

# Schleimiger Schutz: Virenrückhalt und Selbstheilung von Schleim im Modellexperiment

IMAD CHAHROUR – JUDITH BREUER – HERMANN PODGORNOV – KATHARINA-MARIA KUSE – BENJAMIN PÖLLOTH

Beim körpereigenen Schleim handelt es sich um ein biologisches Hydrogel, das eine zentrale Rolle in der Entstehung, Prävention und Therapie vieler Atemwegs- und Magen-Darm-Erkrankungen spielt. Die genaue Funktion von Hydrogelen ist daher Gegenstand aktueller Forschung. Über Fachgrenzen hinweg werden Hydrogele interdisziplinär untersucht. Um diese Forschung zu ermöglichen, werden vielfach Modellhydrogele eingesetzt. Biologische Hydrogele, also „Rotz und Schleim“ sind somit nicht nur ein alltagsnaher, sondern auch ein forschungsnaher Kontext für den Chemieunterricht. In diesem Artikel wird eine Reihe von Modellexperimenten für die Sekundarstufe I mit einem sicheren und kostengünstigen Modellhydrogel aus Alaun und Guarkernmehl vorgestellt. Mit Hilfe dieser Experimente können das Virenrückhaltevermögen wie auch die Selbstheilungsfähigkeit von Hydrogelen untersucht werden. Diese Eigenschaften werden dabei didaktisch reduziert und im Hinblick auf die chemische Struktur sowie die zwischenmolekularen Wechselwirkungen erläutert und mit aktueller chemischer Forschung verknüpft.

## 1 Einleitung

Durch Viren ausgelöste Krankheiten der Atemwege, wie z.B. grippale Infekte, Covid-19 oder Influenza, begegnen Schüler/innen und Lehrkräften in Alltag und Schule. Auch wenn die Themenbereiche Gesundheit und Krankheit in erster Linie mit dem Biologieunterricht in Verbindung gebracht werden, liefert die Chemie einen großen Beitrag zu einem tieferen und ganzheitlichen Verständnis der Vorgänge in unserem Körper. So kann zum Beispiel die Schutzfunktion von körpereigenen Hydrogelen auf Schleimhäuten aus chemischer Perspektive betrachtet werden. Hydrogele an biologischen Grenzflächen – den meisten Schüler/innen und vermutlich auch Lehrkräften besser bekannt als „Rotz und Schleim“ – spielen eine wichtige Rolle beim Immunprozess, also der Abwehr von Infektionskrankheiten. Zudem sind Hydrogele aufgrund ihrer medizinischen Relevanz ein wichtiges Thema der aktuellen medizinisch-chemischen Forschung. Der von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderte interdisziplinäre Sonderforschungsbereich 1449 (SFB 1449) ist ein über mehrere Jahre angelegter Forschungsverbund verschiedener Berliner Hochschulen und Institute, in dem Spitzenforschende aus den Bereichen Chemie, Medizin, Materialwissenschaften und Physik zusammenarbeiten, um die Funktionen von Hydrogelen an biologischen Grenzflächen, unter anderem in den Atemwegen und im Darm, zu untersuchen.

Hydrogele liefern somit einen alltags- und forschungsnahen Kontext für den Chemieunterricht. Häufig wird aktuelle chemische Forschung im Unterricht, wenn überhaupt, erst in der Sekundarstufe II aufgegriffen. Dabei ist es gerade auch im Chemieunterricht der Sekundarstufe I wichtig, die Relevanz von chemischer Forschung für Alltag und Gesellschaft darzustellen (STUCKEY et al., 2013).

In diesem Artikel wird deshalb eine mögliche didaktische Erschließung des Themas für die Sekundarstufe I vorgestellt. Im

Zentrum steht eine Reihe einfacher, sicherer und kostengünstiger Modellexperimente, mit denen das Virenrückhaltevermögen und die Selbstheilungsfähigkeit von Hydrogelen untersucht werden können. Didaktisch reduziert lassen sich diese Eigenschaften auf zwischenmolekulare Wechselwirkungen zurückführen. Durch den Verweis auf aktuelle Forschung kann den Schüler/innen die Relevanz der Experimente verdeutlicht werden. Die vorgeschlagenen Experimente eröffnen zudem Anknüpfungspunkte für fächerübergreifenden Unterricht mit der Biologie, in dem die Körperabwehr und das Immunsystem vertieft behandelt werden können.

## 2 Theoretischer Hintergrund

### 2.1 Barrierefunktion von Hydrogelen

*Mucus* (lat. Schleim) ist ein dynamisches Hydrogel, das z.B. in den Atemwegen, den Augen, dem Verdauungstrakt und in den Reproduktionsorganen des menschlichen Körpers eine Rolle spielt. Chemisch gesehen besteht *Mucus* eines gesunden Menschen zu 95 % aus Wasser (CHANDNA et al., 2025). Das Wasser wird durch ein weitmaschiges Netz von Mucinen gebunden. Mucine sind chemisch gesehen Glycoproteine, die durch Disulfidbrücken verknüpft sind und aufgrund zahlreicher Sulfat- und Carboxylatgruppen bei entsprechenden pH-Werten negative Ladungen tragen (BEJ et al., 2024).

Hydrogele erfüllen zentrale Funktionen im Organismus: Sie dienen als Schmiermittel, schützen die unterliegenden Zellen vor Infektionen und übernehmen eine Barrierefunktion. Diese Barriere ist selektiv permeabel, da Hydrogele zwar Viren und Bakterien zurückhalten, unschädliche und auch lebensnotwendige Stoffe wie Nahrungsstoffe hingegen permittieren können (WOLDE-KIDAN et al., 2021). Diese Selektivität beruht unter anderem auf elektrostatischen Wechselwirkungen zwischen positiven Ladungen der Viren und negativen Ladungen an den Hydrogelen. Erkältungs- oder Coronaviren tragen oft eine posi-

tive Nettoladung auf ihrer Oberfläche und interagieren deshalb mit negativ geladenen Zellmembranen der Körperzellen (CHANDNA et al., 2025).

Chronische Lungenkrankheiten, wie Asthma, Mukoviszidose oder chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD) beruhen auf einer Fehlfunktion bzw. einem fehlerhaften Aufbau des *Mucus*. Bei Asthma kommt es zu einer anfallsweisen Verengung der Atemwege durch Entzündung und vermehrte Schleimbildung, während Mukoviszidose eine genetisch bedingte Erkrankung ist, bei der zäher Schleim die Atemwege verstopft und wiederkehrende Infektionen verursacht. Die COPD hingegen ist eine meist durch Rauchen bedingte, chronische Lungenerkrankung mit dauerhaft verengten Atemwegen und geschädigtem Lungengewebe. Die Schutzfunktion von *Mucus* wird insbesondere durch seine Fähigkeit zur Selbstheilung sichergestellt: Wird diese gelartige Schutzschicht verletzt, bilden sich dynamisch neue zwischenmolekulare Wechselwirkungen aus, so dass sich die Hydrogelschicht selbstständig wieder schließt (BEJ et al., 2024).

