

G8 Abituraufgaben Chemie Enzyme

2011/C1

Der Wirkstoff Ibuprofen hemmt ein membrangebundenes Enzym A (Prostaglandin-H₂-Synthase), das die Umwandlung von Arachidonsäure zu einer Verbindung katalysiert, deren Folgeprodukte für Entzündungsreaktionen verantwortlich sind.

Arachidonsäure ist Bestandteil aller Zellmembranen und wird direkt von der Zellmembran über einen Kanal zum Reaktionszentrum des Enzyms A geleitet. Die Wirkung von Ibuprofen beruht darauf, dass es den Kanal des Enzyms reversibel blockiert.

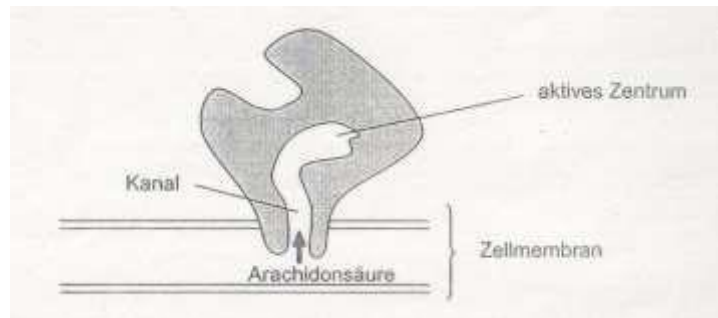


Abb. 3: Stark schematisierte Darstellung einer Zellmembran mit Enzym A (Prostaglandin-H₂-Synthase)¹

2.1 Die folgende Abbildung zeigt die Strukturformeln von Arachidonsäure und Ibuprofen

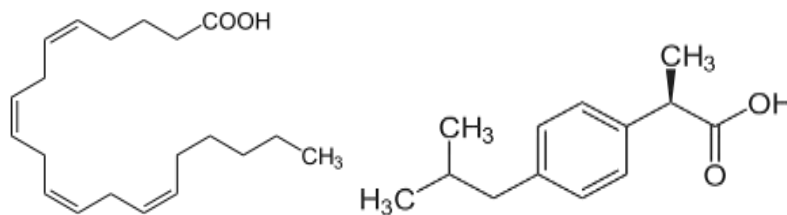


Abb. 4: Strukturformeln von Arachidonsäure (links) und Ibuprofen (rechts)

Diskutieren Sie das Löslichkeitsverhalten von Arachidonsäure und Ibuprofen in Wasser und leiten Sie aus dem Ergebnis eine Aussage über die Polarität des Kanals ab! [6 BE]

2.2 In einer Versuchsreihe wird die Anfangsgeschwindigkeit der Umsetzung von Arachidonsäure durch das Enzym A in Abhängigkeit von ihrer Konzentration bestimmt. In einer weiteren Versuchsreihe wird bei sonst gleichen Bedingungen dem Versuchsansatz Ibuprofen zugesetzt. Stellen Sie die zu erwartende Messergebnisse beider Versuche in einem Diagramm graphisch dar! [6 BE]

Abbildungen: 1 verändert nach: P. Karson et al.; *Karlsons Biochemie und Pathobiochemie*. Thieme-Verlag, Stuttgart 2005, 15. Aufl., S. 566

2011/C2

Auf der Kaugummiverpackung ist der Warnhinweis „Enthält eine Phenylalaninquelle.“ aufgedruckt. Dieser Hinweis betrifft Personen, die unter der Erbkrankheit Phenylketonurie leiden, da ihnen das Enzym Phenylalaninhydroxylase fehlt. Dieses Enzym baut beim gesunden Menschen Phenylalanin zu Tyrosin ab.

Beschreiben und skizzieren Sie die Wirkung der Phenylalaninhydroxylase mithilfe einer Modellvorstellung und erklären Sie das Phänomen der Substratspezifität eines Enzyms! [7 BE]

- 3 Kaugummidragees sind mit Carnaubawachs überzogen. Hauptbestandteil dieses Waxes sind Verbindungen, die mit folgender Formel wiedergegeben werden können:

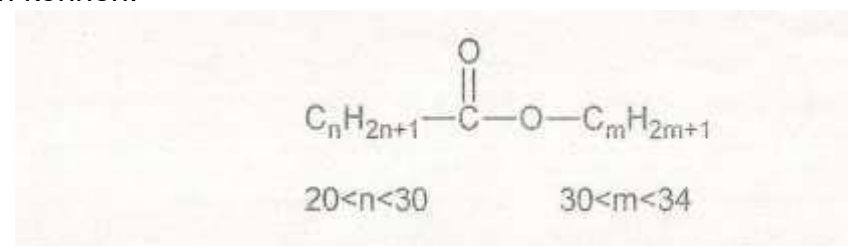


Abb. 2: Allgemeine Formeln von Bestandteilen des Carnaubawaxes

Carnaubawachs kann die Durchfeuchtung von Kaugummidragees verhindern. Begründen Sie diesen Befund! [4 BE]

2012/B2

Blut hat vielfältige Aufgaben, so dient es zum Beispiel als Transportmittel für Atemgase und Nährstoffe. Es enthält Antikörper, die an der Abwehr von Krankheitserregern beteiligt sind, und andere Proteine sowie freie Aminosäuren. 1 Die im Blutserum enthaltenen Proteine werden in der medizinischen Diagnostik mittels Elektrophorese in fünf Fraktionen aufgetrennt. Das Serum wird auf dem Trägermaterial in der Nähe des Minus-Pols aufgetragen. Ein typisches Trennergebnis ist in folgender Abbildung dargestellt.

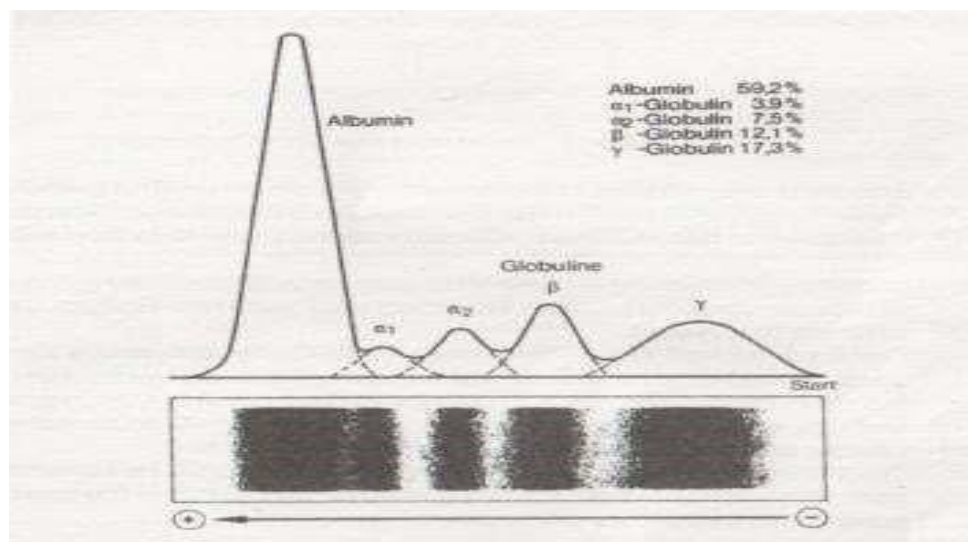


Abb. 1: Ergebnis der Elektrophorese einer menschlichen Serumprobe¹

Abbildungen und Tabellen:

¹ R.F. SCHMIDT, G. THEWS: *Einführung in die Physiologie des Menschen*. Springer-Verlag, Heidelberg, 1976, S. 323

- 1.1 Leiten Sie aus dem Versuchsergebnis Informationen über die Teilchen ab, welche die mit „Albumin“ und „ β -Globulin“ bezeichneten Proteinfractionen bilden, und begründen Sie Ihre Aussage! [6 BE]
- 1.2 Bei der Elektrophorese von Blutserum lassen sich zwischen α_2 - und β Bande micellenartige Partikel nachweisen. Die Partikel bestehen zum Beispiel aus Cholesterin, das von einer Hülle umgeben ist.

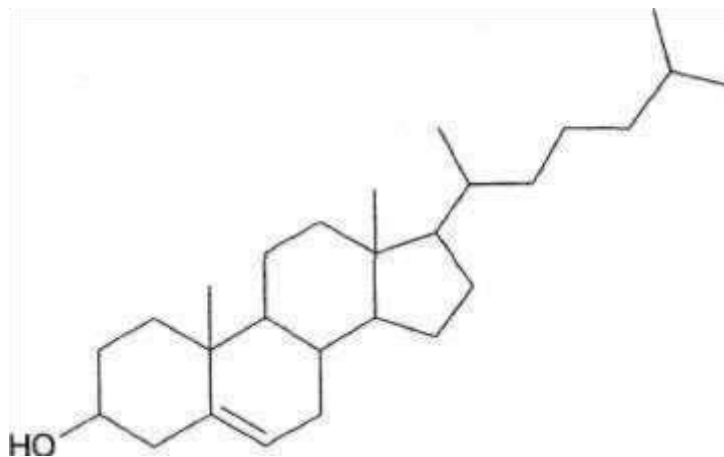


Abb. 2: Strukturformel von Cholesterin

Erläutern Sie, weshalb Cholesterin nicht direkt im Blut gelöst transportiert wird, und stellen Sie dar, welche Struktur und Orientierung die Bausteine in der Hülle der micellenartigen Partikel haben müssen! [6 BE]

- 1.3 In den roten Blutkörperchen wird Kohlenstoffdioxid in Hydrogencarbonat-Ionen überführt. Diese Reaktion wird von dem Enzym Carboanhydrase katalysiert. Der Einfluss von Medikamenten auf die Carboanhydrase kann mit einer Versuchsreihe veranschaulicht werden. Bei allen Versuchen werden 0,5 ml Pufferlösung mit 1 ml Säure-Base-Indikator-Lösung angefärbt und ggf. mit Zusätzen versetzt (vgl. Tab. 1). Die Medikamenten-Lösungen haben jeweils die gleiche Konzentration.

Die Versuche werden jeweils durch Zugabe von 5 ml kohlensäurehaltigem Mineralwasser (3 °C) gestartet und die Zeit bis zum Farbumschlag des Indikators gemessen.

Tab. 1: Durchführung und Ergebnisse ausgewählter Versuche mit Carboanhydrase

Ansatz	weitere Zusätze	Beobachtung
A	keine	Farbumschlag nach 7 s
B	0,1 ml Carboanhydrase-Lösung	Farbumschlag sofort
C	0,1 ml Carboanhydrase-Lösung, 0,1 ml Medikament-1-Lösung	Farbumschlag nach 5 s
D	0,1 ml Carboanhydrase-Lösung, 0,1 ml Medikament-2-Lösung	Farbumschlag sofort
E	0,1 ml Carboanhydrase-Lösung, 0,1 ml Medikament-3-Lösung	Farbumschlag nach 5 s

1.3.1 Formulieren Sie die Reaktionsgleichungen für die Bildung von Hydrogen-Carbonat aus Kohlenstoffdioxid in wässriger Lösung! [3 BE]

1.3.2 Interpretieren Sie die Versuchsergebnisse der Ansätze A, B und C! [6 BE]

1.3.3 Der Wirkstoff von Medikament 1 gehört zur Gruppe der Sulfonamide. Bei der Suche nach Medikamenten, welche die Carboanhydrase beeinflussen, wurden weitere Sulfonamide (Acetazolamid, Sulfamethoxazol) auf ihre Wirksamkeit hin untersucht (Ansatz D und E).

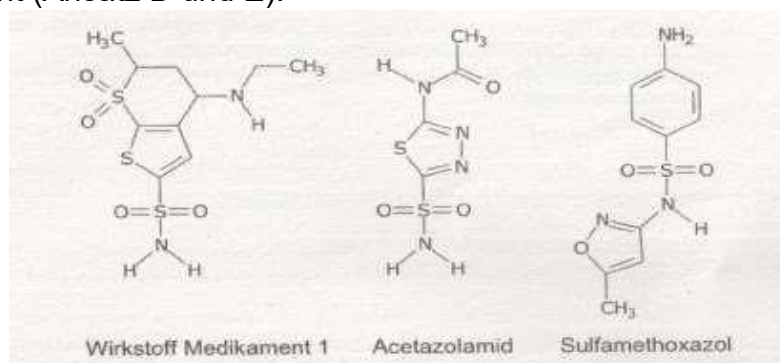


Abb. 3: Strukturformeln der Wirkstoffe der Medikamente 1-3

Ordnen Sie den Medikamenten 2 und 3 den jeweils enthaltenen Wirkstoff zu und begründen Sie die Zuordnung! [4BE]

2 Die Geschwindigkeit enzymkatalysierter Reaktionen hängt unter anderem vom pH-Wert des Mediums ab. Damit alle lebenswichtigen Reaktionen ausreichend schnell ablaufen können, muss der pH-Wert des Blutes konstant auf 7,4 gehalten werden.

