



Ob stinkender Fisch oder blühender Rosenstrauch - beide geben ständig Duftmoleküle an ihre Umgebung ab. Beim Einatmen der Luft gelangen diese Moleküle zu der etwa  $5 \text{ cm}^2$  großen Riechschleimhaut im oberen Teil der menschlichen Nase. In diesen ragen Cilien hinein, die wie kleine Haarschöpfe von der Spitze der Riechsinneszellen ausgehen. Abbildung 1 stellt schematisch einen Ausschnitt aus der Riechschleimhaut des Menschen dar.

Die Aufzeichnungen A, B und C (Abbildung 2) entstanden während eines Experimentes, bei dem eine Riechsinneszelle mit einem Geruchsstoff gereizt wurde (Abbildung 1). Das elektrische Antwortverhalten wurde mit den Elektroden E1 und E2 in verschiedenen Bereichen der Sinneszelle gemessen.

1. Benennen Sie in ihrer Reinschrift die Teile 1 - 5 der abgebildeten Geruchsinnescellen. 2 VP
2. Ordnen Sie die aufgezeichneten Messwerte (Abbildung 2 B und C) den betreffenden Messstellen von Abbildung 1 zu. Worin liegt die Ursache, dass an diesen Messpunkten in einer Zelle so unterschiedliche Messwerte erfasst werden? 4 VP

**Auch gleichbleibend starke Gerüche nimmt man schon nach kurzer Zeit nicht mehr wahr.**

3. Wie spiegelt sich dies im elektrischen Antwortverhalten der Geruchsinnescelle (Abbildung 2B und 2C) wider? Welchen biologischen Sinn vermuten Sie hinter dieser Funktionsweise? 3 VP

**Abbildung 3 stellt schematisch die chemoelektrischen Vorgänge in Riechsinneszellen dar.**

- 4.1 Beschreiben Sie den Aufbau der in Abbildung 3 dargestellten Membran der Sinneszelle. 2 VP
- 4.2 Entwickeln Sie an Hand der Vorgaben von Abbildung 3 eine Hypothese, wie es zur Depolarisation der Sinneszellmembran kommen kann. 4 VP

**c-AMP beeinflusst nicht nur Ionenkanäle, sondern es aktiviert auch Proteinkinasen, die auf die Rezeptorproteine hemmend einwirken. Messungen des intrazellulären c-AMP-Spiegels in den Cilien von Riechsinneszellen haben ergeben, dass dieser**

- zu Reizbeginn lawinenartig ansteigt;
- bei gleichbleibender Duftstoffkonzentration rasch abnimmt.

5. Entwickeln Sie eine Hypothese, wie es trotz gleichbleibender Duftstoffkonzentration zum Abfall des c-AMP-Spiegels und des Rezeptorpotenzials kommt. 3 VP

**c-AMP wird im vorliegenden Fall aus ATP gewonnen.**

6. Welche Rolle spielt das ATP im Stoffwechsel? Verdeutlichen Sie diese Rolle an Hand eines selbstgewählten Beispiels. 2 VP

2 VP  
20 VP

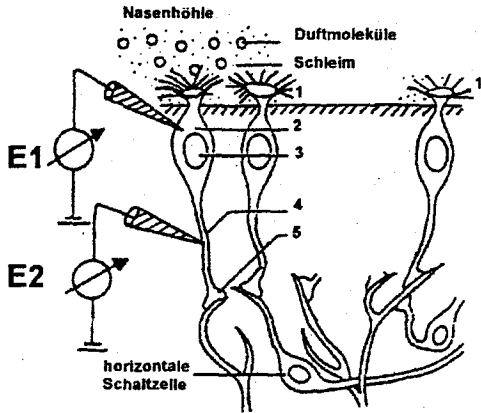


Abbildung 1: Riechsinneszellen mit experimenteller Anordnung (schematischer Ausschnitt aus der Riechschleimhaut des Menschen)