Die genaue Funktionsweise von *Mucus* ist bis heute noch unzureichend erforscht, obwohl für eine zielgerichtete Prävention und Behandlung von Krankheiten ein detailliertes Verständnis unumgänglich ist. Natürlicher und insbesondere humaner *Mucus* ist in größerer Menge schwer zugänglich, muss aufwändig gereinigt werden und erlaubt deshalb nur begrenzt Untersuchungen (BEJ et al., 2024). Um dennoch Forschung betreiben zu können, spielen geeignete synthetische Modellhydrogele eine zentrale Rolle. Eine Vielzahl von Modellhydrogelen ist mittlerweile hergestellt worden, deren Eignung als *Mucus*-Modelle geprüft wird. Dabei wird beispielsweise getestet, wie lange fluoreszenzmarkierte Partikel benötigen, um das Modellhydrogel zu durchdringen. So lässt sich vergleichen, inwiefern das Modell in der Lage ist, bestimmte Makromoleküle oder Viren im gleichen Ausmaß wie menschlicher Schleim zurückzuhalten. Computerchemische Simulationen geben zusätzliche Einblicke, welche zwischenmolekularen Wechselwirkungen für diese Barrierefunktion ursächlich sind (WOLDEKIDAN et al., 2021). Durch die gezielte Manipulation der chemischen Struktur lassen sich dann Modellhydrogele synthetisieren, die in ihren Eigenschaften humanen *Mucus* möglichst genau entsprechen.

## 2.2 Synthese von Schleim im Chemieunterricht

Die Synthese von schleimigen Substanzen erfreut sich großer Beliebtheit in Freizeit, Chemieunterricht und Schülerlabor (Abb. 1). Häufig wird dafür Polyvinylalkohol mit Borax (Dinatriumtetraborat) als Vernetzer umgesetzt (BADER & HARJI, 2000, SEREDA & HAWKINS, 2018). Aufgrund der potenziell reproduktionstoxischen Wirkung von Borax ist Schüler/innen der Umgang mit Borax und Borax-Lösungen seit einigen Jahren nicht mehr erlaubt. Auch für Demonstrationsexperimente besteht die Pflicht zu einer Ersatzstoffprüfung (DGUV, 13.06.2025). Sichere alternative Hydrogele können z.B. durch die Vernetzung einer Guaran-Lösung mit Ti(IV)-Komplexen (LÜHKEN & SGOFF, 2018) oder durch die Umsetzung von Alginaten mit Calciumchlorid (DUCCI, 2016, DIEKEMPER, PÖLLOTH & SCHWARZER, 2021) hergestellt

werden. Brink & Hubricht (2014) entwickelten einen besonders gefahrungsarmen „New Slime“ aus den Lebensmittelzusätzen Kaliumaluminiumsulfat (Alaun) und Guarkernmehl.



Abb. 1. Schülerinnen beim Experimentieren mit Schleim im Labor der Pharmazie beim *Girls' Day* 2025 an der Freien Universität Berlin (Foto: MARION KUKA).

## 3 Didaktische Überlegungen

Obwohl die Arbeit mit schleimigen Substanzen durch den Alltagsbezug und die besonderen Eigenschaften für viele Kinder und Jugendliche motivierend sein kann, fehlt für den Chemieunterricht oft die Anknüpfung an relevante Konzepte. Insbesondere gibt es nur wenige Beispiele zur Anbindung an aktuelle Forschung (BOWLES et al., 2012, GARRETT, MATHARU & HURST, 2017). Deshalb wurde eine Reihe von schülergeeigneten und sicheren Modellexperimenten entwickelt, die Schleim im Kontext von hochaktueller und interdisziplinärer Forschung thematisiert. Besonders deutlich wird die Verknüpfung, da in der Forschung ebenfalls Modellhydrogele verwendet werden und Modellexperimente somit als authentische wissenschaftliche Forschungswege mit Schüler/innen erörtert werden können (BEJ et al., 2024, SOMMER et al., 2017). Eine Diskussion der Eignung des synthetisierten Hydrogels als Modell für die Eigenschaften von Nasenschleim kann dabei auch die Bewertungskompetenz fördern.

Thematisch schließen die Modellexperimente an zwischenmolekulare Wechselwirkungen an, die eine zentrale Rolle im Basiskonzept vom Aufbau und den Eigenschaften von Stoffen und ihrer Teilchen spielen (Kultusministerkonferenz, 2024). Über den Aufbau von Hydrogelen und ihrer Funktion im Körper können Struktur-Eigenschafts-Beziehungen erschlossen werden. In der Sekundarstufe I ist es dabei im Sinne einer didaktischen Reduktion notwendig, die genaue Struktur des Hydrogels zu vernachlässigen. Beim Einsatz in der Sekundarstufe II kann im Themenbereich der Naturstoffe der Aufbau verschiedener Hydrogele aus vernetzten Polysacchariden bzw. Proteinen diskutiert werden.

Fächerübergreifende Anknüpfungspunkte ergeben sich zum Themenbereich Gesundheit - Krankheit des Biologieunterrichts

der Sekundarstufe I (Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie, 2015). Hier werden Abläufe der Immunantwort, Bakterien und Viren als Krankheitserreger sowie Möglichkeiten zur Bekämpfung von Infektionskrankheiten thematisiert. Eine wichtige Rolle bei der körpereigenen Abwehr von Viren übernimmt die Nasenschleimhaut. Die Modellversuche zeigen anschaulich anhand eines modellierten Nasengangs, wie der von der Nasenschleimhaut produzierte, intakte *Mucus* Viren effektiv abfängt und anschließend aus dem Körper transportiert. Ist der Schleim nicht intakt, z.B. durch geringere Mengen an Feuchtigkeit in der Schleimhaut bei Kälte oder auch trockener Heizungsluft, ist die Schleimhautfunktion eingeschränkt. Die Modellversuche sollen zum forschenden Lernen der Schüler/innen anregen. Die interdisziplinäre Diskussion in beiden Fächern kann ein ganzheitliches Verständnis etwa der Virenabwehr des Körpers fördern.