2.1 In der Tabelle 2 sind die pKs-Werte der Aminosäure Phenylalanin angegeben.

Tab. 2: pKs-Werte der Aminosäure Phenylalanin

Name	pKs der COOH-Gruppe	pKs der NH ₃ ⁺ Gruppe
Phenylalanin	1,83	9,13

Beurteilen Sie, ob Phenylalanin (2-Amino-3-phenylpropansäure) Bedeutung für die Pufferung des Blutes haben kann! [3 BE]

- 2.2 Vergleichen Sie die Löslichkeit von Phenylalanin bei pH = 0, pH = 12 und am isoelektrischen Punkt (pH = 5,48) unter Mitverwendung von Strukturformeln! [6 BE]

Das Enzym Carboanhydrase wurde im Labor einer teilweisen Säurehydrolyse unterzogen. Aus dem Hydrolysat können unter anderem Dipeptide abgetrennt werden.

Bei der Röntgenstrukturanalyse der Dipeptid Moleküle können verschieden lange C, N-Bindungen nachgewiesen werden.

Erläutern Sie diese Beobachtung unter Mitverwendung von Strukturformelausschnitten! [6 BE]

2013/B1

- 1.3 Am Ende seiner Entwicklung produziert der Seidenspinner das Enzym Coronase, das Seidenleim abbaut und so das Schlüpfen aus dem Kokon erleichtert.
- 1.3.1 Erklären Sie mithilfe einer Modellvorstellung, weshalb die Cocoonase den Abbau von Seidenleim, nicht jedoch den Abbau von Fibroin katalysiert! [4 BE]
- 1.3.2 Die Textilindustrie versucht Cocoonase, die aus gentechnisch veränderten Bakterien gewonnen wird, als Mittel zum Entbasten der Seide einzusetzen. Zur Untersuchung des Enzyms wird folgende Versuchsreihe durchgeführt:

Ansatz	1	2	3	4	5	6
Masse Seidenleim in g	10	10	10	10	10	10
pH-Wert	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5
Gesamtvolumen in ml	100	100	100	100	100	100
Volumen Cocoonaselösung in ml	10	10	10	10	10	10
Reaktionszeit in min (gemessen ab Zugabe der Cocoonaselösung)	20	20	20	20	20	20

Nach Ablauf der Reaktionszeit werden jeweils 10 ml aus den Reaktionsansätzen entnommen und die Konzentration an gelösten Aminosäuren bestimmt. Jeder einzelne Versuchsansatz wird fünfmal wiederholt. Erläutern Sie, auf welche Fragestellung dieses Experiment eine Antwort geben soll, und begründen Sie, warum jeder Versuchsansatz mehrfach wiederholt wird! [5 BE]

2013/B2

- 1.2 Um den Gehalt an LDL-Partikeln zu verringern, kann medikamentös die Synthese von Cholesterin beeinflusst werden. Hierzu werden häufig Medikamente aus der pharmakologischen Klasse der Statine eingesetzt, die auf das Enzym HMG-CoA-Reduktase wirken. Das folgende Diagramm zeigt die Abhängigkeit der Aktivität der HMG-CoA-Reduktase von der Substratkonzentration mit und ohne Zusatz eines Statins.

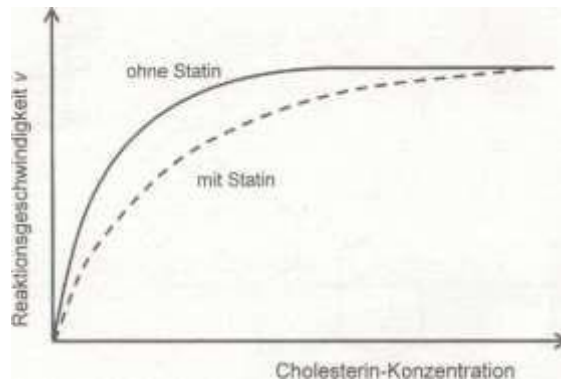


Abb. 2: Abhängigkeit der Aktivität der HMG-CoA-Reduktase von der Cholesterin-Konzentration mit und ohne Zusatz eines Statins

1.2.1 Leiten Sie aus dem Diagramm die Wirkungsweise von Statin ab und begründen Sie Ihre Aussage mithilfe einer Modellvorstellung! [5 BE]

1.2.2 Das Enzym HMG-CoA-Reduktase arbeitet in Leberzellen bei 41 °C. Begründen Sie, wie sich die Aktivität dieses Enzyms in einem Experiment bei einer Temperaturverringerung auf 31 °C bzw. einer Temperaturerhöhung auf 81 °C verändert! [4 BE]

2015/A1

1 Kuhmilch besteht zu über 80 % aus Wasser. Zudem enthält sie etwa 3,4 % Proteine. Der überwiegende Anteil davon gehört zu den Caseinen, die in der Milch große Micellen bilden. Eine besondere Rolle spielt dabei das Kappa-Casein.

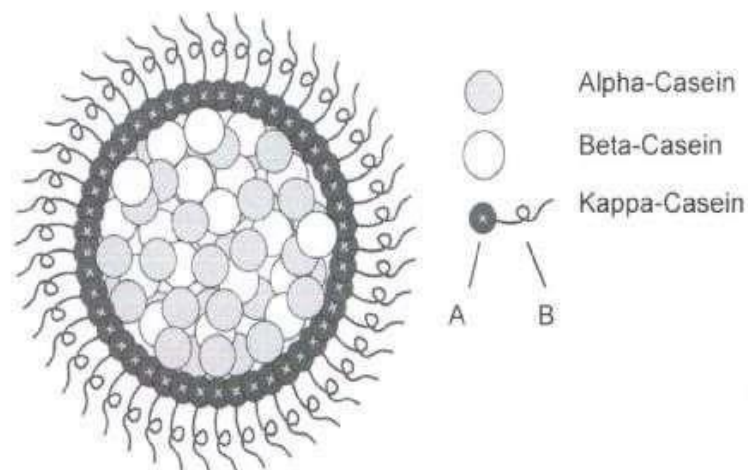


Abb. 1: Modellhafte Darstellung des Querschnitts durch eine Caseinmicelle¹

1.1 Bei der Quarkherstellung wird das Enzym Chymosin aus Kälbermägen zur Milch gegeben. Es spaltet den mit B gekennzeichneten Teil des Kappa-Caseins ab. Nach kurzer Zeit flockt das gesamte Casein aus und kann abgeschöpft werden.

Erläutern Sie, weshalb die Caseinmicellen vor Enzym-Zugabe wasserlöslich sind, und beschreiben Sie, wie die enzymatisch unterstützte Veränderung der

Kappa-Casein Moleküle zum Ausflocken der Proteine aus der Milch führt!

[7 BE]

1.2 Es wurde nach Alternativen zur Verwendung von Chymosin gesucht. Abbildung 2 zeigt das Ergebnis der Untersuchung zweier Proteasen, die ebenfalls zum Ausflocken der Caseine in der Milch verwendet werden können. Hierbei wurden gleiche Mengen von Enzym A aus einem Schimmelpilz und Enzym B aus der Wilden Artischocke verwendet.

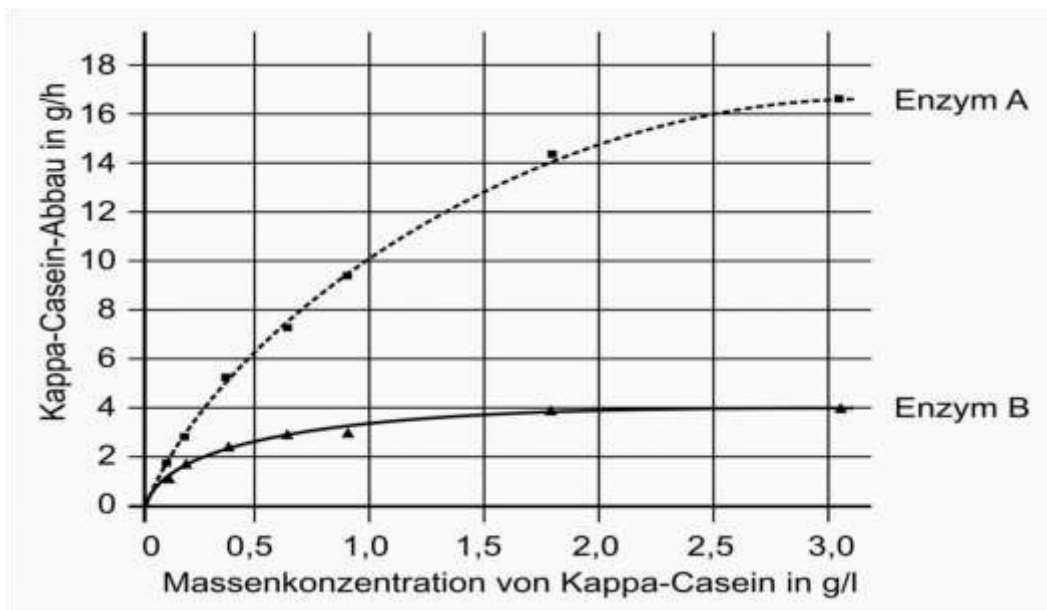


Abb. 2: Abhängigkeit der Enzymaktivität der Enzyme A und B von der Kappa-Casein-Massenkonzentration²

Vergleichen Sie die Abbaugeschwindigkeit der Enzyme A und B bei einer Kappa-Casein-Massenkonzentration von 2,5 g/l und erklären Sie die Auswirkung einer Konzentrationserhöhung des Kappa Caseins um 0,5 g/l auf die Aktivität der beiden Enzyme! [6 BE]

Abbildungen und Tabellen:

¹ verändert nach: C. Phadungath: *Casein micelle structure: a concise review*. In: *Songklanakarın Journal of Science and Technology* (2005) 27, S. 201-212

² verändert nach: J. Ageltos et al.: *Fluorescein thiocarbamoyl-kappa-casein assay for the specific testing of milk-clotting proteases*. In: *Journal of Dairy Science* (2006) 89, S. 3770-3777, S. 3774 ³ verändert nach: Sankyo Lifetech Company Ltd (Hrsg.): *Novel phospholipase A1, process for its preparation and the use thereof*. Patentschrift EP 0 575 133 B2, Tokyo 1993

Milchbestandteile können auch zur Herstellung von Hautcremes verwendet werden. Dazu wird z. B. Lecithin aus der Milch durch das Enzym Phospholipase A1 enzymatisch gespalten. In mehreren Versuchsreihen wurde die Abhängigkeit der Enzymaktivität von der Temperatur und dem pH-Wert der Lösung untersucht.

Das folgende Diagramm zeigt die Untersuchungsergebnisse:

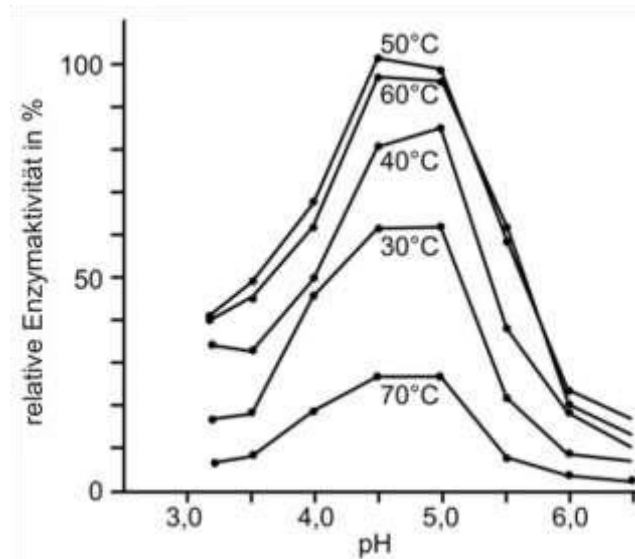


Abb. 5: Abhängigkeit der Enzymaktivität der Phospholipase A1 von pH-Wert und Temperatur³

- 2.1 Erläutern Sie die dargestellte Abhängigkeit der Enzymaktivität vom pH

Wert der Lösung bei einer Temperatur von 30 °C anhand einer Modellvorstellung! [7 BE]

- 2.2 Zeichnen Sie ein vollständig beschriftetes Diagramm der Abhängigkeit der Enzymaktivität von der Temperatur bei pH = 4,5! [4 BE]

2015/A2

2.3 Polyamide können enzymatisch gespalten werden. Forscher haben hierzu eine Polyamidase aus dem Bakterium *Nocardia farcinica* isoliert und deren Eigenschaften untersucht. Das Enzym weist ein Temperaturoptimum von ca. 60 °C und ein pH-Optimum zwischen 10 und 11 auf.

