

## Gemeinsame Aufgabenpools der Länder

# Pool für das Jahr 2026

## Aufgaben für das Fach Chemie

### Kurzbeschreibung

| Aufgabentitel          | Antikörpertherapie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Anforderungsniveau     | grundlegend                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Inhaltsbereiche        | <ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Chemische Reaktionen</li> <li>♦ Stoffe, Strukturen, Eigenschaften               <ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Natürliche und synthetische Stoffe                   <ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Proteine</li> </ul> </li> <li>♦ Strukturen ausgewählter organischer und anorganischer Stoffe                   <ul style="list-style-type: none"> <li>♦ inter- und intramolekulare Wechselwirkungen</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Materialien            | <ul style="list-style-type: none"> <li>♦ M 1 Aufbau und Funktionsweise von Antikörpern</li> <li>♦ M 2 Liste ausgewählter proteinbildender Aminosäuren</li> <li>♦ M 3 Intermolekulare Wechselwirkungen zwischen Antigen und Antikörper</li> <li>♦ M 4 Untersuchungen zur Stabilität von Antikörpern</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Quellenangaben         | <ul style="list-style-type: none"> <li>♦ M 1               <ul style="list-style-type: none"> <li>♦ Ma, H., Ó'Fágáin, C. &amp; O'Kennedy, R. (2020). Antibody stability: A key to performance - Analysis, influences and improvement. <i>Biochemie</i>, 177, S. 213–225. <a href="https://doi.org/10.1016/j.biochi.2020.08.019">https://doi.org/10.1016/j.biochi.2020.08.019</a></li> </ul> </li> <li>♦ M 3, M 4               <ul style="list-style-type: none"> <li>♦ K. Griffiths, K., Dolezal, A., Parisi, K., Angerosa, J., Dogovski, C., Barraclough, M., Sanalla, A., Casey, J., González, I., Perugini, M., Nuttall, S. &amp; Foley, M. (2013). Shark Variable New Antigen Receptor (<math>V_{\text{NAR}}</math>) Single Domain Antibody Fragments: Stability and Diagnostic Applications. <i>Antibodies</i>, 2, S. 66–81. <a href="https://doi.org/10.3390/antib2010066">https://doi.org/10.3390/antib2010066</a></li> </ul> </li> </ul> |
| Hilfsmittel            | <ul style="list-style-type: none"> <li>♦ digitales Hilfsmittel, das mindestens die Funktionalität eines WTR hat</li> <li>♦ mathematisch-naturwissenschaftliche Formelsammlung</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| fachpraktischer Anteil | ja <input type="checkbox"/> nein <input checked="" type="checkbox"/> Zeitzuschlag: —                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

## 1 Aufgabe

### Antikörpertherapie

Antikörper sind Bestandteile des Immunsystems des Körpers, die an der Abwehr eingedrungener Krankheitserreger sowie der Zerstörung veränderter körpereigener Strukturen beteiligt sind. Um gezielt bestimmte Krankheiten zu behandeln, werden sie inzwischen auch synthetisch hergestellt.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | BE |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 Analysieren Sie die modellhafte Darstellung des Antikörpers in Abbildung 1 im Hinblick auf die Darstellung der vier Strukturebenen eines Proteins (M 1).                                                                                                                                                                                                                | 8  |
| 2 Formulieren Sie eine Reaktionsgleichung in Strukturformelschreibweise für die formale Bildung eines Dipeptids aus zwei selbstgewählten Aminosäuren aus Material 2. Ordnen Sie die Reaktion begründet einem Reaktionstyp zu (M 2).                                                                                                                                       | 6  |
| 3 Ergänzen Sie in Abbildung 3 geeignete Aminosäurereste des Antikörpers, die mit den dargestellten Aminosäureresten des Antigens Wechselwirkungen ausbilden können (M 2, M 3).<br>Beschreiben Sie diese Wechselwirkungen.<br><br>Beurteilen Sie die von Ihnen ergänzte Abbildung 3 anhand von drei Aspekten im Hinblick auf die modellhafte Darstellungsweise (M 2, M 3). | 10 |
| 4 Erklären Sie die veränderten Bindungsfähigkeiten der Antikörper bei unterschiedlichen Lagerungsbedingungen (M 1, M 4).                                                                                                                                                                                                                                                  | 6  |