## 4 Experimente

In drei Teilversuchen werden das Virenrückhaltevermögen und die Fähigkeit zur Selbstheilung von Hydrogelen untersucht. Im ersten Teilversuch wird das Hydrogel (im Folgenden auch als Schleim bezeichnet) synthetisiert. Im zweiten Teilversuch findet die Modellierung des Virenrückhaltevermögens durch die Nasenschleimhaut statt. Dabei simuliert eine verdünnte Farbstofflösung die Viren und eine mit Schleim ausgekleidete Spritze einen Nasengang. Im dritten Teilversuch wird schließlich die Selbstheilung von Hydrogelen modelliert.

### 4.1 Versuch 1: Synthese des Hydrogels

Zunächst erfolgt die Synthese eines Modell-Schleims aus Guarkernmehl, Alaun und Natriumhydroxid.



Materialien (Einstufung der Chemikalien gemäß DEGINTU, Stand: 11.10.2025. Die hochgestellten Ziffern hinter den Stoffbezeichnungen beziehen sich auf die Ziffern bei den Piktogrammen):

**Geräte:** 100-mL-Becherglas, 100-mL-Messzylinder, 20-mL-Messzylinder, zwei 1-mL-Einwegpipetten, Glasstab, Spatel, Waage, pH-Papier.

**Chemikalien:** Guarkernmehl ( $m = 0,6\text{ g}$ ), Kaliumaluminiumsulfat-Lösung (ca.  $c = 0,2\text{ mol/L}$ ), Natriumhydroxid-Lösung<sup>1</sup> ( $c = 1\text{ mol/L}$ , Gefahr), demineralisiertes Wasser.

**Durchführung und Beobachtung:** Im Becherglas werden 0,6 g Guarkernmehl vorgelegt. Anschließend werden 30 mL demineralisiertes Wasser hinzugegeben und das Gemisch gründlich mit einem Glasstab für 3 min gerührt und danach kurz stehen gelassen. Während dieser Zeit ist eine zunehmende Viskosität feststellbar. Wird diese Quellzeit nicht eingehalten, zeigt der fertige Schleim schlechtere gummielastische Eigenschaften. Anschließend werden 2 mL der Kaliumaluminiumsulfat-Lösung zugegeben und gründlich vermischt, die Mischung färbt sich schwach gelb und die Viskosität nimmt weiter zu (BRINK & HUBRICH, 2014). Schließlich werden ca. 10 Tropfen der Natriumhydroxid-Lösung unter kontinuierlicher Messung des pH-Werts hinzugegeben, bis sich ein pH-Wert von ungefähr 8 einstellt. Durch sorgfältiges Rühren entsteht nach und nach ein homogener Schleim. Nach der Zugabe der Natriumhydroxid-Lösung bildet sich die charakteristische gummiartige Elastizität und eine deutlichere Gelbfärbung.

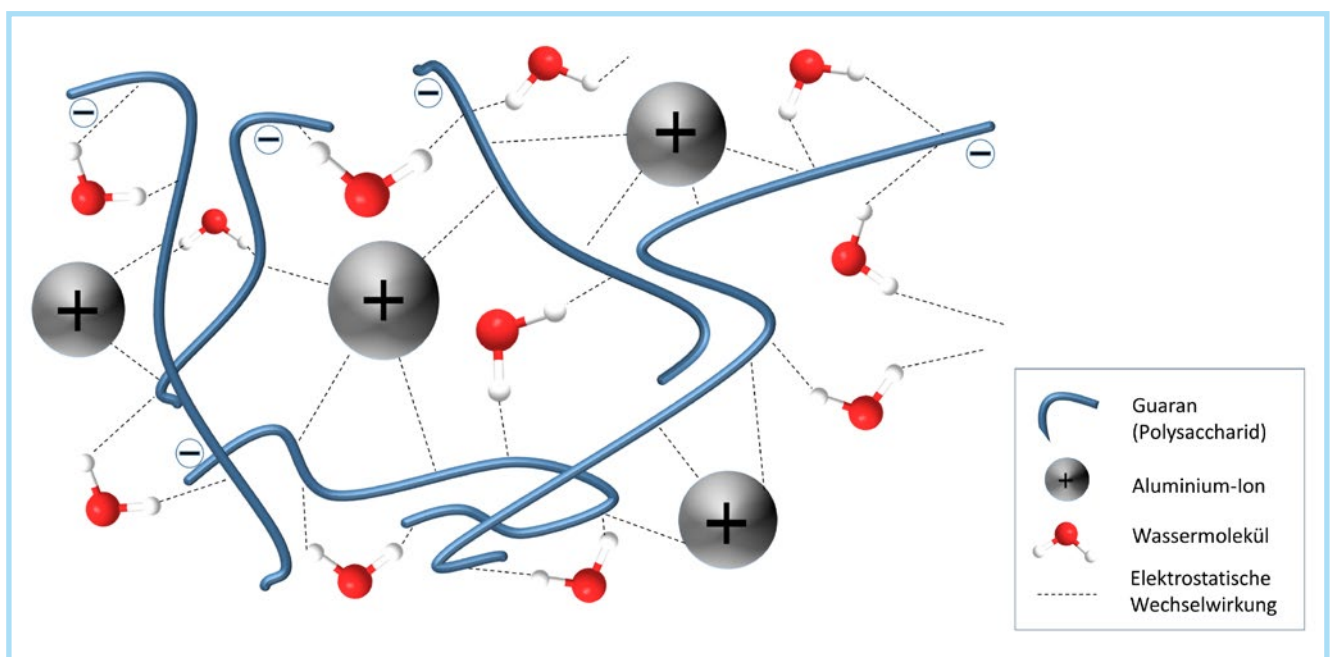


Abb. 2. Modellhafte Darstellung des Aufbaus des Hydrogels. Durch elektrostatische Wechselwirkungen mit den positiv geladenen Aluminium-Ionen lagern sich Guarant-Polysaccharidketten und Wassermoleküle zu einem vernetzten Hydrogel zusammen.