2.3.1 Beschreiben Sie eine Versuchsreihe, mit der das pH-Optimum eines Enzyms ermittelt werden kann! [4 BE]

2.3.2 In einer weiteren Versuchsreihe wurde festgestellt, dass das genannte Enzym neben Polyamiden auch Polyurethane abbauen kann. Eine Spaltung von Polyethen (PE) fand dagegen nicht statt. Stellen Sie unter Mitverwendung von Strukturformelausschnitten eine begründete Hypothese auf, die beide Beobachtungen erklärt! [8 BE]

2016/C1

3.1 In einem Experiment mit zwei Versuchsreihen wirken α - und β -Amylase in getrennten Ansätzen auf Stärkekleister ein. Hierbei wird die Viskosität

(Zähflüssigkeit) des Stärkekleisters in Abhängigkeit von der Einwirkzeit gemessen. Die Ergebnisse sind in folgenden Diagrammen dargestellt:

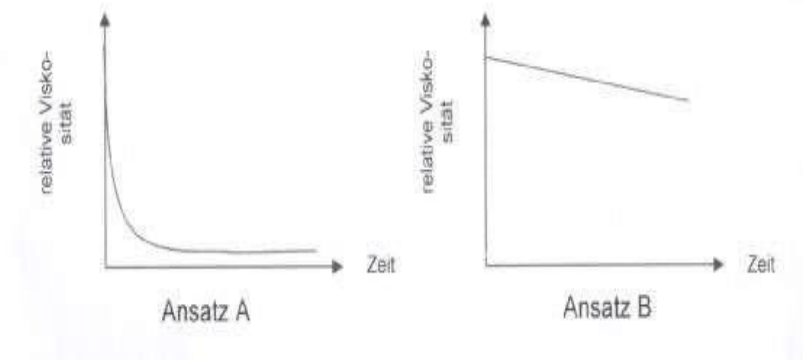


Abb. 4: Viskosität von Stärkekleisterproben, die in getrennten Ansätzen mit α - bzw. β -Amylase behandelt wurden¹

Ordnen Sie den Ansätzen die Enzyme α - und β -Amylase zu und begründen Sie Ihre Zuordnung! [5 BE]

Abbildungen und Tabellen:

1 verändert nach: O. Hoffmann-Ostenhof: *Enzymologie*. Springer Verlag Berlin, 2013, S. 234

3.2 Acarbose wirkt als Hemmstoff auf das Enzym α -Amylase.

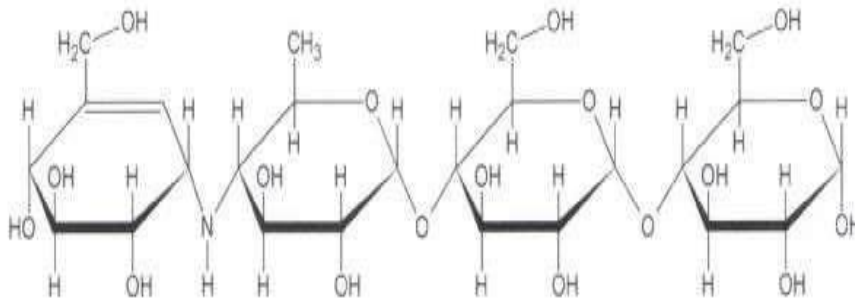


Abb. 5: Strukturformel der Acarbose

Stellen Sie eine Hypothese zur Wirkungsweise der Acarbose auf und skizzieren Sie ein Diagramm, das die Enzymaktivität von α -Amylase in Abhängigkeit der Substratkonzentration mit und ohne Acarbose zeigt! [8 BE]

2016/C2

1.3 Eine weitere Proteinfaser ist Elastin. Das Enzym Elastase katalysiert den Abbau von Elastin Fasern. In einem Experiment wird die Aktivität der Elaste in Abhängigkeit von der Substratkonzentration bestimmt:

Tab. 1: Relative Enzymaktivität der Elaste in Abhängigkeit von der Substratkonzentration²

Substratkonzentration in $\mu\text{mol/l}$	58,3	116,7	233,3	291,7	583,3
relative Enzymaktivität	0,24	0,46	0,72	0,79	0,88

1.3.1 Skizzieren Sie anhand der Daten aus Tabelle 1 ein beschriftetes Diagramm und erläutern Sie den Kurvenverlauf! [9 BE]

1.3.2 In einer weiteren Versuchsreihe wird die Enzymkonzentration halbiert.

Skizzieren Sie den entsprechenden Kurvenverlauf in das Diagramm von

1.3.1 und begründen Sie den veränderten Kurvenverlauf! [4 BE]

2017/A1

- 3 Der Abbau von PHB (Polyhydroxybuttersäure) durch Bakterien wird durch das Enzym PHB-Depolymerase katalysiert. Die folgende Abbildung zeigt die Abhängigkeit der Aktivität der PHB-Depolymerase von der Temperatur.

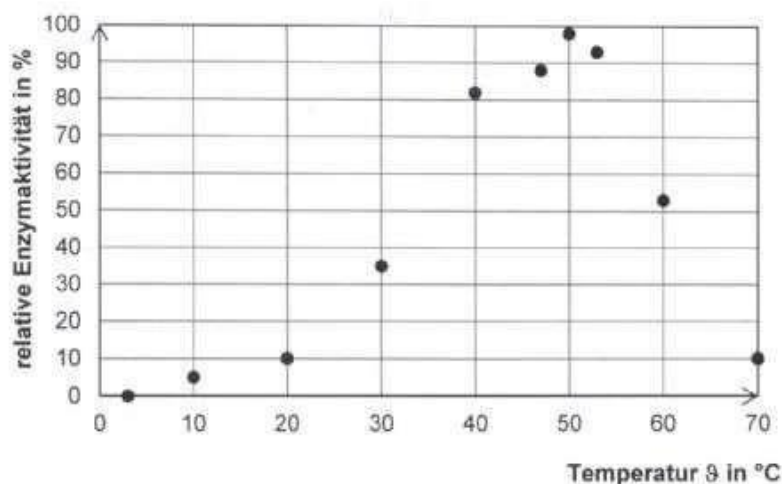


Abb. 3: Temperaturabhängigkeit der Enzymaktivität von PHB-Depolymerase aus *Rhodospirillum rubrum*²

3.1 Erläutern Sie den Zusammenhang zwischen der PHB-DepolymeraseAktivität und der Temperatur im Bereich von 10 $^{\circ}\text{C}$ bis 40 $^{\circ}\text{C}$ auf Teilchenebene. [5 BE]

- 3.2 In einer Versuchsreihe wird der Einfluss von gelösten Salzen auf die Aktivität einer PHB-Depolymerase überprüft.

Tab.: Beeinflussung der Aktivität von PHB-Depolymerase aus *Penicillium expansum* durch verschiedene Chloride³

Salz	Aktivität in %
Quecksilber (II)-chlorid	18
Calciumchlorid	91

Planen Sie die Durchführung einer solchen Versuchsreihe und erläutern Sie das in der Tabelle dargestellte Ergebnis für Quecksilber (II)-chlorid mithilfe einer Modellvorstellung. [11 BE]

- 4 Die Herstellungskosten von PHB liegen momentan noch über denen von erdölbasierten Kunststoffen. Deshalb wird v. a. in den USA an kostengünstigen Herstellungsmöglichkeiten geforscht. Die PHB produzierenden Bakterienstämme werden dabei in Medien aus nachwachsenden Rohstoffen wie Zuckerrohr- oder Maissirup vermehrt. Bewerten Sie die Verwendung von PHB als Alternative für einen erdölbasierten Kunststoff bei ähnlicher technischer Eignung unter Abwägung zweier gesellschaftlich relevanter Werte wie Umweltschutz, Gesundheit, Wohlstand, Würde des Menschen, Bildung, Sicherheit oder Fortschritt. [6 BE]

¹ verändert nach: W. M. Pachekoski; J. A. Marcondes Agnelli; L. P. Belem: *Thermal, mechanical and morphological properties of poly(hydroxybutyrate) and polypropylene blends after processing*. In: *Material Research* (2009) 2 ² verändert nach: R. Handrick, S. Reinhardt, P. Kimmig, D. Jendrossek: *The "Intracellular" Poly(3-Hydroxybutyrate) (PHB) Depolymerase of Rhodospirillum rubrum is a Periplasm-Located Protein with Specificity for Native PHB and with Structural Similarity to Extracellular PHB Depolymerases* <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC523223>, zuletzt aufgerufen am 25.5.2016 ³ V. Gowda U. S., S. Shivakumar: *Poly(-β-hydroxybutyrate) (PHB) depolymerase PHAZ_{Pen} from Penicillium expansum: purification, characterization and kinetic studies* <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4624153>, zuletzt aufgerufen am 25.5.2016

2017/A2

- 2.2 Medikamente zur Behandlung von Verdauungsbeschwerden enthalten heutzutage oft Enzyme aus Reispilzen. Sie haben Medikamente mit Enzymen aus der Bauchspeicheldrüse von Schweinen weitestgehend ersetzt. Viele Enzyme der Pilze sind im Gegensatz zu diesen Verdauungsenzymen sehr säurestabil und können auch im menschlichen Magen wirken.

Erklären Sie anhand einer Modellvorstellung den Wirkungsverlust der Schweineproteasen im sauren Milieu des Magens. [6 BE]

3 Der Reis Pilz *Aspergillus oryzae* bildet ein Enzym, welches Herzgiftglykoside, wie zum Beispiel Digilanid A, hydrolytisch spaltet. Die gleiche Wirkung wird dem Enzym Elaterase zugeschrieben. Das folgende Diagramm zeigt das Ergebnis der enzymatischen Spaltung von Digilanid A mit dem Enzym Elaterase. In einem analogen Experiment soll die Wirksamkeit des Pilzenzyms mit der der Elaterase verglichen werden.

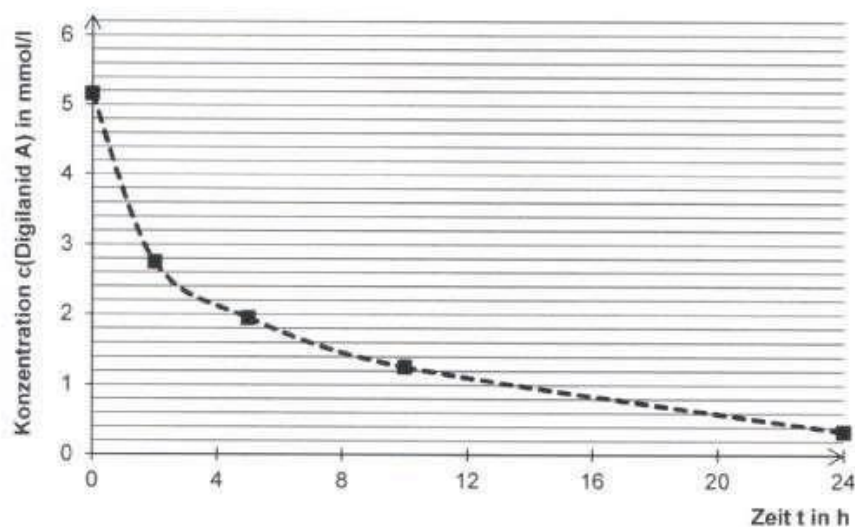


Abb. 2: Verlauf der Hydrolyse von Digilanid-A mit Elaterase¹

Ermitteln Sie mithilfe der Abbildung 2 die mittlere Reaktionsgeschwindigkeit der Hydrolyse von Digilanid A im Zeitraum von 24 Stunden und planen Sie ein Experiment, um die Wirksamkeit des Pilzenzyms im Vergleich zur Elaterase zu untersuchen. [8 BE]

Abbildungen und Tabellen:

¹ verändert nach: P. R. Enslin, S. Rehm: *Die enzymatische Hydrolyse von Herzgiftglykosiden durch Elaterase*. In: *Hoppe-Seyler's Zeitschrift für physiologische Chemie*. (1956)1-2, S. 97–101

2018/C2

3 Neben Speicherproteinen befinden sich im Eiklar auch biologisch aktive Eiweißstoffe wie z.B. das antibakteriell wirksame Enzym Lysozym. Lysozym spaltet das Polymer Murein in der bakteriellen Zellwand und löst diese damit auf. Dabei werden nur die β -1,4-glycosidischen Bindungen zwischen den Murein-Bausteinen N-Acetylmuraminsäure (NAM) und N-Acetylglucosamin (NAG) gespalten:



Abb. 5: Schematischer Ausschnitt aus einem Murein-Molekül. Die Stellen, an denen das Enzym Lysozym Murein spaltet, sind durch gestrichelte Linien gekennzeichnet.

Erklären Sie, inwiefern die beschriebene Arbeitsweise von Lysozym charakteristisch für Enzyme ist. [4 BE]

2019 A1

3 Ananas enthält das proteinspaltende Enzym Bromelain. Setzt man beim Abkühlen einem Wackelpudding frische Ananas zu, so wird die Gelatine nicht richtig fest.

3.1 Beschreiben Sie anhand einer Modellvorstellung die Wirkungsweise von Bromelain. [5 BE]

3.2 Stellen Sie eine begründete Hypothese auf, weshalb Ananas-Stücke aus Konservendosen im Gegensatz zu frischer Ananas das Erstarren der Gelatine nicht verhindern. [4 BE]

2020 C1 grüner Tee

Grüner Tee wird aus den Blättern der Teepflanze hergestellt. Einigen Inhaltsstoffen, z. B. phenolartigen Verbindungen, werden gesundheitsfördernde Wirkungen zugeschrieben.