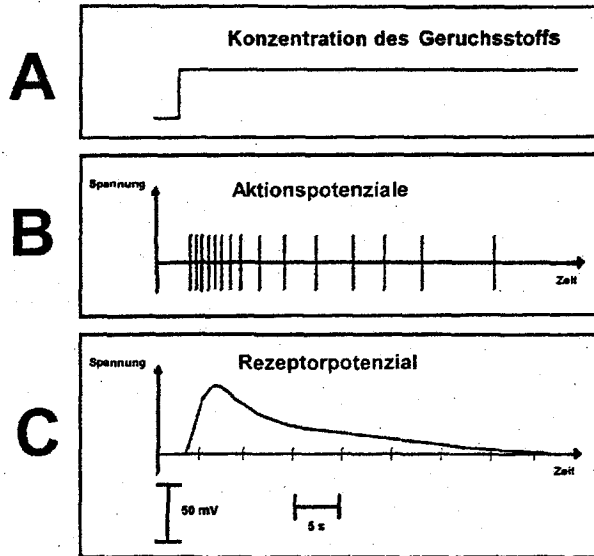


Abbildung 2: Messwerte (aufgezeichnet während eines Experimentes)

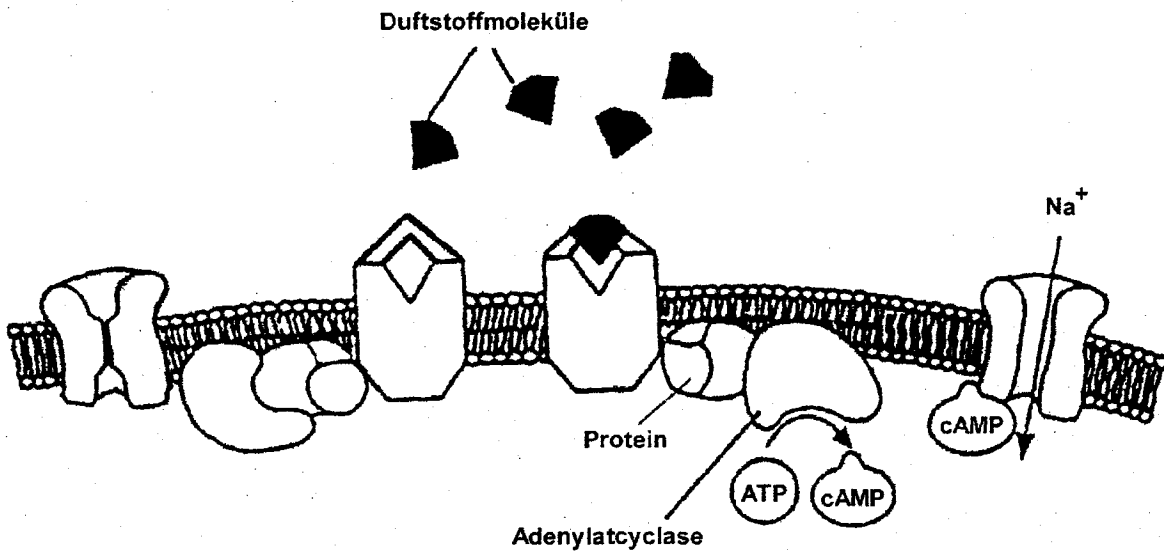


Abbildung 3: Chemoelektrische Auslösung einer Erregung in Riechsinneszellen

Die Schmetterlinge der Familie der Bärenspinner (*Arctiidae*) sind Nachtfalter mit häufig hell/dunkel gemusterten Vorderflügeln. Diese bedecken in Ruhestellung das oft rot/schwarz bzw. gelb/schwarz gezeichnete Hinterflügelpaar. Die Raupen sind lang und dicht behaart. Abbildung 1 zeigt den Braunen Bär (*Arctia caja*), der in Eurasien und Nordamerika vorkommt.