#### Quellen (ggf. verändert):

- [1] Ma, H., Ó'Fágáin, C. & O'Kennedy, R. (2020). Antibody stability: A key to performance - Analysis, influences and improvement. *Biochemie*, 177, S. 213–225. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2020.08.019>
- [2] K. Griffiths, K., Dolezal, A., Parisi, K., Angerosa, J., Dogovski, C., Barraclough, M., Sanalla, A., Casey, J., González, I., Perugini, M., Nuttall, S. & Foley, M. (2013). Shark Variable New Antigen Receptor (VNAR) Single Domain Antibody Fragments: Stability and Diagnostic Applications. *Antibodies*, 2, S. 66–81. <https://doi.org/10.3390/antib2010066>.

## 2 Material

### Material 1: Aufbau und Funktionsweise von Antikörpern [1]

Ein Antikörper besteht aus zwei identischen Paaren einer schweren und einer leichten Peptidkette, die zu einer Y-förmigen Struktur miteinander verknüpft sind (Abb. 1). Für die Funktion des Antikörpers muss diese Y-Form möglichst stabil sein. Dies wird unter anderem durch Disulfidbrücken erreicht.

Am Ende der Peptidketten befinden sich variable Bereiche (V), die sogenannten Antigenbindungsstellen. Diese Bereiche sind wichtig für die Immunabwehr. Krankheitserreger besitzen an ihrer Oberfläche bestimmte Strukturen, die sogenannten Antigene. An diese Strukturen binden die Antigenbindungsstellen der Antikörper und fixieren damit die Krankheitserreger. Diese Fixierung zwischen Antigenbindungsstelle und Antigen kann man sich modellhaft wie eine Schlüssel-Schloss-Passung vorstellen: Sie passen perfekt ineinander (Abb. 2).

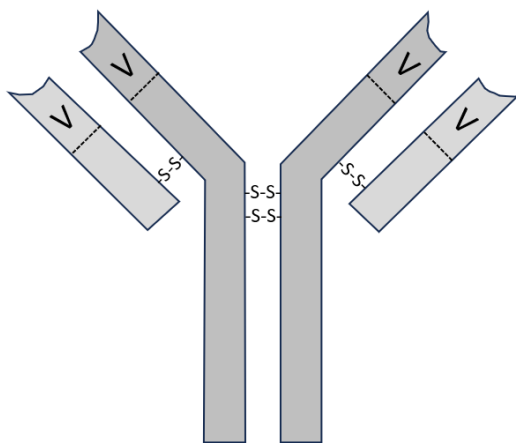


Abb. 1: Modelldarstellung zum Aufbau eines Antikörpers

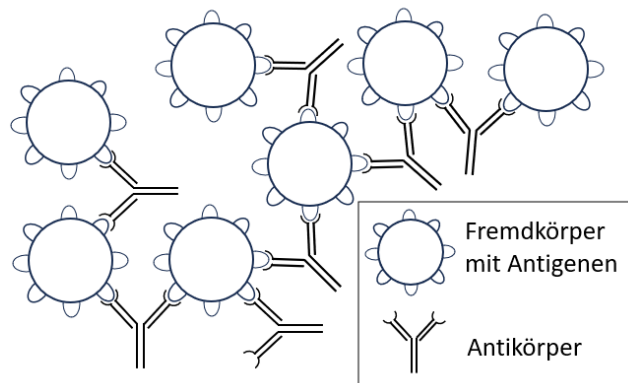


Abb. 2: Modelldarstellung zur Fixierung von Fremdkörpern durch die Antikörper

### Material 2: Liste ausgewählter proteinbildender Aminosäuren

| Name          | Systematischer Name          |
|---------------|------------------------------|
| Alanin        | 2-Aminopropansäure           |
| Glutaminsäure | 2-Aminopentandisäure         |
| Lysin         | 2,6-Diaminohexansäure        |
| Valin         | 2-Amino-3-methylbutansäure   |
| Serin         | 2-Amino-3-hydroxypropansäure |
| Leucin        | 2-Amino-4-methylpentansäure  |

