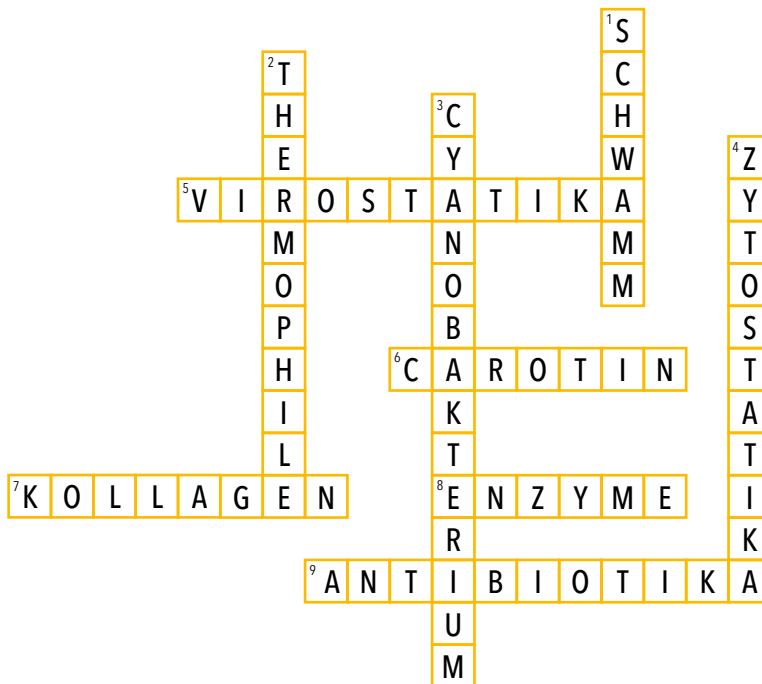


## Aufgabe 1

Erklären Sie den Vorteil von Industrieenzymen, die aus Organismen gewonnen werden, welche an niedrige Umgebungstemperaturen angepasst sind. Enzyme mit einem vergleichsweise niedrigen Temperaturoptimum führen zu Energieersparnis bei Produktionsprozessen, da weniger Wärme zugeführt werden muss.

## Aufgabe 2

Finden Sie die richtigen Begriffe aus der Welt der Meeresbiotechnologie und ihrer Produkte.



### Senkrecht

1. Im Bad und auch im Meer
2. Hitzeliebende Mikroorganismen
3. Blaugrüner Mikroorganismus
4. Zellteilungshemmende Krebsmedikamente

### Waagrecht

5. Wirkstoffe gegen Viren
6. Orangeroter Lebensmittelzusatzstoff
7. In Kosmetika verwendetes Eiweiß
8. Chemisch aktive Proteine
9. Stoffe, die gegen Bakterien wirken