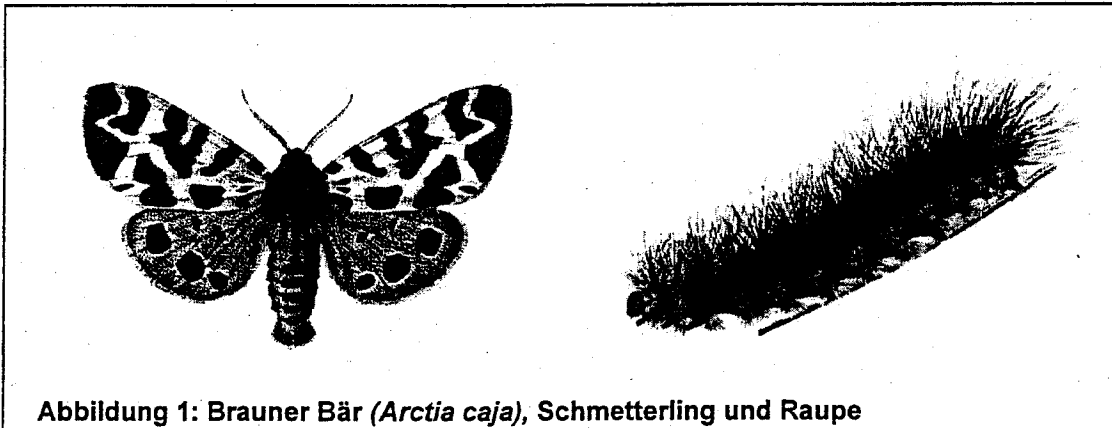


Abbildung 1: Brauner Bär (*Arctia caja*), Schmetterling und Raupe

Heidelberger Forscher untersuchen eine Bärenspinner-Art, deren Raupen Pflanzen fressen, die ein Pyrrolizidin-Alkaloid (PA) enthalten. Diese Substanz ist giftig und stellt für die Pflanze in den meisten Fällen einen Fraßschutz dar. Die Schmetterlingsraupe besitzt allerdings ein spezifisches Transportprotein in ihren Darmzellen, das ausschließlich das PA bindet und es zu den Hautschichten transportiert, wo es eingelagert wird. Damit ist das Alkaloid für die Raupe unschädlich. Dieses PA findet sich in allen Entwicklungsstadien des Schmetterlings wieder.

- 1.1 Nennen Sie die Entwicklungsstadien eines Schmetterlings in der richtigen Reihenfolge. 1 VP
- 1.2 Erklären Sie mit Hilfe der Synthetischen Evolutionstheorie, wie alkaloidproduzierende Pflanzen entstanden sein könnten.  
Weshalb stellt die Bildung des spezifischen Transportproteins für diese Schmetterlingsart einen doppelten Selektionsvorteil dar? 4 VP
- 1.3 Welche Bedeutung könnte die unterschiedliche Zeichnung der Vorder- und Hinterflügel dieser Schmetterlinge haben? 2 VP

**Die Giftwirkung von PA beruht unter anderem auf der Schädigung der Erbsubstanz.**

2. Welche Eigenschaften muss ein Molekül haben, damit es als Träger der Erbinformation geeignet ist (zwei Angaben)?  
Beschreiben Sie an Hand einer beschrifteten Schemazeichnung (1/2 Seite) den Aufbau der DNA und erläutern Sie, dass DNA die von Ihnen genannten Eigenschaften besitzt. 7 VP

Die Raupen des in den Südstaaten der USA vorkommenden Falters *Nemoria arizonaria* unterscheiden sich ganz wesentlich, wenn diese im Frühjahr bzw. im Sommer heranwachsen. Die „Frühjahrsraupe“, die sich von Blütenpollen der Eichenkätzchen ernährt, ist eine „Kätzchenraupe“. Die „Sommerraupe“, die Eichenblätter frisst, sieht aus wie ein kleiner Zweig (Abbildung 2). Man vermutet, dass die Entstehung der beiden unterschiedlichen Raupenformen dieser Schmetterlingsart mit den unterschiedlichen Umweltbedingungen im Frühjahr bzw. Sommer zusammenhängt.