1.) Ein Phenol-Derivat in grünem Tee ist die Gallussäure (C). Diese kann im Labor aus Protocatechusäure (A) hergestellt werden. Dabei erfolgt im ersten Schritt eine Reaktion mit Brom bei Raumtemperatur zu Verbindung B, die dann in einem weiteren Schritt in Gallussäure umgewandelt wird:

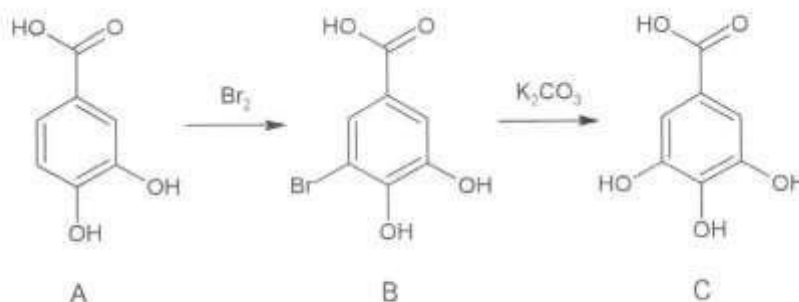


Abb. 1: Reaktionsschema zur Synthese von Gallussäure

1.1 Formulieren Sie den Reaktionsmechanismus für die Synthese von Verbindung B aus

1.2 Das Gallussäure-Molekül kann das Proton der Carboxygruppe auf ein

Wasser-Molekül übertragen. Dabei handelt es sich um eine

Gleichgewichtsreaktion, deren Gleichgewichtskonstante $K_c = 1,33 \cdot 10^{-5}$ beträgt. Formulieren Sie das Massenwirkungsgesetz für diese Reaktion und berechnen Sie das Konzentrationsverhältnis von Gallat-Ionen und Gallussäure-Molekülen bei einem pH-Wert von 5. Die Konzentration von Wasser in wässrigen Lösungen beträgt ca. 55,56 mol/L. [6 BE]

- 1.3 Das Gallat-Ion kann wie das Phenol-Molekül ein weiterer phenolartiger Stoff in grünem Tee ist Epigallocatechingallat (EGCG), bei dem man vereinfacht annehmen kann, dass er ein kompetitiver Hemmstoff der 11 β -Hydroxysteroid Dehydrogenase 1 ist. Dieses Enzym katalysiert die Umwandlung von Cortison zu Cortisol. Cortisol spielt u. a. eine Rolle bei Stressreaktionen im menschlichen Körper. In einer Versuchsreihe wurde die Wirkung von EGCG auf die 11 β Hydroxysteroid-Dehydrogenase 1 untersucht. Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse des Experiments:

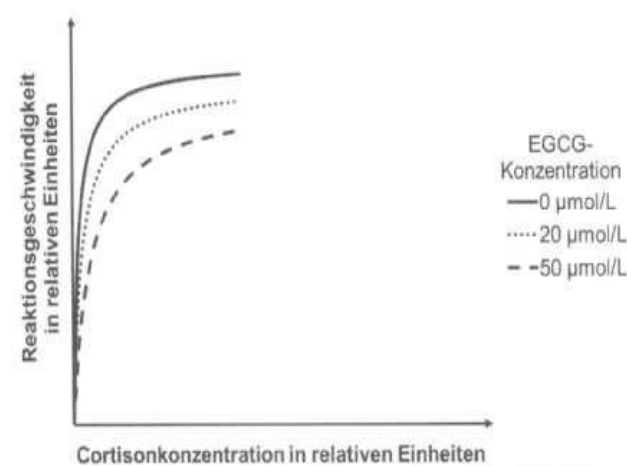


Abb. 2: Ergebnisse der Versuchsreihe¹

1 verändert nach: J. Hintzpeter et al.: Green tea and one of its constituents, Epigallocatechine-3- gallate, are potent inhibitors of human 11 β -hydroxysteroid dehydrogenase type 1. In: PLoS ONE, Nr. 9 (1) (2015)

Zeichnen Sie in Abbildung 2 die zu erwartende Entwicklung der Kurvenverläufe bei weiterer Steigerung der Cortison Konzentration ein. Erklären Sie die Wirkungsweise von EGCG anhand einer geeigneten Modellvorstellung. [7 BE]

2020 C2

- 3 Mehlwürmer können Polystyrol teilweise verdauen. Eine Rolle in diesem Prozess spielt das Bakterium *Rhodococcus* sp., welches in deren Darm vorkommt. Dieses ist in der Lage, Styrol mittels des Enzyms Styrol Monooxygenase (SMO) abzubauen. Die folgende Tabelle und Abbildung 7 zeigen einige experimentell ermittelte Daten zu diesem Enzym:

Tab.: Enzymaktivität von SMO für verschiedene Substrate bei

$$c(\text{Substrat}) = 2,5 \text{ mmol/L}^5$$

5 entnommen aus: H. Toda et al.: Expression and characterization of styrene monooxygenases of *Rhodococcus* sp. ST-5 and ST-10 for synthesizing enantiopure (S)-epoxides. In: Applied Microbiology and Biotechnology, Nr. 96 (2012), S. 416

Substrat	Styrol	Hex-1-en	Oct-1-en
Enzymaktivität in%	100	45,4	0,2

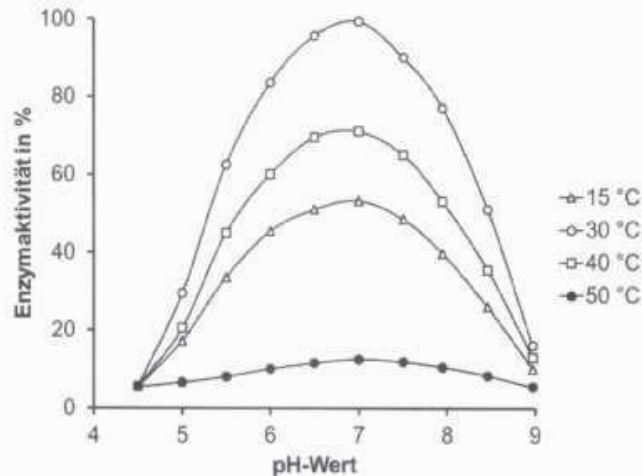


Abb. 7: Temperatur- und pH-Abhängigkeit der Enzymaktivität von SMO⁶

6 verändert nach: H. Toda et al.: Expression and characterization of styrene monooxygenases of *Rhodococcus* sp. ST-5 and ST-10 for synthesizing enantiopure (S)-epoxides. In: Applied Microbiology and Biotechnology, Nr. 96 (2012), S. 414

- 3.1 Erklären Sie die in der Tabelle angegebenen Enzymaktivitäten anhand eines geeigneten Modells. [5 BE]
- 3.2 Erklären Sie unter Verwendung von Abbildung 7 den Zusammenhang zwischen der Enzymaktivität und der Temperatur. [6 BE]

2021 C 1 Brom

Brom kommt in der Natur nicht elementar vor. Jedoch finden sich im Meerwasser gelöste Bromide.

- 1 Einige Algenarten besitzen das Enzym Bromidperoxidase, mit dessen Hilfe sie Kohlenwasserstoffe bromieren und dadurch z. B. Brommethan bilden können.
 - 1.1 Bei dieser katalysierten Reaktion reagieren zunächst Bromid-Ionen mit Wasserstoffperoxid-Molekülen zu Molekülen der Hypobromigen Säure (HOBr) und Hydroxid-Ionen.
Formulieren Sie die Redoxgleichung mit Teilgleichungen. [5 BE]

- 1.3 Mehrere Bromidperoxidase-Proben einer Rotalge aus der Gattung *Gracilaria* werden in einer Versuchsreihe zunächst auf unterschiedliche Temperaturen (Inkubationstemperaturen) erwärmt. Nach dem Abkühlen wird bei Raumtemperatur jeweils die relative Aktivität der Bromidperoxidase gemessen (Abb. 1):

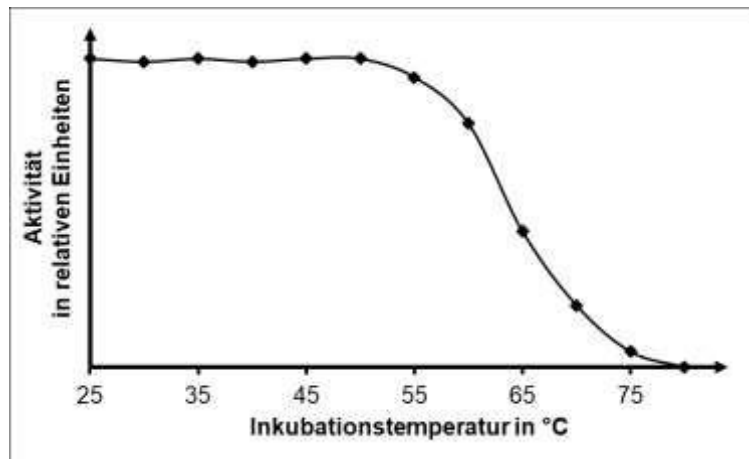


Abb. 1: Temperaturstabilität der Bromidperoxidase aus Algen der Gattung *Gracilaria*

- 1.2.1 Erklären Sie den in Abbildung 1 angegebenen Kurvenverlauf anhand des räumlichen Baus von Protein-Molekülen. [6 BE]
- 1.2.2 Zeichnen Sie auf Grundlage der in Abbildung 1 dargestellten Daten ein Diagramm, das die Reaktionsgeschwindigkeit der Bildung von Hypobromiger Säure durch die Bromidperoxidase von Algen der Gattung *Gracilaria* bei Temperaturen zwischen 25 °C und 80 °C darstellt. Begründen Sie den Kurvenverlauf Ihres Diagramms. [6 BE]
- 2 Andere Meeresorganismen besitzen eine Halogenase. Dieses Enzym katalysiert folgende Reaktion (Abb. 2):



Abb. 2: Reaktionsschema der Bromierung von Indol zu 3-Bromindol

2.1 Tabelle 1 zeigt den zeitlichen Verlauf der enzymatisch katalysierten Bromierung von Indol:

Tab. 1: Konzentration von 3-Bromindol in Abhängigkeit von der Zeit²

Zeit in min	0	5	10	15	20	25
Konzentration von 3Bromindolin mmol/L	0	0,008	0,024	0,045	0,050	0,050

Zeichnen Sie anhand der Daten in der Tabelle 1 ein Konzentrations-Zeitdiagramm und bestimmen Sie daraus die momentane Reaktionsgeschwindigkeit bei $t = 15$ Minuten sowie die mittlere Reaktionsgeschwindigkeit über den Zeitraum zwischen 5 und 15 Minuten. [8 BE]

2.2 Die Halogenase dieser Meeresorganismen katalysiert nicht nur Bromierungs-, sondern auch Chlorierungsreaktionen. Tabelle 2 zeigt die Konzentrationen von Chlorid- und Bromid-Ionen in Meerwasser:

Tab. 2: Massenkonzentrationen von Chlorid und Bromid in Meerwasser³

Ion	Chlorid	Bromid
Massenkonzentration in Meerwasser in Promille	19,345	0,066

Bei den durch diese Halogenase katalysierten Reaktionen entstehen mehr Bromverbindungen als Chlorverbindungen. Stellen Sie anhand einer Modellvorstellung zur Wirkungsweise von Enzymen eine Hypothese zur Erklärung dieses Sachverhalts auf. [6 BE]

2.3 Mithilfe eines Experiments soll der Proteincharakter der Halogenase gezeigt werden. Nennen Sie eine geeignete Nachweisreaktion und beschreiben Sie deren Durchführung und die Beobachtung bei positivem Verlauf. [4 BE]

Abbildung und Tabellen:

¹ verändert nach: https://www.researchgate.net/figure/Thermostability-of-the-bromoperoxidase-Samples-of-the-enzymes-were-incubated-in-buffer_fig4_228491742, zuletzt aufgerufen am 23.10.2020

² entnommen aus:

<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0196797>, zuletzt aufgerufen am 23.10.2020

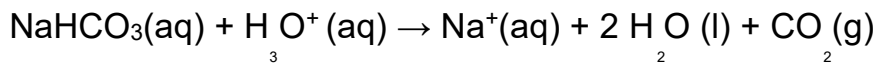
³ entnommen aus:

<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0196797>, zuletzt aufgerufen am 23.10.2020

2021 C 2 Süßes Hefegebäck

Bäckereien bieten eine Vielzahl an süßen Hefegebäckstücken an. Die eingesetzte Hefe sorgt durch Produktion von Kohlenstoffdioxid für das Aufgehen des Teigs vor dem Backen.