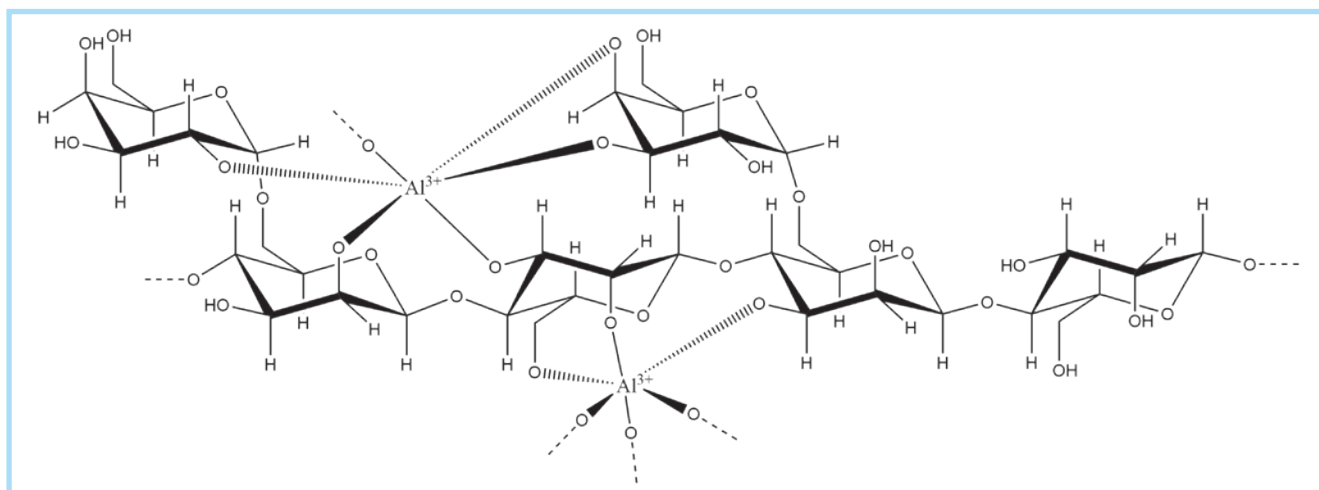


Abb. 3. Darstellung der Bindungsverhältnisse und Wechselwirkungen im Hydrogel (Sekundarstufe II). Auf die Darstellung der Wassermoleküle wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet.

**Auswertung:** Guarkernmehl besteht aus langkettigen Polysaccharidketten. Diese können über elektronegative Stellen mit Aluminium(III)-Ionen wechselwirken, wodurch eine vernetzte Makrostruktur entsteht, in die Wassermoleküle eingelagert werden können (schematische Darstellung Abb. 2). In der Sekundarstufe II kann anhand der genauen Struktur der Polysaccharidketten erklärt werden, dass durch Deprotonierung der Hydroxygruppen stärkere Wechselwirkungen ausgebildet werden können, die auf der Stoffebene zu einer Erhöhung der Zähigkeit des Schleims führen (Abb. 3).

#### 4.2 Versuch 2: Virenrückhaltevermögen von Hydrogelen

Im zweiten Versuch wird untersucht, wie gut der synthetisierte Schleim Farbstoff-Moleküle zurückhalten kann. Dadurch wird die Wechselwirkung zwischen *Mucus* und Viren modelliert.

Materialien (Einstufung der Chemikalien gemäß DEGINTU, Stand: 11.10.2025.):

**Geräte:** 12-mL-Spritze, 50-mL-Rollrandglas, 100-mL-Messzylinder, ein Sprüh- bzw. Zerstäuberfläschchen (z.B. leeres Parfümfläschchen), Glasstab, Spatel, Stativmaterial.

**Chemikalien:** Schleim aus Versuch 1, Lebensmittelfarbstoff-Lösung (z.B. Patentblau V, im Versuch wurde eine 1%-ige Farbstofflösung der Firma Omikron verwendet), demineralisiertes Wasser.

**Durchführung** (Abb. 4): Es werden 0,5 mL der Lebensmittelfarbstofflösung im 100-mL-Messzylinder vorgelegt und mit Wasser auf 100 mL aufgefüllt. Mithilfe des Spatels wird Schleim aus Versuch 1 in die Spritze gefüllt. Mit einem Glasstab werden die Spritzeninnenwände vollständig mit Schleim bedeckt. Die verdünnte Farbstofflösung wird in das Sprühfläschchen gefüllt. Im Waschbecken werden einige Sprühstöße abgegeben, damit der Farbstoff in das Steigrohr gelangt. Die Spritze wird senkrecht am Stativ befestigt, woraufhin mit dem Sprühfläschchen

die Farbstofflösung (ca. 10 Sprühstöße) in die Spritze gegeben wird. Nach etwa 10 Minuten wird der gefärbte Schleim mithilfe des Spritzenkolbens in ein kleines Becherglas gedrückt. Nach kurzem Rühren mit einem Glasstab wird demineralisiertes Wasser ins Becherglas gegeben, sodass der Schleim großzügig bedeckt ist.

**Beobachtung:** Die Farbstofflösung interagiert mit dem Schleim, der nach und nach eine grün-blaue Färbung annimmt. Auch bei Zugabe von Wasser, bleibt der Farbstoff im Schleim und das Wasser ungefärbt.

**Auswertung des Modellexperiments:**

Die Farbstoffmoleküle können sich durch zwischenmolekulare Kräfte an der Oberfläche und in den Poren des Hydrogels anlagern – dieser Vorgang wird Adsorption genannt. Diese Beobachtung lässt sich durch Analogiebildung auf die Nasenschleimhaut übertragen: Der dort befindliche Schleim kann bestimmte Makromoleküle wie z.B. Viren binden und sie somit am Eindringen in den Körper hindern. Anschließend können die im Schleim gebundenen Viren durch die Nase abtransportiert werden.

Die Schutzwirkung der Nasenschleimhaut lässt sich noch differenzierter betrachten: Sie erfüllt zunächst eine mechanische Barrierefunktion. Der zähe *Mucus* bildet eine physische Schicht, die Partikel, Staub und Mikroorganismen einfängt und durch die Bewegung der Flimmerhärchen (Zilien) nach außen transportiert. Auf diese Weise wird verhindert, dass Erreger in tiefere Gewebeschichten eindringen. Zum anderen erfüllt die Nasenschleimhaut eine chemische Barrierefunktion, die auf spezifischen molekularen Wechselwirkungen beruht. Neben den vorherrschenden elektrostatischen Anziehungen zwischen den positiv geladenen Oberflächen von Erregern und den negativ geladenen Sulfat- und Carboxylatgruppen der Mucine tragen auch Wasserstoffbrückenbindungen sowie London-Wechselwirkungen zur Viskosität und Elastizität bei, sodass Moleküle und Partikel im Schleim fixiert werden (Abb. 5). Auf diese Weise entsteht durch das Zusammenspiel aus mechanischem Rückhalt