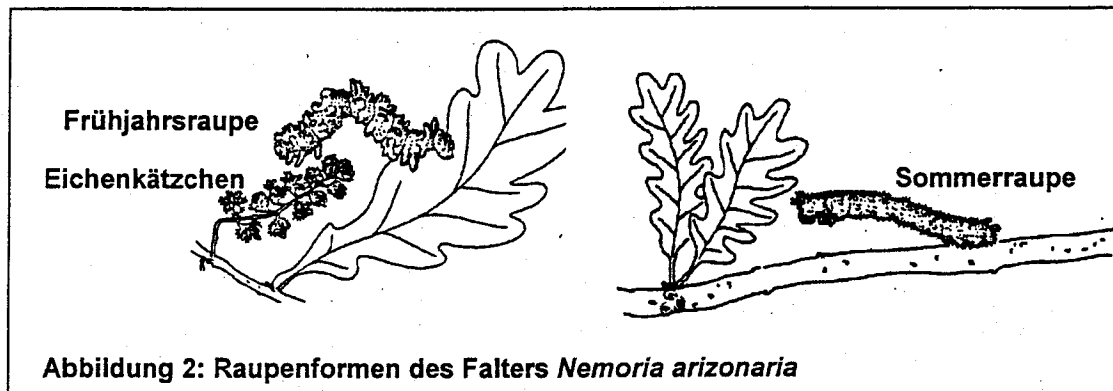


Abbildung 2: Raupenformen des Falters *Nemoria arizonaria*

3. Entwerfen Sie eine Versuchsreihe, die zeigt, welcher der beiden Faktoren Nahrung oder Temperatur für die Entstehung der unterschiedlichen Raupenformen entscheidend ist. Entwickeln Sie eine Hypothese, wie einer der beiden Faktoren Nahrung oder Temperatur die Ausprägung der unterschiedlichen Raupenformen bewirken könnte.

6 VP  
20 VP

Neben Glucose kann auch Galactose vom Körper als Energielieferant verwendet werden. Dazu wird bei der Verdauung Lactose (Milchzucker) in Galactose und Glucose gespalten. Galactose wird zu Galactosephosphat und über ein Zwischenprodukt zu Glucose-6-phosphat umgebaut und in die Glykolyse eingeschleust. Alle Schritte werden dabei durch Enzyme katalysiert.

1. Erstellen Sie ein Schema (ohne chemische Formeln), das den Umbau der Lactose zu Glucose-6-phosphat darstellt. 3 VP

Alle Enzyme des Galactosestoffwechsels sind in den roten Blutkörperchen enthalten. Die Aktivität dieser Enzyme kann dort leicht untersucht werden.

Bei Säuglingen beobachtet man hin und wieder eine Galactoseunverträglichkeit (Galactosämie), die auf eine Störung des Galactosestoffwechsels zurückzuführen ist.

- 2.1. Entwickeln Sie ein experimentelles Verfahren mit dem festgestellt werden kann, welches Enzym im Galactosestoffwechsel bei Galactosämie defekt sein könnte. 4 VP

- 2.2. Erläutern Sie an Hand beschrifteter Schemazeichnungen beispielhaft die Substrat- sowie die Wirkungsspezifität von Enzymmolekülen (Größe ca. ½ Seite) 4 VP

In der Tabelle 1 sind die Messwerte von Enzymversuchen dargestellt. Hierbei wurden jeweils gleiche Enzymkonzentrationen bei verschiedenen Substratkonzentrationen verwendet:

**Tabelle 1:** Enzymversuche bei verschiedenen Substratkonzentrationen bei konstanter Enzymkonzentration

Versuchsnummer	Substratkonzentration (relative Einheiten)	Reaktionsgeschwindigkeit (relative Einheiten)
1	0	0
2	10	2
3	20	3,7
4	30	5,0
5	40	6,0
6	50	6,7
7	60	7,2
8	80	7,8
9	100	8,0
10	140	8,1
11	180	8,1

- 3.1. Zeichnen Sie mit Hilfe der Messwerte aus Tabelle 1 ein Diagramm, das die Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von der Substratkonzentration zeigt.
- 3.2. Beschreiben und erklären Sie den Kurvenverlauf des Diagramms. 5 VP

Zur Linderung der Folgen von Galactosämie können Enzympräparate verabreicht werden. Viele Enzyme des Menschen kann man heute mit Hilfe gentechnischer Verfahren herstellen.

4. Schildern Sie die wesentlichen Schritte eines solchen gentechnischen Verfahrens. 4 VP  
20 VP

Ärzte Zeitung, 19.1.1998

Infektiologie / Immunisierung mit Gen-Vakzine schützt Tiere vor tödlichem Infekt mit dem "Killer-Virus aus dem Regenwald"

## Impfstoff gegen das Ebola-Virus erfolgreich getestet

1 Ann Arbor (nsi). US-Wissenschaftler haben erstmals erfolgreich eine Vakzine<sup>1</sup> gegen  
2 das Ebola-Virus getestet: Geimpfte Meerschweinchen überlebten die Infektion, alle  
3 ungeimpften tötete der Erreger.