- 1 Die Hefe bildet mithilfe verschiedener Enzyme aus Glucose durch alkoholische Gärung die Produkte Ethanol und Kohlenstoffdioxid. Alternativ kann zur Teiglockerung auch Backpulver eingesetzt werden, das über-wiegend Natriumhydrogencarbonat (NaHCO₃) enthält. Im feuchten Teig findet dabei folgende Reaktion statt:



- 1.1 Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die alkoholische Gärung. Leiten Sie für die beiden oben genannten Prozesse der Teiglockerung ab, ob es sich um Redoxreaktionen handelt. [6 BE]
- 1.2 In einer Versuchsreihe wird Teig mit Hefe als Treibmittel, in einer anderen Versuchsreihe Teig mit Backpulver als Treibmittel angesetzt. Es werden beide Teigsorten in gleich große Proben aufgeteilt. Diese werden bei verschiedenen Temperaturen aufbewahrt. Nach einer bestimmten Zeit wird jeweils die Volumenzunahme der Proben bestimmt. Das Diagramm in Abbildung 1 zeigt mögliche Versuchsergebnisse:

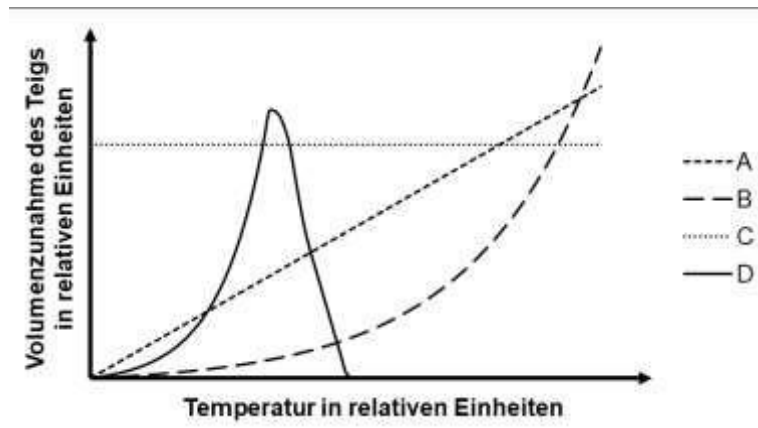


Abb. 1: Mögliche Versuchsergebnisse beim Aufgehen von Teig mit Hefe bzw. Backpulver

Ordnen Sie die beiden Versuchsreihen jeweils begründet einer der Kurven A, B, C oder D zu. [6 BE]

2 Zu den Enzymen der Hefen gehören Peroxidasen, die reaktive Sauerstoffverbindungen unschädlich machen.

2.1 Die Katalase ist eine Peroxidase. Sie katalysiert die Reaktion von Wasserstoffperoxid zu Sauerstoff und Wasser.

In einer Versuchsreihe werden verschiedene Reagenzgläser jeweils mit Katalase und unterschiedlichen Mengen an Wasserstoffperoxid-Lösung und Wasser bestückt (Tab. 1). Nach einer bestimmten Zeit wird das Volumen an gebildetem Sauerstoff mittels der Höhe der neu entstandenen Schaumkrone abgeschätzt (Abb. 2)



Abb. 2: Schematische Darstellung des Versuchs

Tab.1: Versuchsreihe und Messergebnisse

Reagenzglas	Katalase Lösung in ml	Wasserstoff- Peroxid Lösung In ml	Destilliertes Wasser in ml	Höhe der Schaumkrone in cm
1	2	7	0	2,6
2	2	6	1	2,6
3	2	5	2	2,6
4	2	4	3	1,8
5	2	3	4	1,5
6	2	2	5	0,6
7	2	1	6	0,1

Formulieren Sie eine naturwissenschaftliche Fragestellung, die man mit diesem Experiment prüfen kann. Erklären Sie die Messergebnisse anhand einer Modellvorstellung. [7 BE]

2022

A 1 Spinnenseide

Spinnenseide ist stabiler als Stahl und dehnbarer als Gummi.

Hauptverantwortlich für diese Eigenschaften sind Proteine, die in den Spinndrüsen der Spinnen produziert werden. Künstliche Spinnfäden finden u. a. im medizinischen Bereich Anwendung.

1 Während der Herstellung von Spinnenseide kommt es zu einem Absinken des pH-Werts. Verantwortlich dafür ist das Enzym Carboanhydrase, dass die Reaktion von Kohlenstoffdioxid mit Wasser zu Kohlensäure ($\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$) katalysiert.

1.1 Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die beschriebene Reaktion und begründen Sie das daraus resultierende Absinken des pH-Werts. [4 BE]

1.2 Skizzieren Sie ein Diagramm, das die Abhängigkeit der Carboanhydrase-Aktivität von der Kohlenstoffdioxid-Konzentration zeigt, und erläutern Sie den Kurvenverlauf. [7 BE]

1.3 Die Aktivität der Carboanhydrase ist abhängig vom pH-Wert:

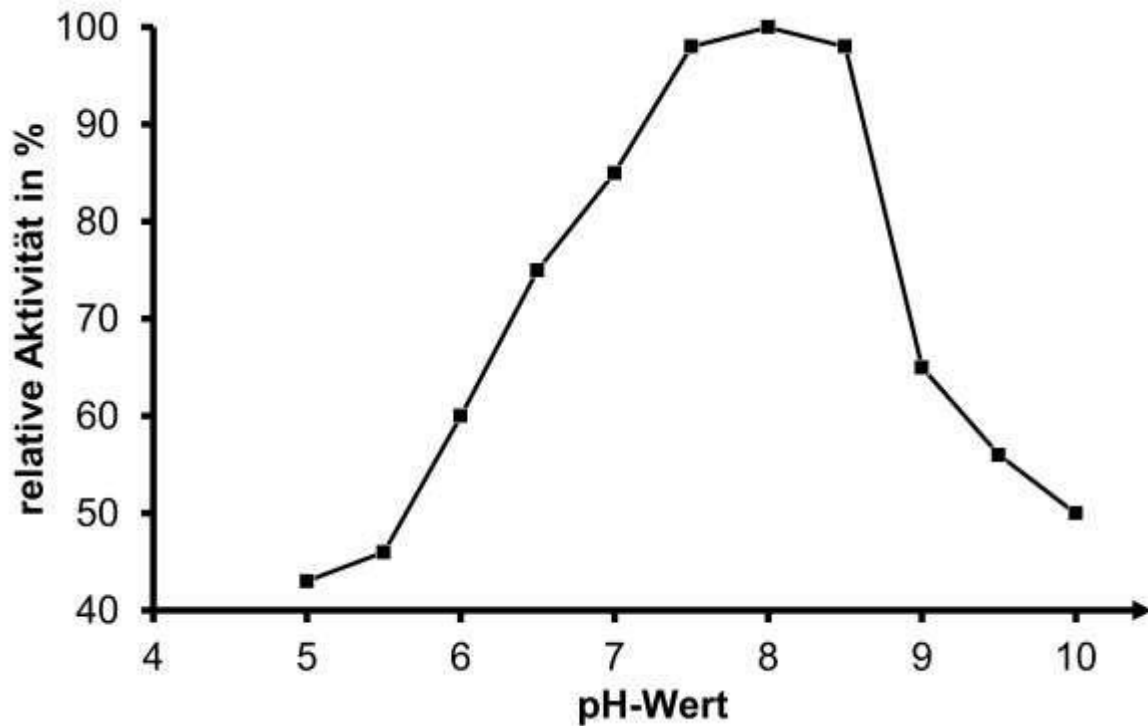


Abb. 1: Aktivität der Carboanhydrase in Abhängigkeit vom pH-Wert ¹

Um die maximale Aktivität der Carboanhydrase zu erreichen, benötigt man ein Puffersystem.

Um die maximale Aktivität der Carboanhydrase zu erreichen, benötigt man ein Puffersystem

Tab.: Ausgewählte Puffersysteme und pK_s-Werte der zugehörigen Säuren

Puffersystem pK_s-Wert der Säure

Dihydrogenphosphat/Hydrogenphosphat-Puffer

(H₂PO₄⁻ /HPO₄²⁻) 7,21

Ameisensäure/Formiat-Puffer

(Methansäure/Methanoat-Puffer) 3,77

Essigsäure/Acetat-Puffer

In einer Versuchsreihe soll die Carboanhydrase im Bereich ihrer maximalen Aktivität untersucht werden.

Puffersystem	Pks Wert
Dihydrogenphosphat/Hydrogenphosphat Puffer (H ₂ PO ₄ ⁻ /HPO ₄ ²⁻) 7,21	7,21

Ameisensäure/Formiat-Puffer (Methansäure/Methanoat-Puffer)	3,77
(Ethansäure/Ethanoat-Puffer)	4,75

Leiten Sie aus Abbildung 1 und der Tabelle ein geeignetes Puffersystem ab. Berechnen Sie das Konzentrationsverhältnis von Base und korrespondierender Säure, das für die Aufrechterhaltung des optimalen pH-Werts erforderlich ist. [7 BE]

2022 A2 Antibiotika

Antibiotika sind Wirkstoffe in Arzneimitteln, die bei bakteriellen Infektionskrankheiten eingesetzt werden. Sie beeinflussen Stoffwechselprozesse von Bakterien und verhindern so ihre Vermehrung.

- Das Antibiotikum Sulfamethoxydiazin (Abb. 1) stört die Synthese der für die Bakterien lebensnotwendigen Folsäure. Bakterien stellen Folsäure mithilfe des Enzyms Dihydropteroat-Synthase aus 4-Aminobenzoessäure her.

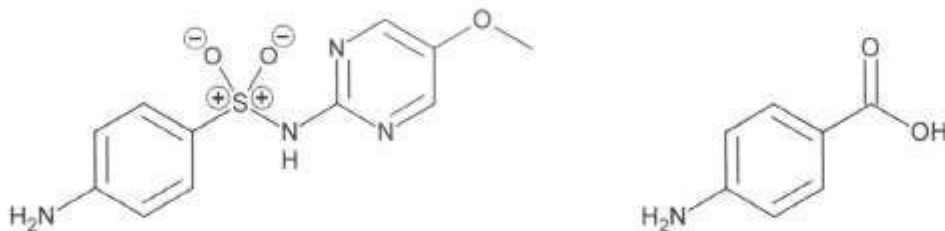


Abb. 1: Strukturformeln von Sulfamethoxydiazin (links) und 4-aminobenzoessäure (rechts)

Stellen Sie auf Grundlage der Strukturformeln von Sulfamethoxydiazin und 4-Aminobenzoessäure eine Hypothese zum Wirkmechanismus dieses Antibiotikums auf. Beschreiben Sie die Wirkungsweise anhand einer modellhaften Darstellung. [6 BE]

Stellen Sie auf Grundlage der Strukturformeln von Sulfamethoxydiazin und 4-Aminobenzoessäure eine Hypothese zum Wirkmechanismus dieses Antibiotikums auf. Beschreiben Sie die Wirkungsweise anhand einer modellhaften Darstellung. [6 BE]

- Wird bei der Milchviehhaltung zur Vorbeugung von Krankheiten das Antibiotikum Penicillin verabreicht, so kann es auch in die Milch gelangen.

Abb. 2: Abbau von Penicillin durch β -Lactamase₁ (Hinweis: U/mL ist eine enzymspezifische Einheit für die Konzentration.)

2.1 Planen Sie eine Versuchsreihe, mit der man die in Abbildung 2 dargestellten

Werte ermitteln kann. [4 BE]

Abbaus bei einer β -Lactamase-Konzentration von 10 U/ml. [4 BE]

2.2 Begründen Sie den Kurvenverlauf mithilfe der Stoßtheorie. [4 BE]

2.3 Berechnen Sie die mittlere Reaktionsgeschwindigkeit des Penicillins

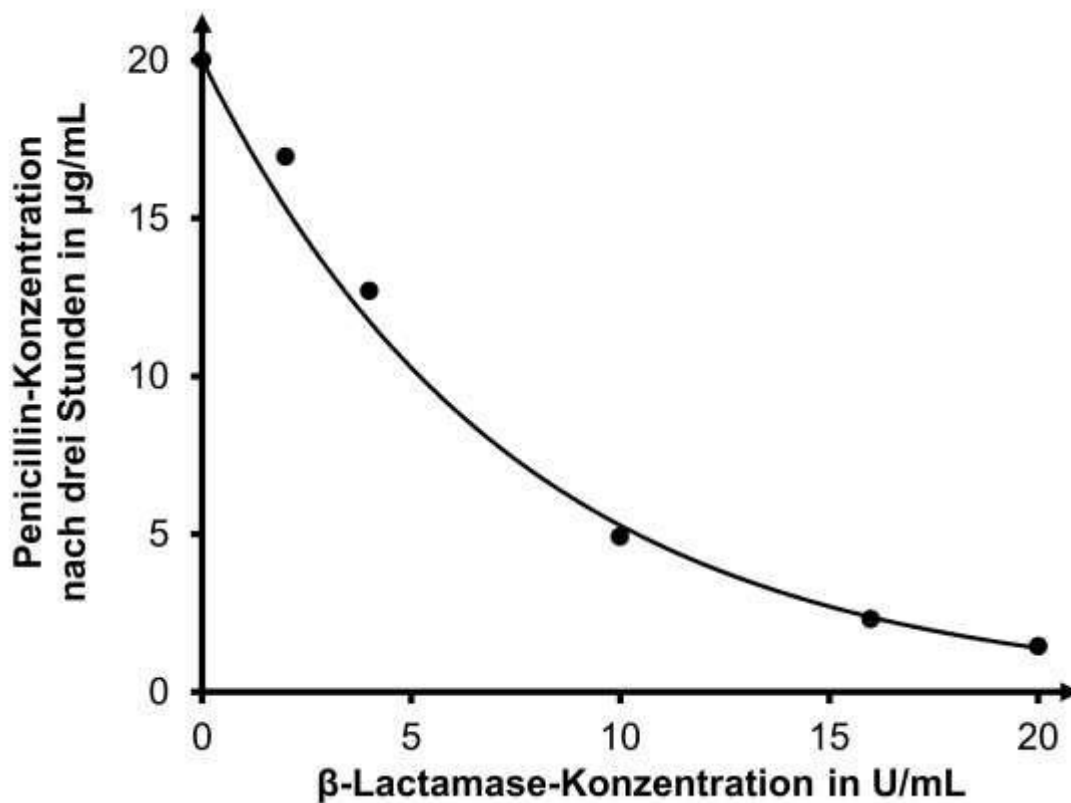


Abb. 2: Abbau von Penicillin durch β -Lactamase₁ (Hinweis: U/ml ist eine enzymspezifische Einheit für die Konzentration.)

2.1 Planen Sie eine Versuchsreihe, mit der man die in Abbildung 2 dargestellten Werte ermitteln kann. [4 BE]

2.2 Begründen Sie den Kurvenverlauf mithilfe der Stoßtheorie. [4 BE]

2.3 Berechnen Sie die mittlere Reaktionsgeschwindigkeit des Penicillin Abbaus bei einer β -Lactamase-Konzentration von 10 U/ml. [4 BE]

2023 A1 Biolumineszenz

Einige Lebewesen, zum Beispiel Glühwürmchen und Leuchtkrebse, können durch Biolumineszenz Licht erzeugen. Das Leuchten basiert auf der Umsetzung von

sogenannten Luciferinen, die durch bestimmte Enzyme, die Luciferasen, katalysiert wird.