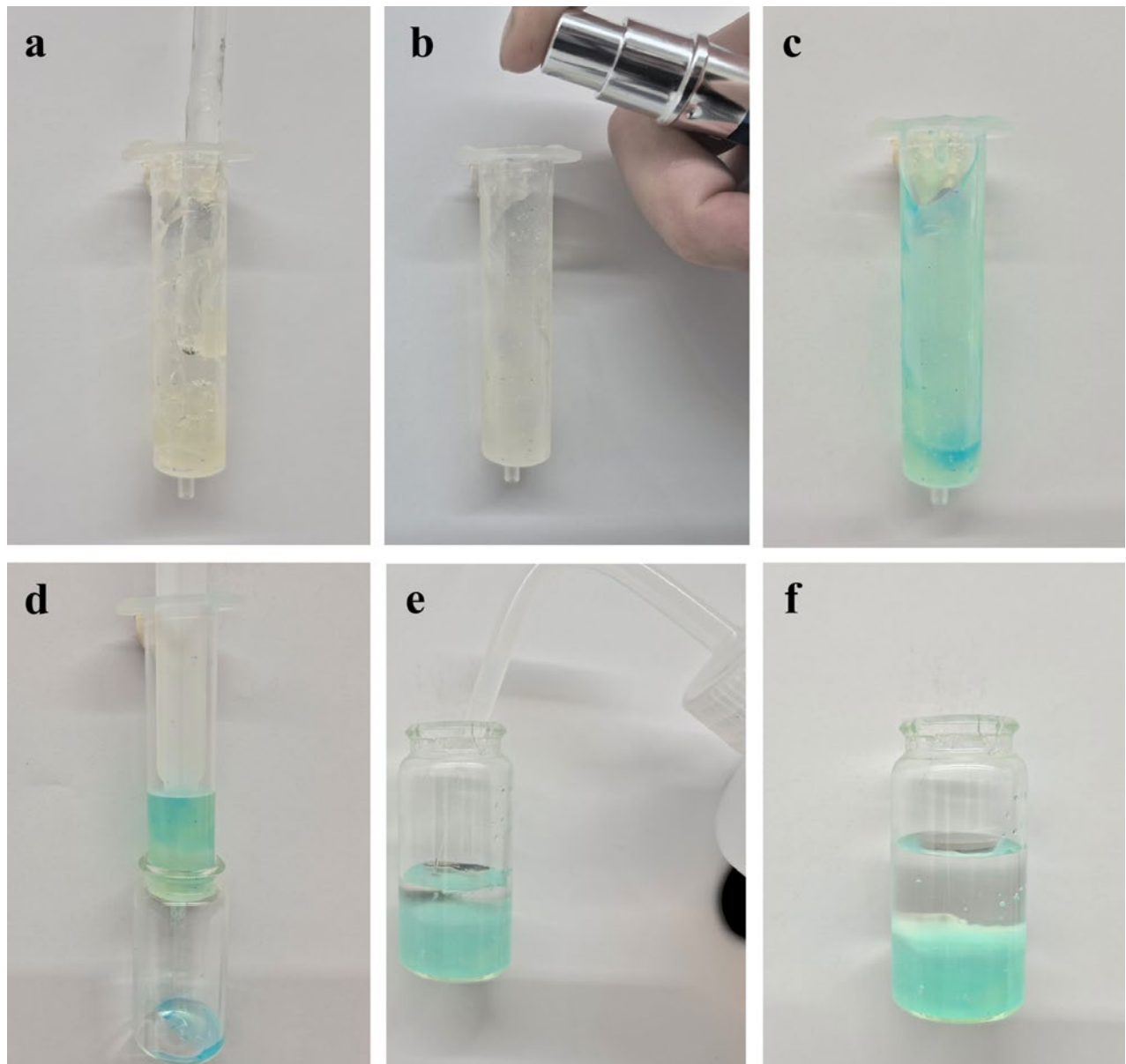


Abb. 4. a) Verstreichen des Schleims an der Innenwand der Spritze (Modell des Nasengangs); b) Aufsprühen der verdünnten Farbstofflösung in die Spritze (Modell für Krankheitserreger); c) Färbung des Schleims; d) Nach ca. 10 min: Überführen des Schleims mit einem Spritzenkolben in das Rollrandglas; e) Zugabe von Wasser und Verrühren mit dem Glasstab; f) Beobachtung: Der Farbstoff wird im Schleim zurückgehalten.

und chemischen Bindungsmechanismen eine doppelte Schutzwirkung des Schleims, der in den Zellen der Nasenschleimhaut produziert wird.

#### 4.3 Versuch 3: Selbstheilung von Hydrogelen

In diesem Modellversuch wird die Selbstheilungsfähigkeit von Schleim modelliert.

Materialien (Einstufung der Chemikalien gemäß DEGINTU, Stand: 11.10.2025.):

Geräte: 25-mL-Becherglas, Petrischale, Spatel.

*Chemikalien:* Schleim aus Versuch 1, verdünnte Lebensmittelfarbstoff-Lösung.

*Durchführung:* Der hergestellte Schleim aus 4.1 wird in ein Becherglas gegeben und optional zur besseren Erkennbarkeit mit 3–5 Tropfen der verdünnten Lebensmittelfarbe angefärbt. Der Schleim wird mittig auf die Petrischale gegeben und mit einem Spatel zerteilt. Das Hydrogel ist zur Selbstheilung in der Lage, solange die Schnittkanten wieder miteinander in Kontakt gebracht werden. Dieser Vorgang lässt sich beliebig oft wiederholen.

*Beobachtung:* Die sich berührenden Hälften verbinden sich wieder zu einem einzigen, intakten Hydrogel (Abb. 6).