4 Als "Killer-Virus aus dem Regenwald" hat das Ebola-Virus von sich reden gemacht: 246  
5 Menschen sind ihm 1995 in Zaire zum Opfer gefallen, in einer ersten großen Epidemie  
6 1976 erlagen mehr als 400 den virusverursachten Hämorrhagien<sup>2</sup>. Die Mortalität<sup>3</sup> nach  
7 Infektion wird mit 90 Prozent angegeben, eine kausale Therapie gibt es bisher nicht.

8 Den Impfstoff haben Professor Gary J. Nabel und seine Mitarbeiter am University of  
9 Michigan Medical Center in Ann Arbor entwickelt (Nature Medicine 1, 1998, 16 und 37).  
10 Nachdem jahrelange Versuche, Immunität mit inaktivierten Viren oder mit isolierten  
11 Virusproteinen zu erzeugen, fehlgeschlagen waren, versuchten Nabel und sein Team  
12 den gentechnischen Ansatz. Sie packten die Gene für drei verschiedene  
13 Eiweißmoleküle des Erregers in Plasmide, ringförmige Stücke DNA. In jedes Plasmid  
14 wurde noch ein Enhancer eingefügt, ein Genabschnitt mit Regulatorfunktion, der die  
15 Proteinsynthese steigert.

16 Die verschiedenen Sorten von Plasmiden, die mit Genen für das Ebola-Nukleoprotein,  
17 das sezernierte<sup>4</sup> oder das membranständige Glykoprotein, beladen waren, injizierten  
18 die Forscher Meerschweinchen intramuskulär und boosterten<sup>5</sup> dreimal: eine Gruppe  
19 innerhalb von fünf, die andere von zwölf Wochen. Die Kontrollgruppen erhielten jeweils  
20 Genmaterial ohne cDNA<sup>6</sup> des Erregers. Daß die Impfung wirkte, wurde offensichtlich,  
21 als nach einer Infektion mit Ebola-Viren nur Tiere in Verumgruppen<sup>7</sup> überlebten. Dabei  
22 erwies sich das membranständige Glykoprotein als effektivstes der drei Immunogene  
23 und induzierte die höchsten Antikörperkonzentrationen<sup>8</sup>. Außer der humoralen wurde auch eine  
24 zelluläre Immunantwort mit Bildung für den Erreger spezifischer zytotoxischer T-  
25 Lymphozyten beobachtet.

26 Warum die gentechnisch konstruierte Vakzine bei Tieren wirkt, ein Impfstoff aus  
27 inaktivierten Viren aber nicht, gibt den Forschern Rätsel auf. Nabel vermutet, daß bei  
28 bestimmten Krankheitserregern die Synthese des Immunogens durch den Körper  
29 selbst zu einer günstigeren Präsentation der Antigene gegenüber den Immunzellen  
30 führt. Impfvorsuche mit nicht-menschlichen Primaten sollen folgen.

31 Zwar ist es in letzter Zeit still um Ebola geworden, die Menschen in Westafrika sind aber  
32 latent gefährdet. Vor einem Jahr erst fürchtete die Bevölkerung in Gabun einen  
33 Ausbruch, als Todesfälle auftraten.

Copyright ©Ärzte Zeitung

Email: info@aerztezeitung.de

<sup>1</sup> Impfstoff; <sup>2</sup> Blutungen; <sup>3</sup> Sterblichkeit; <sup>4</sup> abgesonderte; <sup>5</sup> durch Nachimpfung  
verstärken; <sup>6</sup> copyDNA – das heißt DNA, die ausgehend von RNA hergestellt wird;  
<sup>7</sup> Gruppen, die mit cDNA des Erregers geimpft wurden; <sup>8</sup> Antikörperkonzentration

1.1 Beschreiben Sie die Vorgänge, die nach Impfung mit inaktivierten Viren Immunität erzeugen können. Beschränken Sie sich dabei auf die humorale Immunantwort. 3 VP

1.2 Stellen Sie den vermutlichen Verlauf der Antikörperkonzentration (relative Einheiten) in den Meerschweinchen der zweiten Gruppe grafisch dar, und erklären Sie den Kurvenverlauf über 12 Wochen. Gehen Sie davon aus, dass zu Beginn der ersten Woche geimpft und zu Beginn der dritten, sechsten und neunten Woche nachgeimpft wurde (vergleiche Text, Zeilen 16ff). 4 VP