Für die Funktion der Luciferasen spielt deren räumlicher Bau eine wichtige Rolle. Abbildung 1 zeigt die modellhafte Darstellung eines Ausschnittes aus einem Luciferase-Molekül.

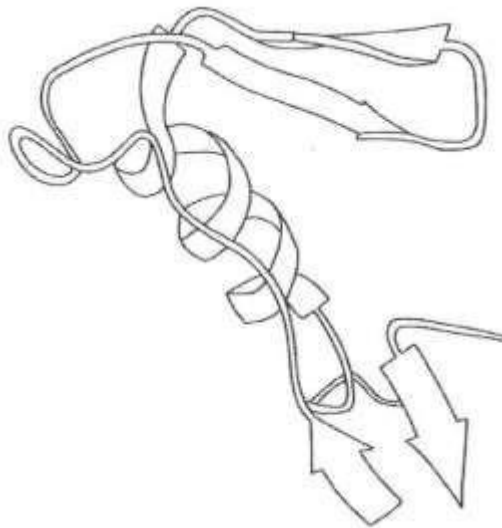


Abb. 1: Modellhafte Darstellung eines Ausschnittes aus einem Luciferase-Molekül₁

Benennen Sie die in Abbildung 1 dargestellten Sekundärstrukturen
vergleichen Sie deren Stabilisierung. [6BE]

- 2 Das Luciferin/Luciferase-System wird in der Analytik eingesetzt, um das Biomolekül ATP in kleinsten Mengen nachweisen zu können. Bei der Messung wird die folgende Reaktion genutzt.

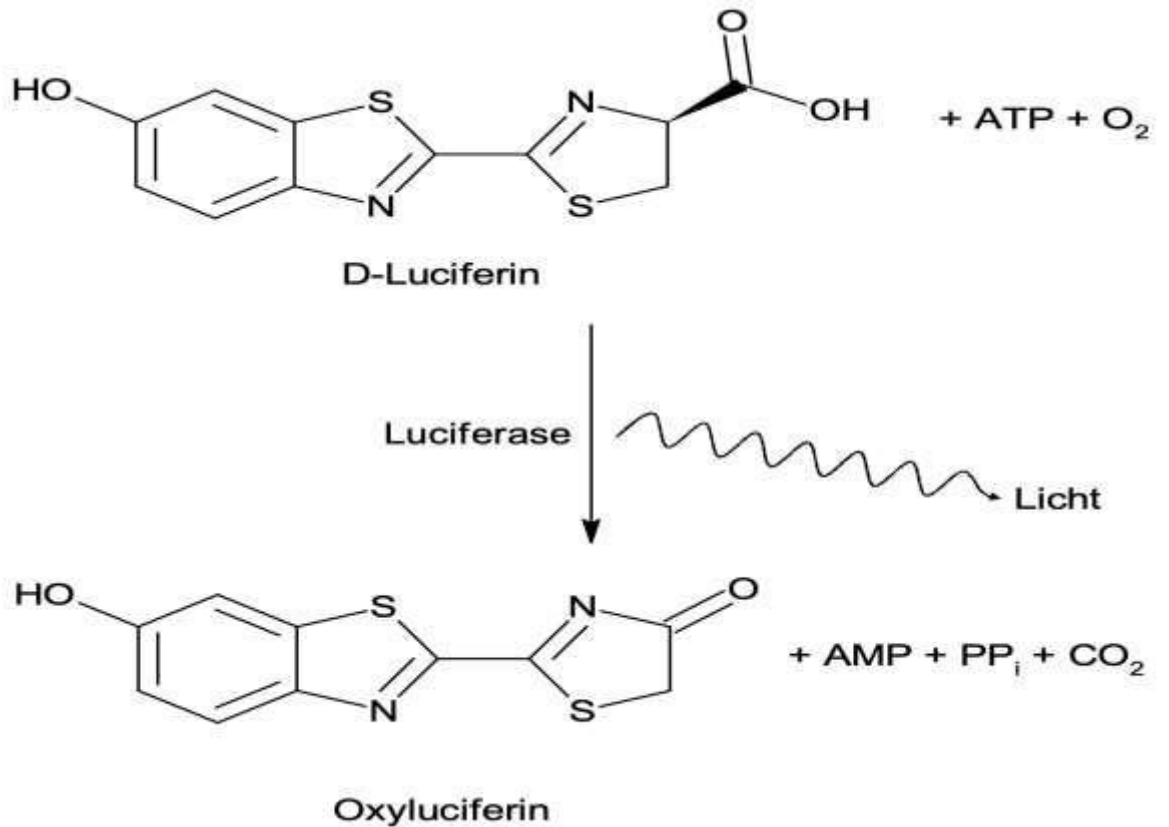


Abb. 2: Schema der Luciferin/Luciferase-Reaktion²

- 2.1 Luciferasen, die in der Analytik eingesetzt werden, müssen vor ihrer Verwendung auf ihre Aktivität hin untersucht werden. In einer Versuchsreihe wird die Abhängigkeit der Enzymaktivität einer Luciferase von der Konzentration des D-Luciferins geprüft:

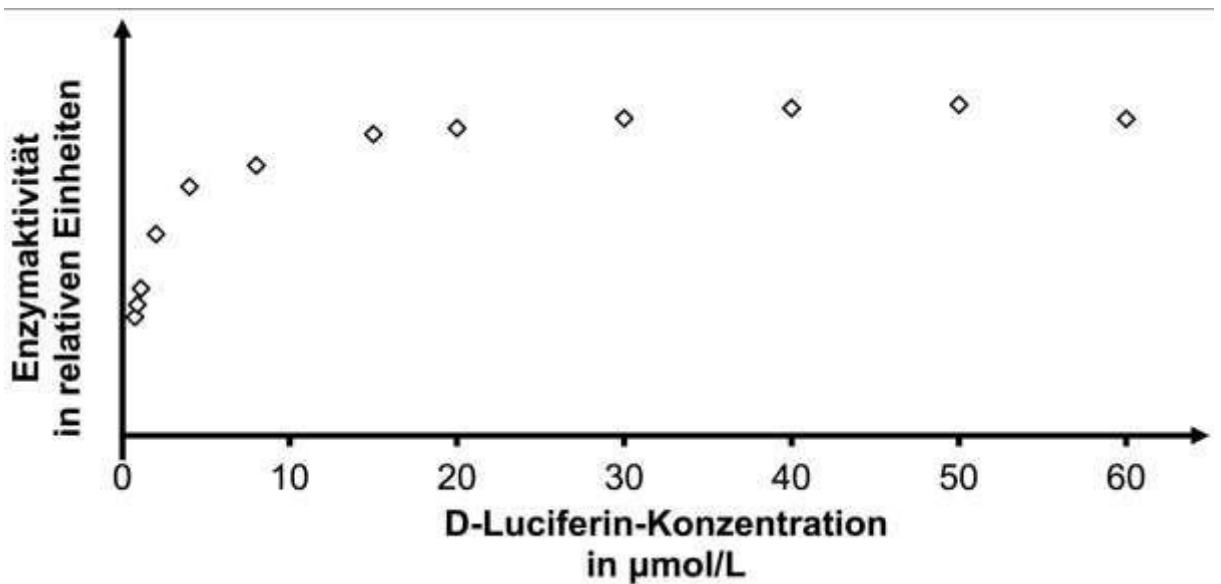


Abb. 3: Ergebnisse der Versuchsreihe zur Abhängigkeit der Aktivität einer Luciferase von der Konzentration des D-Luciferins³

2.1.1. Erklären Sie die Ergebnisse der Versuchsreihe. [5BE]

2.1.2. Ein für das Luciferin/Luciferase-System geeigneter Hemmstoff ist Luziferin (Abb. 4).

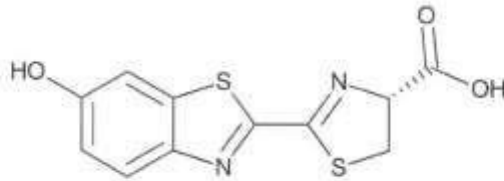


Abb. 4: Strukturformel von L-Luciferin

Beschreiben Sie die stereochemische Beziehung von D- und L-Luciferin. Stellen Sie eine Hypothese zur Art der hemmenden Wirkung von L-Luciferin auf. Zeichnen Sie davon ausgehend in Abbildung 3 die zu erwartende Messergebnisse ein, wenn die Versuchsreihe mit Zusatz einer konstanten Menge L-Luciferin unter ansonsten gleichen Bedingungen durchgeführt wird. [7BE]

2.2 Gibt man zu einem Pulver aus getrockneten Leuchtkrebse Wasser, wird die durch Luciferase katalysierte Leuchtreaktion in Gang gesetzt. In einer Versuchsreihe wird der Einfluss verschiedener Faktoren auf die Biolumineszenz von Leuchtkrebspulver untersucht. Folgende Tabelle beinhaltet Informationen zu den einzelnen Versuchsansätzen:

Tab: Versuchsreihe zur Biolumineszenz mit Leuchtkrebspulver

Versuch	1	2	3
Masse	25 mg	25 mg	25 mg
Leuchtkrebspulver			
zugegebene Flüssigkeit	2 ml Wasser	2 ml Kupfersulfat-Lösung	2 ml Wasser
Temperatur	22 °C	22 °C	100 °C
Beobachtung	Aufleuchten	kein Aufleuchten	kein Aufleuchten

Erklären Sie die Beobachtungen bei Versuch 2 und 3 anhand einer Modellvorstellung. [5BE]

Quellen:

¹Bank, R. P. D. 3D PFV: 1VPR. <https://www.rcsb.org/3d-sequence/1VPR?assemblyId=1>

²Man, T. P. Luciferase Reporter Assays: An Overview.

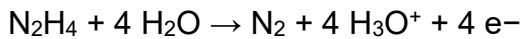
<https://info.gbiosciences.com/blog/luciferasereporter-assays>

³Pozzo, T., Akter, F., Nomura, Y., Louie, A. Y. & Yokobayashi, Y. (2018). Firefly Luciferase Mutant with Enhanced Activity and Thermostability. ACS Omega, 3(3), 2628–2633.

2024 A 1 Anammox-Bakterien

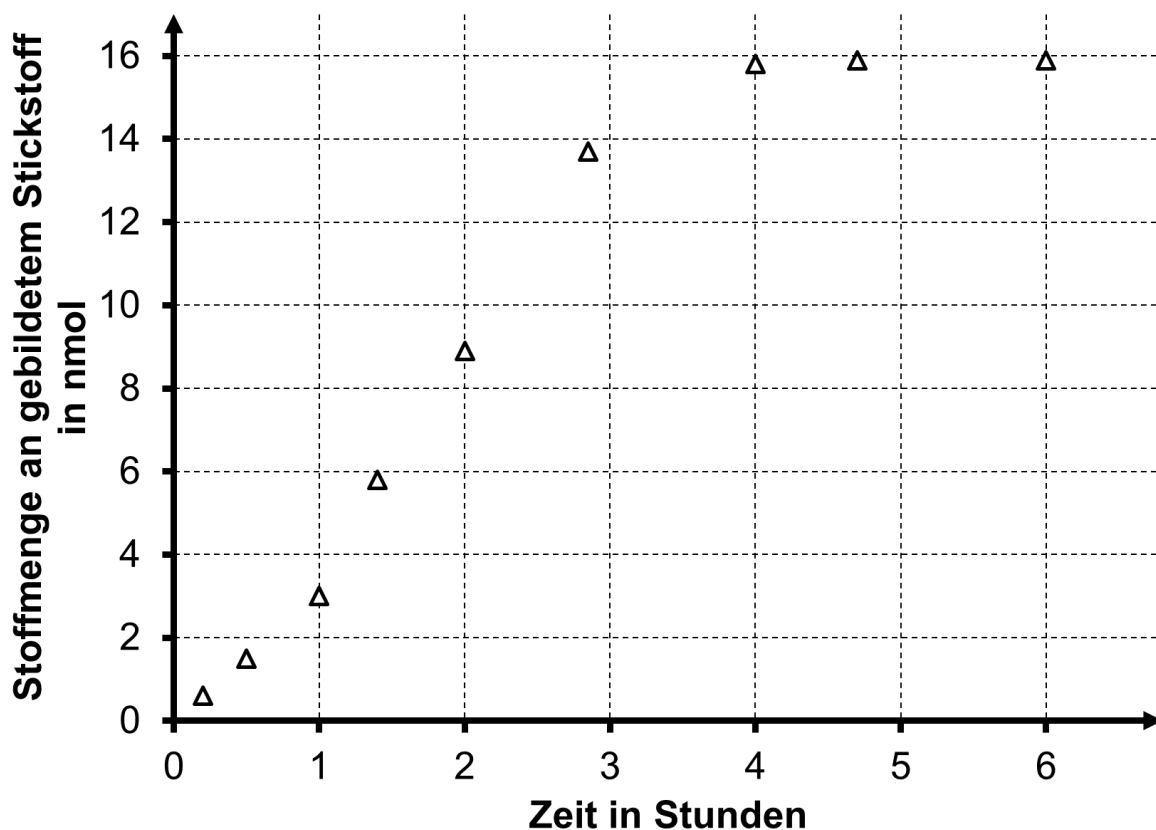
Stickstoff-Verbindungen werden in Klaranlagen durch Bakterien abgebaut. Anammox-Bakterien konnten in diesem Zusammenhang zukünftig eine Rolle spielen, da sie Ammonium-Salze über das giftige Zwischenprodukt Hydrazin zu Stickstoff umsetzen können.