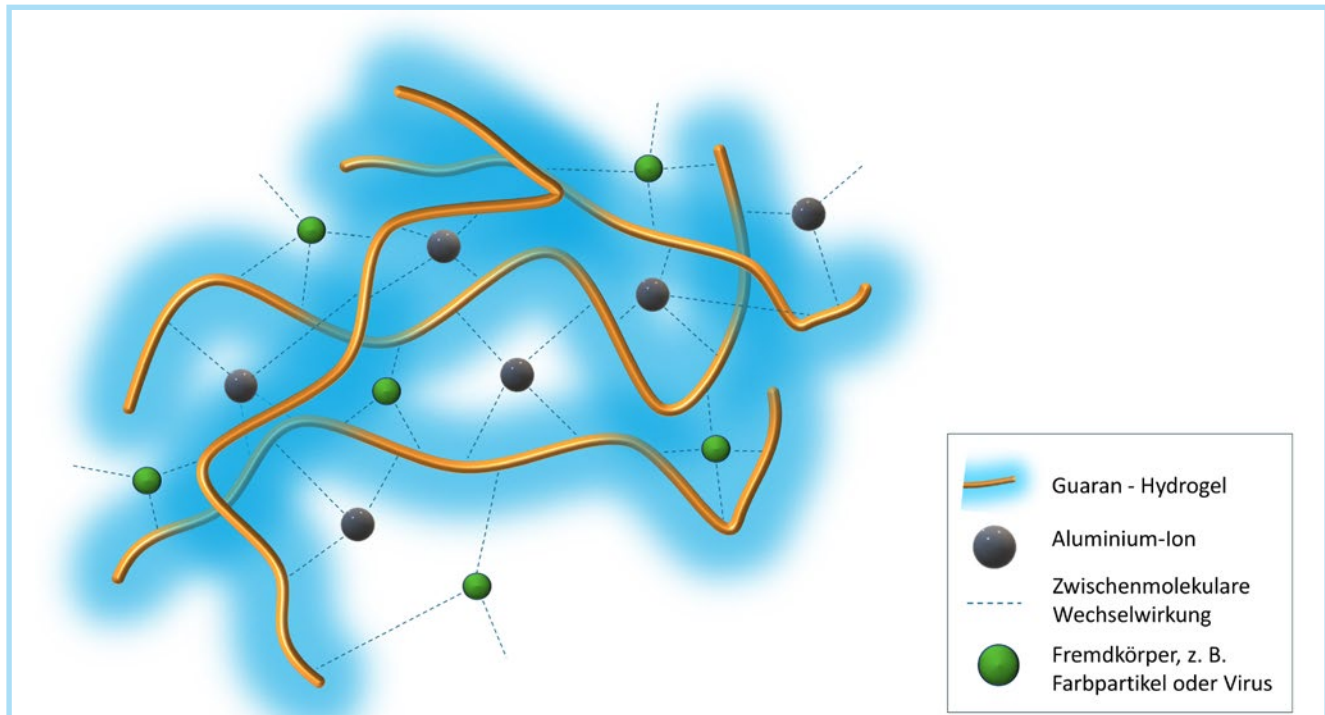


Abb. 5. Modellhafte Darstellung der elektrostatischen Wechselwirkungen des vernetzten Guar-Hydrogels mit Fremdkörpern, z.B. Farbstoffpartikeln oder Viren.

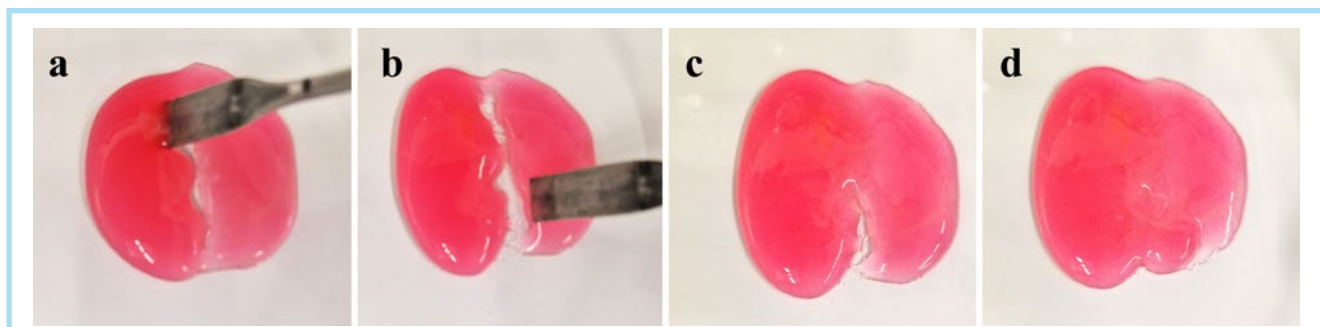


Abb. 6. Versuch zur Selbstheilung von Hydrogelen: a) Trennen des Hydrogels mit dem Spatel, b) Trennung der Hälften liegt vor, c) die beiden Segmente rekombinieren nach kurzer Zeit, d) das Hydrogel ist wieder intakt.

**Auswertung des Modellexperiments:** Zerteilt man das Hydrogel in zwei separate Segmente und bringt diese erneut miteinander in Kontakt, rekombinieren diese aufgrund zwischenmolekularer Kräfte. Diese Fähigkeit zur Selbstheilung ist eine Eigenschaft von elastischen Hydrogelen. Auch im menschlichen Körper findet sich dieses Phänomen, sodass die Schutzschicht von Schleimhäuten intakt bleibt. Dynamische und reversible Wechselwirkungen im Polymernetzwerk führen zu diesem Verhalten. Im Selbstheilungsvorgang entstehen neue Verschlaufungen der Polymerketten (Abb. 7).

## 5 Fazit

Die vorgestellten Modellexperimente ermöglichen es Schüler/innen schon in der Sekundarstufe I, biologisch bedeutende Eigenschaften von Hydrogelen anschaulich nachzuvollziehen und auf einfache chemische Konzepte wie zwischenmolekulare

Wechselwirkungen zurückzuführen. Dadurch wird die Relevanz chemischer Zusammenhänge im Alltag, insbesondere für Gesundheitsthemen, deutlich. Im Anschluss an die Experimente bietet sich ein Bezug auf die „Schleimforschung“ im SFB 1449 an, da dort synthetische Hydrogele nach Vorbild des körpereigenen *Mucus* (Schleims) für eine große Bandbreite von medizinischen Fragestellungen entwickelt werden. Das Arbeitsblatt in Kasten 1 (vgl. auch Lösungshinweise in Kasten 2) stellt eine mögliche Anknüpfung für die Schule dar, der zugrundeliegende Artikel von BEJ et al. (2024) ist kostenfrei online verfügbar (<https://doi.org/10.1002/adma.202401745>) und kann somit auch in der Schule zur Illustration der Authentizität verwendet werden. Die Eignung des selbst hergestellten Schleims als Modellhydrogel kann kritisch beleuchtet und diskutiert werden. In diesem Kontext kann nicht nur die Bewertungskompetenz gefördert werden, sondern auch die bedeutende Rolle von Modellexperimenten für die Erkenntnisgewinnung dargestellt werden.

### Rotz und Schleim – ein Thema aktueller Forschung!

*Mucus*, wie Schleim wissenschaftlich bezeichnet wird, spielt eine wichtige Rolle in biologischen Organismen, z.B. in der Abwehr von Infektionskrankheiten. *Mucus* ist aus langkettigen Molekülen aufgebaut, die über zwischenmolekulare Wechselwirkungen vernetzt sind und zwischen denen viele Wassermoleküle eingelagert werden können.

Bei Krankheiten wie Mukoviszidose, Morbus Crohn, grippalen Infekten oder Covid-19 spielt *Mucus* eine zentrale Rolle. Die Wirkungsweise von *Mucus* an biologischen Grenzflächen ist erst wenig untersucht. Deshalb forschen Wissenschaftler/innen an der genauen Funktion von *Mucus*, um darauf aufbauend neue Therapie- und Schutzmöglichkeiten zu entwickeln. Diese Fragen sind so wichtig, dass sich Forscher/innen zu einem Sonderforschungsbereich (SFB 1449) zusammengeschlossen haben, in dem zahlreiche Forscher/innen aus Chemie, Medizin, Physik und Materialwissenschaften „Rotz und Schleim“ erforschen!