**Das Ebola-Virus gehört zu den RNA-Viren mit einzelsträngiger RNA. Um Erbgut des Virus in einen Plasmidring einbauen zu können, muss zunächst eine copy-DNA (cDNA) hergestellt werden.**

2.1 Beschreiben Sie ein Verfahren, mit dem doppelsträngige cDNA in einen Plasmidring eingebaut werden kann. 2 VP

2.2 Stellen Sie ausgehend von den verschiedenen Sorten von Plasmiden alle von GARY J. NABEL und seinen Mitarbeitern durchgeführten Versuche und deren Ergebnisse (Zeilen 12 – 25) in übersichtlicher Form schematisch dar (Größe: eine Seite). 5 VP

**Injiziert man den Meerschweinchen die Plasmide, so lassen sich nach einiger Zeit Antikörper gegen Ebola-Proteine nachweisen (vergleiche Text, Zeilen 16ff).**

3.1 Nennen Sie die Vorgänge, die erforderlich sind, bis es zur Präsentation der Ebola-Antigene kommen kann? Beginnen Sie mit der Injektion der Plasmide. 3 VP

3.2 Stellen Sie diese beim Meerschweinchen angewandte „Impfung“ der aktiven und der passiven Immunisierung vergleichend gegenüber. 3 VP  
20 VP

**Für die Fachlehrerin, den Fachlehrer.**

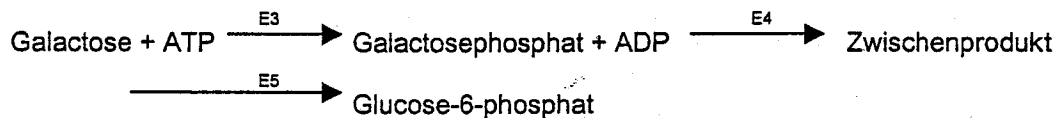
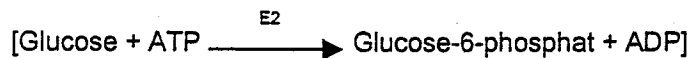
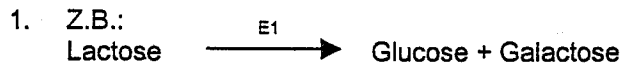
Die Lösungshinweise stellen nur eine mögliche Aufgabenlösung dar. Andere Lösungsmöglichkeiten sind zuzulassen, wenn sie der Aufgabenstellung entsprechen und sachlich richtig sind. Der Erstkorrektor kann in diesem Fall für den Zweitkorrektor eine Begründung begeben (anonym, auf einem besonderen Blatt).