### Material 3: Intermolekulare Wechselwirkungen zwischen Antigen und Antikörper [2]

Um ein Antigen zu fixieren, müssen zwischen der Oberfläche des Antigens und der variablen Region des Antikörpers intermolekulare Wechselwirkungen ausgebildet werden. Für diese reversible Anlagerung eines Antigens an einer der variablen Regionen des Antikörpers sind dabei die Reste der Aminosäuren-Bausteine von Antigen und Antikörper von entscheidender Bedeutung. Es bilden sich die gängigen Wechselwirkungen zwischen Peptidketten, die in Summe über die vielen Kontakte zwischen den Oberflächen zu einer spezifischen und starken Anhaftung führen.

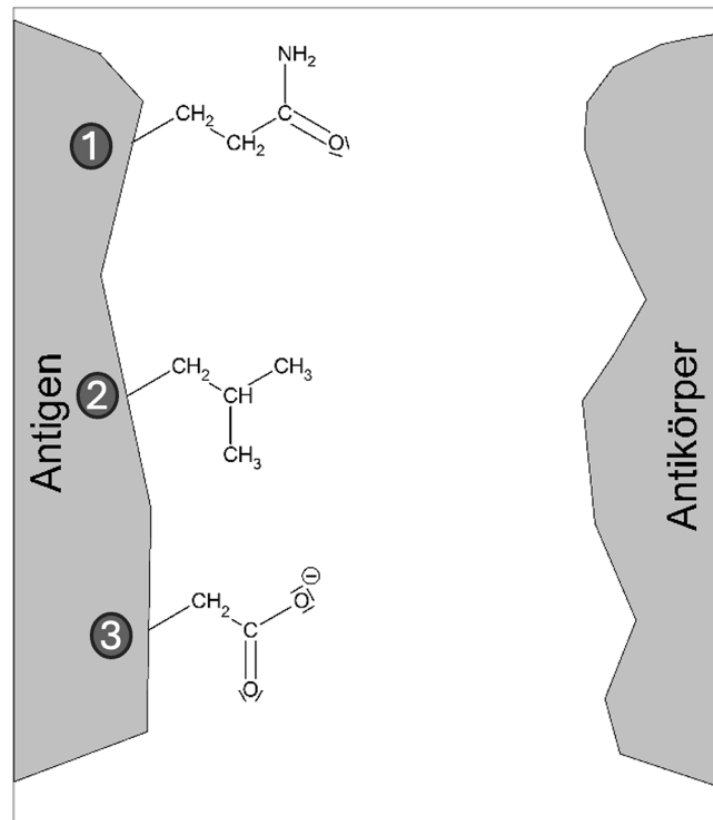


Abb. 3: unvollständige Skizze, die ausgefüllt drei mögliche Antikörper-Antigen-Wechselwirkungen (1-3) zeigen soll

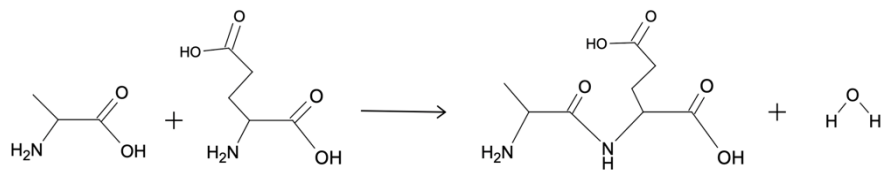
### Material 4: Untersuchungen zur Stabilität von Antikörpern [2]

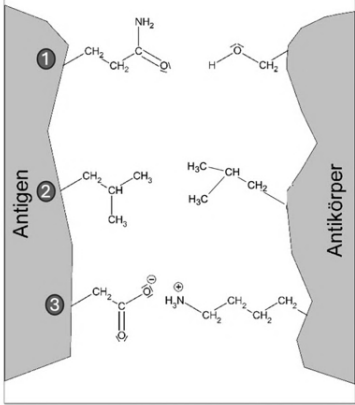
Die Antikörpertherapie ist ein neues Feld der Medizin. Dafür werden gezielt spezielle Antikörper entwickelt. Eine Schwierigkeit bei der Anwendung dieser Therapieform ist die Stabilität der Antikörper bei der Lagerung. Ändert sich die räumliche Struktur des Antikörpers auch nur minimal, ist er oft nicht mehr in der Lage, Antigene zu binden. In diesem Zusammenhang wurden Untersuchungen zur pH- und Temperaturstabilität eines neu entwickelten Antikörpers durchgeführt.