In der Vergangenheit wurde für die Forschung meist *Mucus* von Tieren oder menschlichen Patienten verwendet. Diese Methode ist jedoch problematisch, da nur kleine Mengen an *Mucus* gewonnen werden können. Außerdem unterscheidet sich natürlicher *Mucus* je nach Ursprung in seiner Beschaffenheit. Das macht die Forschung umständlicher und schwierig zu reproduzieren (zu wiederholen).

Ein Lösungsansatz sind synthetische (künstlich hergestellte) *Mucus*-Modelle. Diese lassen sich aus verfügbaren Ausgangsstoffen in großen Maßstäben und in gleichbleibender Qualität herstellen. Allerdings muss dabei sichergestellt werden, dass die Eigenschaften des synthetischen *Mucus* dem natürlichen *Mucus* entsprechen.

Eine Forschergruppe an der Freien Universität Berlin hat dafür ein *Mucus*-Modell mit dem Namen MICP-1 entwickelt, welches ähnliche Eigenschaften wie biologischer *Mucus* aufweist. MICP-1 hat selbstheilende Eigenschaften. Es ist in der Lage, Herpesviren (HSV1) und Corona-Viren (SARS-CoV2) zu binden und somit eine potentielle Infektion zu verhindern.

#### Arbeitsaufträge

1. Nenne Eigenschaften von natürlichem *Mucus*, die ein geeignetes *Mucus*-Modell aufzeigen sollte.
2. Begründe, weshalb im Sonderforschungsbereich Wissenschaftler/innen aus ganz verschiedenen Forschungsbereichen zusammenarbeiten.
3. Bewerte, inwiefern es sich beim im Unterricht hergestellten Hydrogel, um ein Modell für *Mucus* handelt.
4. Unten siehst du eine Originalabbildung aus einem Forschungsartikel von RAJU BEJ und Kolleg/innen aus dem Jahr 2024 mit der Beschriftung „Test zur Bewertung der schützenden Eigenschaften von Hydrogelen gegen Virusinfektionen“. Stelle eine Hypothese auf, wie ein solcher Test funktionieren könnte.

#### RESEARCH ARTICLE

**ADVANCED  
MATERIALS**  
www.advmat.de

### Mucus-Inspired Self-Healing Hydrogels: A Protective Barrier for Cells against Viral Infection



Bildquelle: BEJ, R., STEVENS, C. A., NIE, C., LUDWIG, K., DEGEN, G. D., KERKHOFF, Y., PIGALEVA, M., ADLER, J. M., BUSTOS, N. A., PAGE, T. M., TRIMPERT, J., BLOCK, S., KAUFER, B. B., RIBBECK, K. & HAAG, R. (2024). Mucus-Inspired Self-Healing Hydrogels: A Protective Barrier for Cells against Viral Infection. *Advanced materials* 36(32), e2401745.

Kasten 1. Vorlage für ein Arbeitsblatt zur Verknüpfung der Modellexperimente mit aktueller Forschung

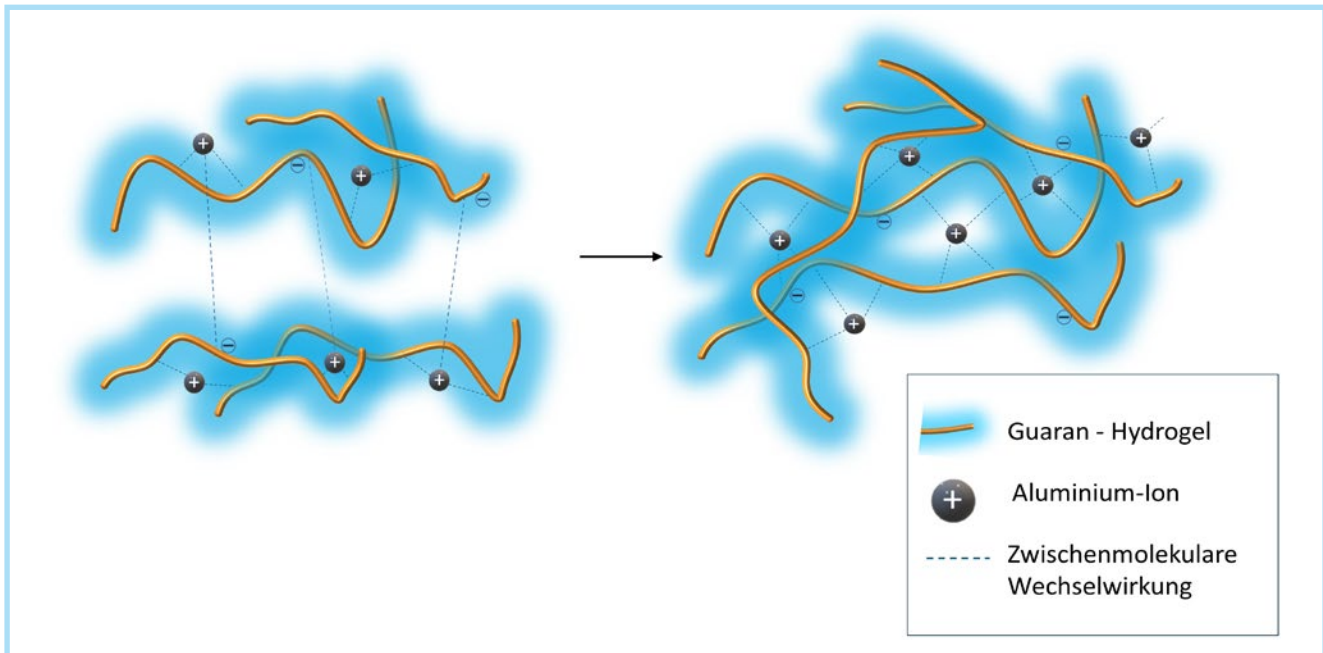


Abb. 7. Schematische Darstellung der Selbstheilung von dynamischen Hydrogelen.