- |   |  |             |                              |
|---|--|-------------|------------------------------|
| <p>1. 1 = Cilien der Riechsinneszelle<br/>2 = Soma<br/>3 = Kern</p>   | <p>4 = Axon der Riechsinneszelle<br/>5 = Synapse</p> | <p>2 VP</p> |                              |
| <p>2. [A = Reiz / Konzentration des Geruchsstoffs in der Nasenhöhle]<br/>B = Aktionspotenziale / gemessen am Axon (E 2)<br/>C = Rezeptorpotenzial / gemessen am Soma (E 1)</p> <p>Sinngemäß: Somamembran: Ionenkanäle ligandengesteuert<br/>Axonmembran: Ionenkanäle spannungsgesteuert<br/>oder Erklärung über andere Kanaleigenschaften</p>   |  |             | <p>4 VP</p>                  |
| <p>3. Sinngemäß: Bei gleichbleibender Einwirkung des Geruchsstoffes nimmt die Aktivität der Geruchsinneszelle innerhalb der ersten 5 Sekunden bis zu einem Maximalwert zu, um dann über die nächsten 20 Sekunden bis auf Null abzusinken (Gewöhnungseffekt). Die Stärke des Rezeptorpotenzials am Axonhügel wird über Frequenzmodulation der APs weitergeleitet (phasisches Antwortverhalten).</p> <p>Z.B.: Verhinderung von Reizüberflutung / Freistellen des Geruchsfeldes für neue Geruchseindrücke / (Geruchsinn als Warnsinn).</p> |  |             | <p>3 VP</p>                  |
| <p>4.1 Aufbau einer Biomembran: Lipiddoppelmembran mit Membranproteinen, Rezeptorproteinen, Kanalproteinen, Enzymproteinen.</p>   |  |             | <p>2 VP</p>                  |
| <p>4.2 Sinngemäß: Duftstoffmolekül dockt an passenden Rezeptor an (Schlüssel-Schloss-Prinzip) ⇒ Aktivierung des Rezeptors, der wiederum das Proteinmolekül an der Membraninnenseite aktiviert ⇒ dieses wirkt auf das Enzym Adenylatcyclase ein, das die Umwandlung von ATP zu c-AMP katalysiert; c-AMP (wirkt als „second messenger“) diffundiert zu den Kanalproteinen und öffnet Na<sup>+</sup>-Kanäle. ⇒ Na<sup>+</sup>-Einstrom führt zu Depolarisierung der Membran ⇒ Rezeptorpotenzial.</p>                                       |  |             | <p>4 VP</p>                  |
| <p>5. Z.B.: Möglicherweise hemmt das c-AMP über spezielle Enzyme die Rezeptormoleküle, so dass trotz Anwesenheit von Duftstoffmolekülen nur sehr wenige (keine) Proteine aktiviert werden ⇒ c-AMP – Konzentration sinkt (c-AMP wird verbraucht und nicht nachgebildet) ⇒ Rückgang des Na<sup>+</sup>-Ioneneinstroms ⇒ Abnahme des Rezeptorpotenzials.</p>   |  |             | <p>3 VP</p>                  |
| <p>6. Die Reaktion <math>ATP \rightarrow ADP + P_i</math> liefert die für Reaktionen notwendige Energie; Verdeutlichung an einem Beispiel.</p>  |  |             | <p><u>2 VP</u><br/>20 VP</p> |

**Für die Fachlehrerin, den Fachlehrer.**

- 1.1 (Befruchtetes) Ei – Raupe – Puppe – Vollinsekt (Schmetterling) 1 VP
- 1.2 Sinngemäß: Mutationen bei der Pflanze: Alkaloidbildung → Fraßschutz als Selektionsvorteil.  
Selektionsvorteil: Nahrungsquelle (konkurrenzlos) und erworbener Fraßschutz, da beim Verdauen des Transportproteins: PA frei → Giftwirkung. 4 VP
- 1.3 Z.B.: Tarntracht: bei geschlossenen Vorderflügeln;  
Schrecktracht: bei aufgedeckten Hinterflügeln. 2 VP
2. Speicherung von Information, identische Replikation, hohe chemische Stabilität.  
Beschriftete Schemazeichnung der DNA mit Erläuterung. 7 VP
3. Geeignete Versuchsreihe: Überprüfung durch Veränderung von jeweils nur einem Faktor bei Konstanthalten des anderen Faktors.  
In sich schlüssige Hypothese. 6 VP  
20 VP

Für die Fachlehrerin, den Fachlehrer.



wobei E1 bis E5 – Enzyme.

3 VP

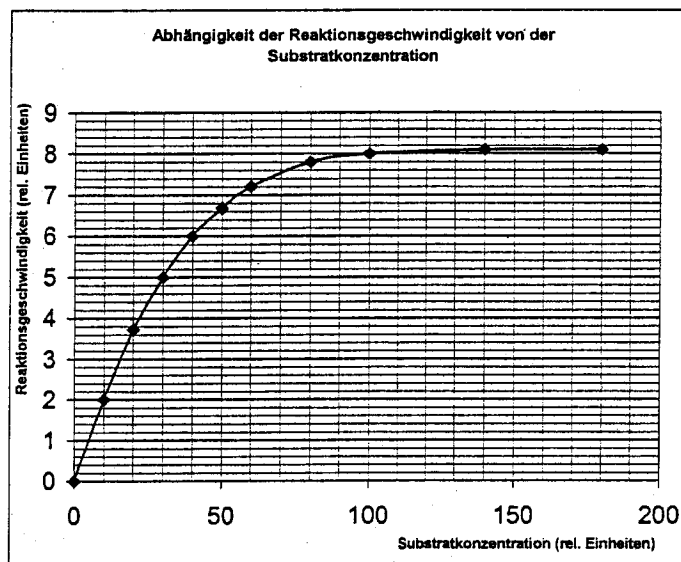
- 2.1 Z.B. - Isolation roter Blutkörperchen aus dem Blut eines Galactosämie-Patienten  
 - Bestimmung der jeweiligen Enzymaktivität durch Zugabe des jeweiligen Substrats und Bestimmung der Produktkonzentration(en).