In einem Vorversuch wurde die Bindungsfähigkeit des Antikörpers an ein bestimmtes Antigen gemessen und diese als 100 % definiert. Dann wurde eine definierte Menge Antikörper jeweils 40 Tage bei verschiedenen Temperaturen und pH-Werten aufbewahrt und die Bindungsfähigkeit erneut gemessen. Dabei hat sich herausgestellt, dass die Bindungsfähigkeit bei einer Lagerung im Kühlschrank und bei pH = 5,5 und pH = 7,4 kaum beeinträchtigt wird. Bei pH = 3,0 kommt es zu einer deutlichen Verminderung, bei pH = 8,5 zu einer leichten Verminderung der Bindungsfähigkeit. Bei 50 °C ist nach 40 Tagen kaum noch eine Bindungsfähigkeit vorhanden.

### 3 Erwartungshorizont

Der Erwartungshorizont stellt für jede Teilaufgabe eine mögliche Lösung dar. Nicht dargestellte korrekte Lösungen sind als gleichwertig zu akzeptieren.

|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | BE/AFB |    |     |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----|-----|
|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | I      | II | III |
| 1 | <p><u>Analyse des Modells:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Die schematische Quartärstruktur ist in Abb. 1 zu sehen. Sie wird durch Disulfidbrücken zwischen den unterschiedlichen Peptidketten stabilisiert.</li> <li>Die Quartärstruktur beschreibt die Anordnung von mehreren Polypeptidketten, die sich zu einem Proteinkomplex zusammenlagern.</li> <li>Die Tertiärstruktur ist in Abb. 1 kaum zu erkennen, es sind lediglich Umrisse der dreidimensionalen Struktur angedeutet. Die genaue Tertiärstruktur ist nicht zu erkennen.</li> <li>Die Tertiärstruktur beschreibt die gesamte dreidimensionale Struktur eines Protein-Moleküls, die sich aufgrund der möglichen Wechselwirkungen und Bindungen zwischen den Resten der Aminosäuren ergibt.</li> <li>Die Sekundär- und die Primärstruktur sind nicht zu erkennen. Allerdings ist durch die Disulfidbrücken auf ein Vorhandensein einer schwefelhaltigen Aminosäure zu schließen.</li> <li>Die Sekundärstruktur beschreibt die räumlichen Anordnungen, die durch die Wechselwirkung der Peptidgruppen miteinander entstehen (<math>\alpha</math>-Helix und <math>\beta</math>-Faltblatt).</li> <li>Die Primärstruktur beschreibt die Abfolge der Aminosäuren in einer Peptidkette.</li> </ul> | 4      | 4  |     |
| 2 | <p><u>Formulierung der formalen Reaktionsgleichung:</u></p>  <p><u>Begründete Zuordnung des Reaktionstyps:</u><br/>Kondensation: Zwei Moleküle (hier Aminosäure-Moleküle) reagieren zu einem größeren Molekül (hier Dipeptid-Molekül) unter Abspaltung eines kleinen Moleküls (hier Wasser-Molekül).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 2      | 2  |     |
|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 1      | 1  |     |