1 Das als Zwischenprodukt auftretende Hydrazin (N_2H_4) wird mithilfe des Enzyms Hydrazin-Dehydrogenase (HDH) zu Stickstoff umgesetzt:



1.1 Zur Bestimmung der Aktivität der HDH wurde eine bestimmte Menge dieses Enzyms mit einem Hydrazin haltigen Lösung versetzt. Das Experiment wurde in einer Atmosphäre aus 97,5 % Argon und 2,5 % Wasserstoff durchgeführt. Nach festgelegten Zeitabständen wurde jeweils die Stoffmenge an gebildetem Stickstoff bestimmt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 1 dargestellt:

Abb



.Abb. 1: Stoffmenge an gebildetem Stickstoff im Verlauf des Experiments 1

1.1.1 Ermitteln Sie unter Verwendung von Abbildung 1 die momentane Reaktionsgeschwindigkeit bei $t = 2 \text{ h}$ und die durchschnittliche Reaktionsgeschwindigkeit während der ersten vier Stunden. [6 BE]

1.1.2 Ein zweites Experiment wurde bei ansonsten gleichen Bedingungen in einer Atmosphäre aus 100 % Ethin durchgeführt. Die Reaktion im zweiten Experiment lief deutlich langsamer ab. Eine Erhöhung der Hydrazin-Konzentration konnte die verminderte Reaktionsgeschwindigkeit nicht ausgleichen.

Stellen Sie anhand einer Modellvorstellung eine Hypothese zur Erklärung der veränderten Reaktionsgeschwindigkeit der von HDH

katalysierten Reaktion bei Anwesenheit von Ethin auf. [5 BE]

1.2 Das giftige Hydrazin tritt in den Anammox-Bakterien nur in speziellen abgegrenzten Zellbereichen auf. Das HDH-Molekül besitzt einen speziellen Proteinabschnitt (Abb. 2), der die Aufnahme in diese Bereiche ermöglicht.

MRKFLKVTLASALIGCGVIGTV...

Abb. 2: Aminosäuresequenz des HDH-Proteinabschnitts im Einbuchstabencode

Tab.1: Einbuchstabencode, Trivialname und systematischer Name ausgewählter Aminosäuren

Einbuchstabencode	Trivialname	Systematischer Name
A	Alanin	2 Aminopropansäure
G	Glycin	Aminoethansäure
I	Isoleucin	2 -Amino-3-methyl-pentansäure
L	Leucin	2 -Amino-4-methyl-pentansäure
S	Serin	2-Amino-3-Hydroxy propansäure

1.2.1 Zeichnen Sie den Strukturformelausschnitt für den in Abbildung 2 hervorgehobenen Bereich der Aminosäuresequenz mithilfe von Tabelle 1. [4 BE]

1.2.2 Beschreiben Sie die Durchführung und die Beobachtung eines Experiments, mit dem der Proteincharakter des Enzyms HDH gezeigt werden kann. [4 BE]

2 Um die Menge des in Bakterien enthaltenen Hydrazins (N_2H_4 , $pK_{B1} = 6$, $pK_{B2} = 15$) bestimmen zu können, wird es zunächst isoliert. Eine solche aus Bakterien gewonnene wässrige Hydrazin-Lösung ($V(N_2H_4) = 30 \text{ mL}$) wird mit Salzsäure ($c(HCl) = 0,5 \text{ mol/L}$) titriert. Bis zum Erreichen des ersten Äquivalenzpunkts werden 6 mL Salzsäure verbraucht.

2.1 Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für diese Titration und berechnen Sie die Konzentration an Hydrazin zu Beginn der Titration. [6 BE]

2.2 führt man bei Titrationskontinuierlich Messwernerfassungen durch, können diese Messwerte in Titrationskurven dargestellt werden.

Abbildung 3 zeigt die Titrationskurven von drei verschiedenen Titrations.

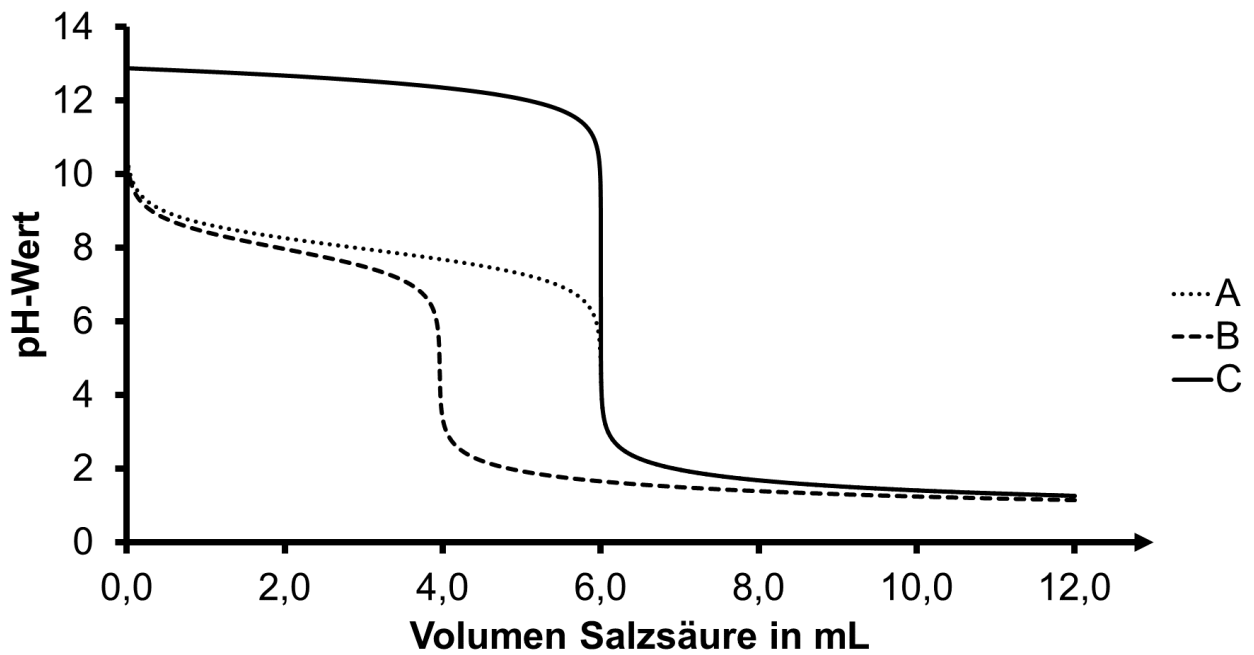


Abb. 3: Titrationskurven von drei verschiedenen Titrations

Ordnen Sie der oben beschriebenen Titration von Hydrazin mit Salzsäure eine der Kurven begründet zu. [5 BE]

3 In herkömmlichen Klaranlagen werden Bakterien eingesetzt, die zum Abbau von Stickstoffverbindungen Sauerstoff benötigen. Um den Sauerstoff im Abwasser in ausreichendem Maße anzureichern, müssen elektrisch betriebene Umwälzpumpen eingesetzt werden. Bei Verwendung von Anammox-Bakterien sind diese nicht notwendig. Bei beiden Prozessen kann aus dem anfallenden Klarschlamm Strom erzeugt werden.

In Studien wurden beide Verfahren hinsichtlich der freigesetzten Gase sowie der entnommenen und eingespeisten elektrischen Energie verglichen.

Tab. 2: Vergleich des herkömmlichen und des Anammox-Verfahrens hinsichtlich der Emission ausgewählter Gase bezogen auf 1 m³ gereinigten Abwassers²

Formeln der freigesetzten Gase	Emissionen in Gramm	
	herkömmliches Verfahren	Anammox-Verfahren
CH ₄	0,7	0,2
N ₂ O	0,3	1,0
NO ₂	0,001	0,001
CO	0,8	0,8
CO ₂	550,0	520,0
SO ₂	0,07	0,07

Tab. 3: potenzieller Beitrag verschiedener Gase zum Treibhauseffekt in relativen Einheiten

Gas	Formel	potenzieller Beitrag zum Treibhauseffekt in relativen Einheiten
Kohlenstoffdioxid	CO ₂	1
Methan	CH ₄	28
Lachgas	N ₂ O	265

Tab. 4: Vergleich des herkömmlichen und des Anammox-Verfahrens hinsichtlich der entnommenen und eingespeisten elektrischen Energie bezogen auf 1 m³ gereinigten Abwassers²

	elektrische Energie in Wattstunden	
	herkömmliches Verfahren	Anammox-Verfahren
aus dem Netz entnommen	1,6	0,8
ins Netz eingespeist	179,0	209,0

- 3.1 Beurteilen Sie mithilfe der Tabellen 2, 3 und 4 den Einsatz des Anammox-Verfahrens als Alternative zum herkömmlichen Verfahren bezüglich wirtschaftlicher und ökologischer Aspekte. [6 BE]
- 3.2 In einer ergänzenden Versuchsreihe zum Anammox-Verfahren wurden die Emissionen von Stickstoffmonoxid (NO) und Lachgas (N₂O) bei verschiedenen Bedingungen genauer untersucht. Dabei wurde ein Reaktionsraum mit Abwasser und Anammox-Bakterien in drei aufeinanderfolgenden Versuchsabschnitten verschiedenen Sauerstoffkonzentrationen ausgesetzt. Die Ergebnisse der Emissionsmessungen sind in Abbildung 4 dargestellt.

3.1 Beurteilen Sie mithilfe der Tabellen 2, 3 und 4 den Einsatz des Anammox-Verfahrens als Alternative zum herkömmlichen Verfahren bezüglich wirtschaftlicher und ökologischer Aspekte. [6 BE]

3.2 In einer ergänzenden Versuchsreihe zum Anammox-Verfahren wurden die Emissionen von Stickstoffmonoxid (NO) und Lachgas (N₂O) bei verschiedenen Bedingungen genauer untersucht. Dabei wurde ein Reaktionsraum mit Abwasser und Anammox-Bakterien in drei aufeinanderfolgenden Versuchsabschnitten verschiedenen Sauerstoffkonzentrationen ausgesetzt. Die Ergebnisse der Emissionsmessungen sind in Abbildung 4 dargestellt.

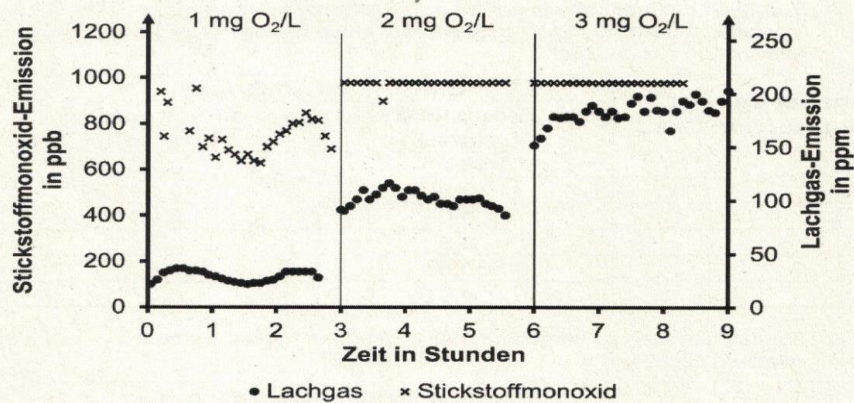


Abb. 4: Konzentration von Stickstoffmonoxid (ppb, parts per billion, Teilchen pro Milliarde) und Lachgas (ppm, parts per million, Teilchen pro Million) bei unterschiedlichen Sauerstoffkonzentrationen²

Beschreiben Sie die Ergebnisse der Versuchsreihe. Formulieren Sie eine Fragestellung, die der durchgeführten Versuchsreihe zugrunde liegen könnte.

[4 BE]

[40 BE]

Quellen:

- Maalcke, W. J., Reimann, J., et al. (2016). Characterization of Anammox Hydrazine Dehydrogenase, a Key N₂-producing Enzyme in the Global Nitrogen Cycle. *The Journal of biological chemistry*, 291(33), 17077 – 17092.
- Weissenbacher, N., Wett, B., et al. (2013). Hauptstromdeammonifikation in Kläranlagen, Wien.

2024 A2 Peptidasen

Peptidasen sind Enzyme, die in allen lebenden Organismen vorkommen und die Hydrolyse von Peptidbindungen katalysieren. Sie sind entscheidend für die Verdauung von Proteinen im menschlichen Körper, spielen aber auch in der Biotechnologie eine Rolle, etwa als Waschmittelzusatz.