4 VP

2.2 Beschriftete Schemazeichnungen

4 VP

3.1 Diagramm:



- 3.2 Anfangs starke Zunahme der Reaktionsgeschwindigkeit bei Erhöhung der Substratkonzentration weil noch viele aktive Zentren unbesetzt sind.  
 Ab einer Substratkonzentration von ca. 140 erfolgt keine weitere Zunahme der Reaktionsgeschwindigkeit, weil alle Enzymmoleküle als Enzym-Substrat-Komplex vorliegen ( $v_{max}$ ).

5 VP

4. - Isolierung des menschlichen Gens  
 - Herstellung eines Hybridplasmids aus Bakterien-Plasmid und menschlicher DNA mit Hilfe von Restriktionsenzymen und Ligasen  
 - Transformation des Hybridplasmids in Bakterien (E.coli)  
 - Selektion der transformierten Bakterien (z.B. mit Antibiotika)  
 - Züchtung und Vermehrung der transformierten Bakterien  
 - Homogenisieren der Bakterien, Isolierung und Reinigung des Enzyms

4 VP  
 20 VP

Für die Fachlehrerin, den Fachlehrer.

1.1 Aktive Immunisierung: Phagozytose extrazellulärer Antigene durch Makrophagen; Antigenpräsentation → spezifische Aktivierung von T-Helferzellen (→ Lymphokinausschüttung) → Aktivierung von B-Lymphozyten → aktivierte B-Lymphozyten bilden einen Klon von Plasmazellen, die antigenspezifische Antikörper produzieren → Antigen-Antikörper-Reaktion → Phagozytose; B-Gedächtniszellen. 3 VP

1.2 Darstellung: Antikörperkonzentration in Abhängigkeit von der Zeit. Einige Tage nach Erstimpfung langsamer Anstieg der Antikörperkonzentration, nach jeder Nachimpfung rascher Anstieg der Antikörperkonzentration auf ein jeweils höheres Niveau. Erklärung über Gedächtniszellen. 4 VP

2.1 Copy-DNA (cDNA) wird in den Plasmidring mit Hilfe von Restriktionsenzymen und Ligasen eingebaut. 2 VP

2.2 Mögliches Schema der durchgeführten Versuche und deren Ergebnisse:

	Meer-schweinchen - Gruppe I	Meer-schweinchen - Gruppe II	Meer-schweinchen - Gruppe III	Meer-schweinchen - Kontrollgruppe
Injektion mit:	Plasmidring mit Enhancer und Gen für das Ebola-Nukleo-Protein	Plasmidring mit Enhancer und Gen für das sezernierte Glykoprotein	Plasmidring mit Enhancer und Gen für das membranständige Glykoprotein	Plasmidring
Erste Wiederholung der Injektion				
Zweite Wiederholung der Injektion				
Dritte Wiederholung der Injektion				
Infektion mit:	Ebola-Viren	Ebola-Viren	Ebola-Viren	Ebola-Viren
Ergebnisse:	überlebende Tiere mit spezifischem Antikörpertiter und spezifischen zytotoxischen T-Lymphozyten	Überlebende Tiere mit spezifischem Antikörpertiter und spezifischen zytotoxischen T-Lymphozyten	Überlebende Tiere mit höchstem spezifischem Antikörpertiter und spezifischen zytotoxischen T-Lymphozyten	nur tote Tiere

5 VP

3.1 Injektion der Plasmide → Aufnahme in Zelle → Transkription → Translation → Antigen → Präsentation der Ebola-Antigene. 3 VP

3.2 Gen-Impfstoff → körpereigene Antigenproduktion → Antikörper, Gedächtniszellen; aktive Immunisierung: Antigene als Impfstoff → Antikörper, Gedächtniszellen; passive Immunisierung: Antikörper als Impfstoff, keine Gedächtniszellen. 3 VP