|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |   |   |   |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|
| 3 | <p><u>Ergänzung der Abbildung:</u></p>  <p><u>Beschreibung der Wechselwirkungen:</u></p> <p>1: Wasserstoffbrücke zwischen den freien Elektronenpaaren des Sauerstoff-Atoms und dem positiv polarisierten Wasserstoff-Atom</p> <p>2: Wechselwirkungen zwischen unpolaren Kohlenwasserstoffresten, dadurch Anziehungskräfte zwischen temporären Dipolen</p> <p>3: Anziehung zwischen entgegengesetzt geladenen Ionen</p> <p><u>Beurteilung anhand von drei Aspekten:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Mögliche Aspekte: <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Die Skizze lässt mögliche Wechselwirkungen zwischen dem Antikörper und dem entsprechenden Antigen ableiten.</li> <li>◆ Die Passgenauigkeit der Aminosäurereste zwischen Antigen und Antikörper kann auf molekularer Ebene dargestellt werden.</li> <li>◆ Die Strukturebenen sind in der Darstellung vermisch (Stoff-Teilchen).</li> <li>◆ Die molekularen Strukturen des Antigens und des Antikörpers sind nicht differenziert dargestellt.</li> <li>◆ Es wird nicht deutlich, ob die Reste zu benachbarten Aminosäure-Bausteinen gehören.</li> <li>◆ Es ist nicht dargestellt, ob die Anzahl der Wechselwirkungen zwischen Antigen und Antikörper exemplarisch oder vollständig ist.</li> </ul> </li> <li>◆ Sachurteil: Die Abbildung ist zwar stark vereinfacht und dadurch fachlich ungenau, ist aber geeignet, um die unterschiedlichen Möglichkeiten der Wechselwirkungen zwischen dem Antigen und dem Antikörper zu zeigen.</li> </ul> | 3 | 3 |   |
| 4 | <p><u>Erklärung der veränderten Bindungsfähigkeiten:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Durch Temperaturerhöhung kommt es zur Zunahme der Teilchenbewegung. Dadurch können Wechselwirkungen innerhalb und zwischen den Peptidketten der Antikörper aufgehoben und neu gebildet werden. So kommt es zur dauerhaften Strukturveränderung im Bindungsbereich des Antikörpers und damit zur Verringerung der Bindungsfähigkeit. Bei 50 °C erfolgt eine fortgeschrittene Denaturierung.</li> <li>◆ Änderung des pH-Werts in den sauren bzw. basischen Bereich führt zu Protonierung bzw. Deprotonierung saurer bzw. basischer Reste der Aminosäuren. Auch das führt zu Formveränderungen und vermindert die Fähigkeit, Wechselwirkungen mit den Antigenen auszubilden.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 3 | 3 | 3 |

|                          |           |           |          |
|--------------------------|-----------|-----------|----------|
| <b>Summe<sup>1</sup></b> | <b>10</b> | <b>15</b> | <b>5</b> |
|--------------------------|-----------|-----------|----------|

## 4 Standardbezug<sup>2</sup>

| Teilaufgabe | Kompetenzbereich |   |   |   |
|-------------|------------------|---|---|---|
|             | S                | E | K | B |
| <b>1</b>    | 1, 13            | 9 |   | 1 |
| <b>2</b>    | 16               |   |   |   |
| <b>3</b>    | 13               | 9 | 7 | 1 |
| <b>4</b>    |                  | 8 | 8 |   |

## 5 Bewertungshinweise

Die Bewertung der erbrachten Prüfungsleistungen hat sich für jede Teilaufgabe nach der am rechten Rand der Aufgabenstellung angegebenen Anzahl maximal erreichbarer Bewertungseinheiten (BE) zu richten.

Für die Bewertung der Gesamtleistung eines Prüflings ist ein Bewertungsraster<sup>3</sup> vorgesehen, das angibt, wie die in den drei Prüfungsteilen insgesamt erreichten Bewertungseinheiten in Notenpunkte umgesetzt werden.

<sup>1</sup> Bei jeder Aufgabe liegen die Anzahlen der Bewertungseinheiten – abhängig vom Anforderungsniveau – in den Bereichen, die der folgenden Tabelle zu entnehmen sind:

| Anforderungsniveau  | erhöht  |         |        | grundlegend |         |       |
|---------------------|---------|---------|--------|-------------|---------|-------|
| Anforderungsbereich | I       | II      | III    | I           | II      | III   |
| Anzahl der BE       | 11 - 13 | 17 - 21 | 8 - 10 | 10 - 12     | 13 - 16 | 4 - 6 |

<sup>2</sup> Zu jeder Teilaufgabe sind zu jedem Kompetenzbereich die Nummern der Standards gemäß den Bildungsstandards im Fach Chemie für die Allgemeine Hochschulreife genannt, die zur Bearbeitung der Aufgabe erforderlich sind.

<sup>3</sup> Das Bewertungsraster ist Teil des Dokuments „Beschreibung der Struktur“, das auf den Internetseiten des IQB zum Download bereitsteht.