1 Bestimmte moderne Waschmittel enthalten Peptidasen, die durch Hydrolyse von Proteinen dafür sorgen, dass wasserlösliche Produkte entstehen. So lassen sich proteinhaltige Verschmutzungen leichter aus Kleidungsstücken auswaschen. Abbildung 1 zeigt die Ergebnisse einer Versuchsreihe zur Aktivität einer Peptidase aus dem Bakterium *Streptomyces thermovulgaris*

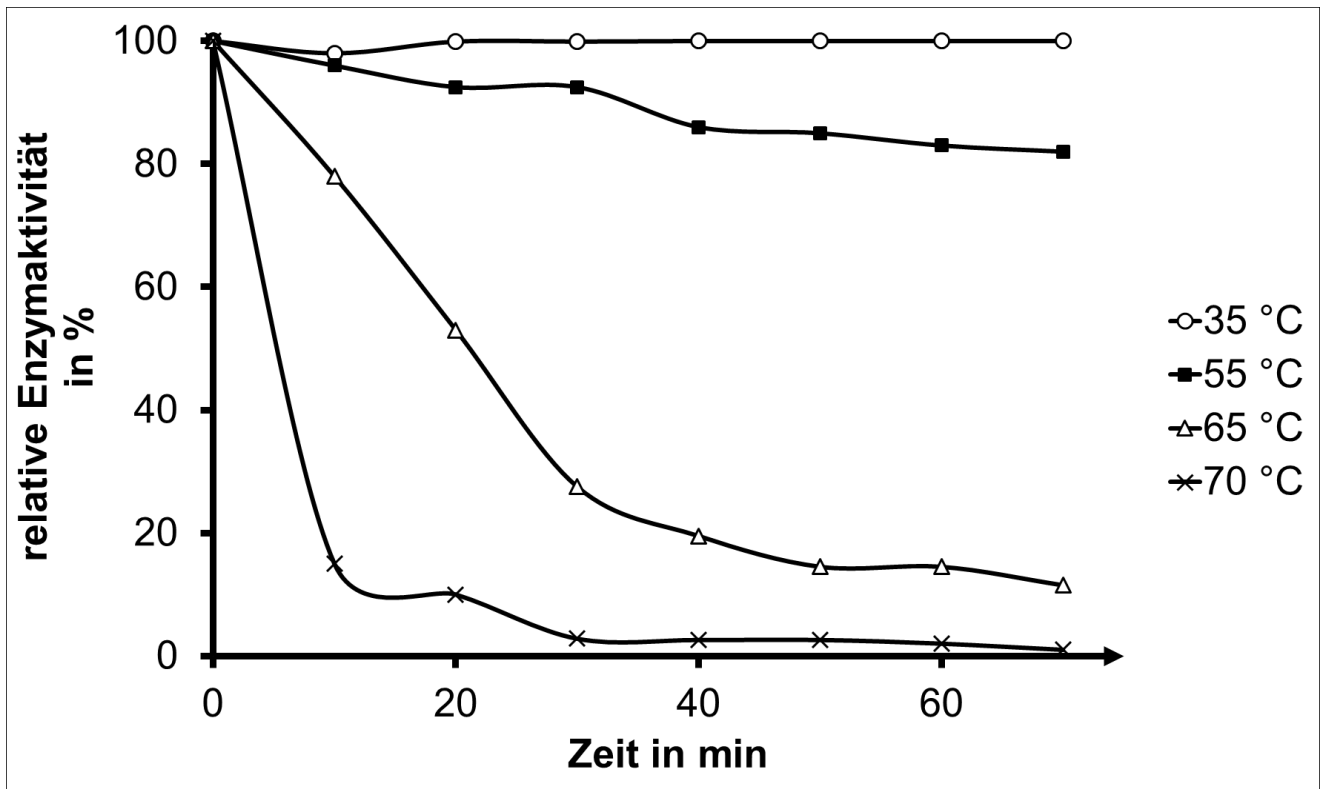


Abb. 1: Ergebnisse einer Versuchsreihe zur Aktivität einer Peptidase aus *S. thermovulgaris* in Abhängigkeit von der Zeit¹

Beschreiben Sie die in Abbildung 1 dargestellten Versuchsergebnisse und leiten Sie daraus eine Empfehlung für die Anwendung von Waschmitteln, die diese Peptidase enthalten, ab. [4 BE]

2 In einer Versuchsreihe wird die pH-Abhängigkeit der Peptidase Trypsin untersucht. In jeweils einem Reagenzglas lässt man eine Lösung des Proteingemischs Gelatine erstarren. Auf diese Schicht wird zunächst Sand und anschließend eine Flüssigkeit aufgetragen (Abb. 2, Tab. 1).

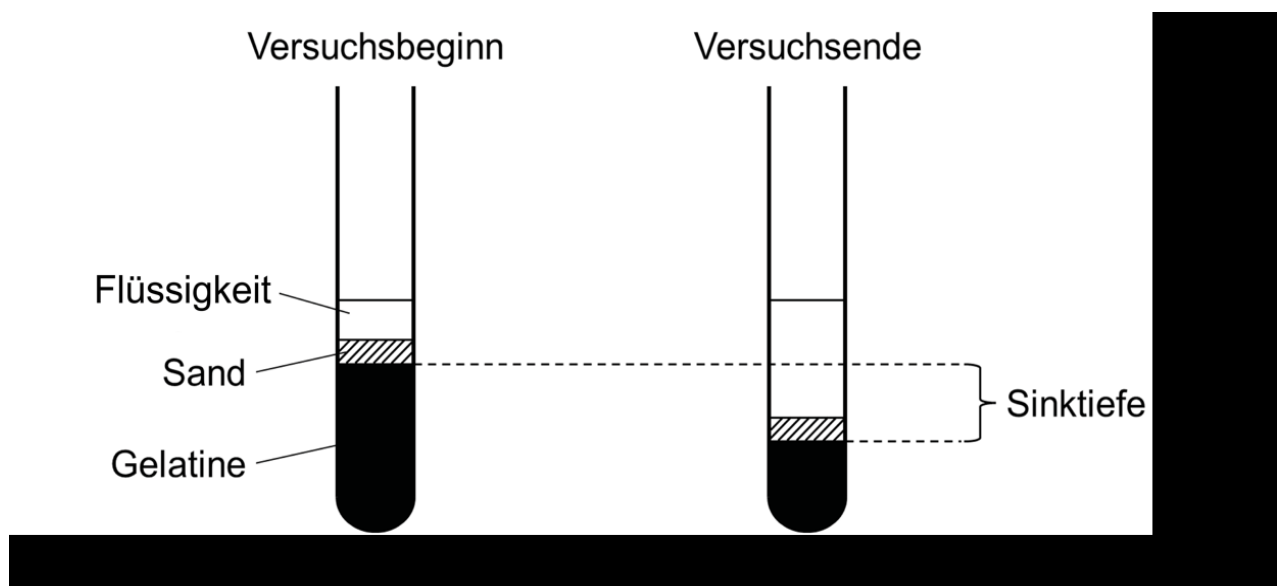


Abb. 2: Versuchsanordnung zur Bestimmung der Trypsin-Aktivität

Tabelle 1 zeigt Informationen zu den durchgeführten fünf Versuchsansätzen.
 Tab. 1: Versuchsansätze zur Bestimmung der Trypsin-Aktivität in Abhängigkeit vom pH-Wert; die verwendete Trypsin-Lösung hat bei allen Ansätzen die gleiche Trypsin-Konzentration

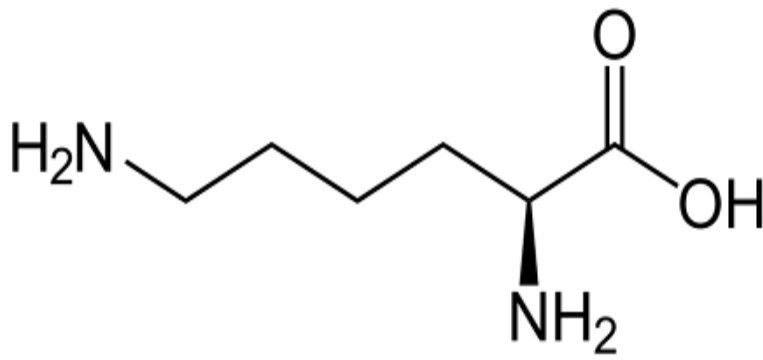
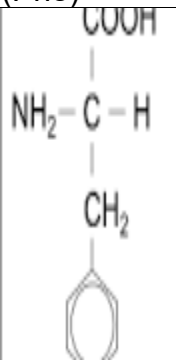
Ansatz	Flüssigkeit zu Versuchsbeginn (V=3mL)	pH-Wert der Flüssigkeit	Sinktiefe des Sandes in cm
1	Wasser	7	0
2	Trypsin-Lösung	4	2,5
3	Trypsin-Lösung	7	4,9
4	Trypsin-Lösung	8	5,2
5	Trypsin-Lösung	0	3,

Erklären Sie die Versuchsergebnisse mithilfe einer Modellvorstellung zur Funktionsweise von Enzymen. Gehen Sie auch auf die Bedeutung des Versuchsansatzes 1 ein. [6 BE]

3 Die Enzyme Trypsin und Chymotrypsin katalysieren im menschlichen Darm die Hydrolyse von Proteinen. Die beiden Enzyme reagieren substratspezifisch: Trypsin katalysiert die Hydrolyse von Peptidbindungen nach Aminosäure-Bausteinen mit einer Aminogruppe im Rest, Chymotrypsin die Hydrolyse von Peptidbindungen nach Aminosäure-Bausteinen mit hydrophoben Resten. Tabelle 2 gibt Informationen zu den Aminosäuren Lysin und Phenylalanin.

Tab. 2: Strukturformeln und isoelektrische Punkte von Lysin und Phenylalanin

Name Lysin (Lys) Phenylalanin (Phe)

Name	Lysin(Lys)	Phenylalanin (Phe)
Strukturformel		
ISP	9,74	5,49

3.1 Formulieren Sie die Strukturformelgleichung der Hydrolyse des Dipeptid-Moleküls Lys-Phe.

Leiten Sie mithilfe der Tabelle 2 die jeweils überwiegend vorliegende Form der beiden Aminosäure-Moleküle im Dünndarm bei pH = 8 ab. [7 BE]

3.2 Für die spezifische katalytische Aktivität der Enzyme Trypsin und

Chymotrypsin ist eine in der Nähe des aktiven Zentrums gelegene „Tasche“ verantwortlich. Die unterschiedlichen Reste der Aminosäure-Bausteine der „Taschen“ beider Enzym-Moleküle bilden unterschiedliche Wechselwirkungen zu den Resten der Lysin- und Phenylalanin-Bausteine der jeweiligen Substrat-Moleküle aus.

Stellen Sie jeweils eine Hypothese zum Bau der Reste in den „Taschen“ der Trypsin- und Chymotrypsin-Moleküle auf, welche die Spezifität der Enzyme erklärt. [4 BE]

4 Am Zentrum für Meeres- und Klimaforschung der Universität Hamburg wird über standardisierte Messungen der Aktivität der Peptidase Trypsin der Ernährungszustand von Fischlarven bestimmt, da es einen Zusammenhang zwischen aufgenommener Nahrungsmenge und der Menge an gebildetem Trypsin gibt.

4.1 Für die Messung werden die Larven in einer Puffer-Lösung homogenisiert. Der Puffer wird hergestellt, indem 100 mL Ammoniak-Lösung ($pK_B(\text{NH}_3) = 4,8$) der Konzentration $c(\text{NH}_3) = 1,2 \text{ mol/L}$ mit 100 mL Salzsäure der Konzentration $c(\text{HCl}) = 1 \text{ mol/L}$ versetzt werden. Berechnen Sie den pH-Wert der eingesetzten Puffer-Lösung. [7 BE]

4.2 Um die Menge des von den Larven hergestellten Trypsins zu bestimmen, wird folgendes Experiment durchgeführt: Das gewonnene Trypsin wird mit einem Substrat versetzt und die Trypsin-Aktivität ermittelt. Zur Bestimmung der Trypsin-Aktivität wird die Stoffmenge des hydrolysierten Substrats $n(\text{hS})$ nach bestimmten Zeiträumen ermittelt

Zeit in min	2	4	6	8	10	12	14
$n(\text{hS})$ in n/mo	17	36	51	67	83	99	112

Tab. 3: Stoffmenge des hydrolysierten Substrats nach bestimmten Zeiträumen²
Zeichnen Sie mit den Werten aus Tabelle 3 ein Diagramm und ermitteln Sie die mittlere Reaktionsgeschwindigkeit im Zeitraum von $t = 4 \text{ min}$ bis $t = 10 \text{ min}$. [5 BE]

4.3 Wissenschaftler versuchen pflanzliche Proteinquellen, etwa Soja, in der Fischzucht einzusetzen. Dabei stellten sie fest, dass in der Sojabohne kleine Proteine vorkommen, die unter der Bezeichnung Bowman-Birk-Inhibitoren bekannt geworden sind. Forschende haben die Hypothese aufgestellt, dass diese Proteine als kompetitive Hemmstoffe des Trypsins wirken.

Skizzieren Sie ein Diagramm, das den vermuteten Einfluss der Bowman-Birk-Inhibitoren auf die Trypsin-Aktivität in Abhängigkeit von der Substratkonzentration zeigt. Beschreiben Sie eine experimentelle

Vorgehensweise zur Überprüfung der Hypothese. [7 BE]

Quellen:

- 1 Senhaji-Dachtler, S. (2005). Extrazelluläre Proteasen aus Mikroorganismen: Reinigung, Charakterisierung und Fixierung auf Polyester (Doctoral dissertation, Universität Tübingen).
- 2 Ueberschär, B. (1999). Die Trypsinaktivität als biochemische Indikator zur Bestimmung des Ernährungszustandes

sowie der Freßaktivität von Fischlarven und seine Anwendung in Feldstudien (Doctoraldissertation, Universität Hamburg).