### 1. Eigenschaften von natürlichem Mucus:

- Viskosität und Elastizität
- Quellfähigkeit (Einlagerung von Wassermolekülen)
- Fähigkeit, bestimmte Krankheitserreger zu binden
- Fähigkeit zur Selbstheilung

### 2. Interdisziplinarität:

- Chemie: Charakterisierung von Aufbau und Vernetzung der Moleküle, Synthese geeigneter Modellhydrogele
- Physik und Materialwissenschaften: Untersuchung der mechanischen Eigenschaften der Hydrogele
- Medizin: Untersuchungen an Patient/inn/en, Entwicklung von Therapiemöglichkeiten
- Biologie: Charakterisierung der Krankheitserreger und Umgang mit Zellen

### 3. Mögliche Kriterien zur Bewertung des hergestellten Hydrogels:

- bindet viel Wasser und zeigt eine *Mucus*-ähnliche Viskosität und Elastizität.
- zur Selbstheilung fähig
- kann prinzipiell Partikel binden
- Bindungsfähigkeit von Viren wurde nicht untersucht
- Strukturelle Unterschiede (Polysaccharid-basiert statt Glycoproteine)
- Individuelles Fazit der Schüler/inn/en

### 4. Funktionsweise des Tests:

- Aufbau: Im oberen Kompartiment befindet sich das zu testende Hydrogel. Im unteren Kompartiment befinden sich (gesunde) Zellen. Die mikroporöse Membran verhindert, dass sich Zellen und Hydrogel mischen.
- Auf das obere Kompartiment wird eine Lösung mit Herpesviren gegeben.
- Nur Viren, die nicht durch das Hydrogel im oberen Kompartiment gefiltert bzw. gebunden werden, gelangen zu den Zellen im unteren Kompartiment.
- Nach einer bestimmten Zeit wird untersucht, wie viele Zellen aus dem unteren Kompartiment mit dem Virus infiziert wurde. Durch einen Vergleich des Virusbefalls lässt sich somit die Barrierefunktion verschiedener Hydrogele vergleichen.

#### Kasten 2. Lösungsvorschlag der Arbeitsaufträge zum Arbeitsblatt

Die vorgestellten Modellexperimente lassen sich perspektivisch auch in anderen Kontexten einsetzen. So werden natürliche Polysaccharide – und insbesondere das hier verwendete Guar

(Hauptbestandteil von Guarkernmehl) – als nachhaltige Substanzen zur Adsorption von Farbstoffmolekülen aus Abwässern eingesetzt (BLACKBURN, 2004).

## Danksagung

Wir danken JAN OLE ROST für die Unterstützung bei der Entwicklung der Experimente und der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Förderung (Projektnummer 431232613 – SFB 1449).

## Hinweis

Die in diesem Beitrag beschriebenen Experimentieranleitungen wurden sorgfältig erarbeitet. Dennoch können weder die Autor/inn/en noch die Herausgeber/innen für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen eine Haftung übernehmen, auch Druckfehler können nicht immer ausgeschlossen werden. Es sei darauf hingewiesen, dass beim Experimentieren grundsätzlich ein Kittel und eine Schutzbrille zu tragen sind, auch wenn dies in Versuchsvorschriften nicht immer explizit erwähnt wird. Außerdem ist zu beachten, dass vor Versuchsdurchführungen in der Schule eine Gefährdungsbeurteilung unter Beachtung der örtlichen Gegebenheiten zu erstellen ist.

## Literatur

BADER, H. J. & HARJI, Z. (2000). Slime. Die Faszination von „Glibber“. *Praxis der Naturwissenschaften. Chemie*, 49(1), 38.

BEJ, R., STEVENS, C. A., NIE, C., LUDWIG, K., DEGEN, G. D., KERKHOFF, Y., PIGALEVA, M., ADLER, J. M., BUSTOS, N. A., PAGE, T. M., TRIMPERT, J., BLOCK, S., KAUFER, B. B., RIBBECK, K. & HAAG, R. (2024). Mucus-Inspired Self-Healing Hydrogels: A Protective Barrier for Cells against Viral Infection. *Advanced materials*, 36(32), e2401745.

BLACKBURN, R. S. (2004). Natural polysaccharides and their interactions with dye molecules: applications in effluent treatment. *Environmental science & technology*, 38(18), 4905–4909.

BOWLES, R. D., SAROKA, J. M., ARCHER, S. D. & BONASSAR, L. J. (2012). Novel Model-Based Inquiry of Ionic Bonding in Alginate Hydrogels Used in Tissue Engineering for High School Students. *Journal of Chemical Education*, 89(10), 1308–1311.

BRINK, A. & HUBRICHT, S. (2014). New Slime. *CHEMKON*, 21(1), 23–27.

CHANDNA, S., POVOLOTSKY, T. L., NIE, C., SCHWARTZ, S., WEDEPOHL, S., QUAAS, E., LUDWIG, K., BOYKOVA, Y., BHATIA, S., MEYER, K., FALKENHAGEN, J., HAAG, R. & BLOCK, S. (2025). Lignin-Based Mucus-Mimicking Antiviral Hydrogels with Enzyme Stability and Tunable Porosity. *ACS applied materials & interfaces*, 17(6), 8962–8975.

DGUV (13.06.2025). DEGINTU - Gefahrstoffinformationssystem für den naturwissenschaftlich-technischen Unterricht der Gesetzlichen Unfallversicherung. <https://degintu.dguv.de/chemicals> (13.06.2025).

DIEKEMPER, D., PÖLLOTH, B. & SCHWARZER, S. (2021). From Agricultural Waste to a Powerful Antioxidant: Hydroxytyrosol as a Sustainable Model Substance for Understanding Antioxidant Capacity. *Journal of Chemical Education*, 98(8), 2610–2617.

DUCCI, M. (2016). „Jetzt geht's rund“ – Redoxreaktionen in Alginatbällchen. *CHEMKON*, 23(1), 14–18.

GARRETT, B., MATHARU, A. S. & HURST, G. A. (2017). Using Greener Gels To Explore Rheology. *Journal of Chemical Education*, 94(4), 500–504.

Kultusministerkonferenz (2024). Weiterentwickelte Bildungsstandards in den Naturwissenschaften für das Fach Chemie (MSA).

LÜHKEN, A. & SGOFF, D. (2018). Titan-Slime – zwischen Hightech und Spielzeug. *CHEMKON*, 25(3), 118–120.

Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie (Berlin) (2015). Berliner Rahmenlehrplan für die Sekundarstufe I. Jahrgangsstufe 7–10. Biologie. [https://bildungsserver.berlin-brandenburg.de/fileadmin/bbb/unterricht/rahmenlehrplaene/Rahmenlehrplanprojekt/amtliche\\_Fassung/Teil\\_C\\_Biologie\\_2015\\_11\\_10.pdf](https://bildungsserver.berlin-brandenburg.de/fileadmin/bbb/unterricht/rahmenlehrplaene/Rahmenlehrplanprojekt/amtliche_Fassung/Teil_C_Biologie_2015_11_10.pdf).

SEREDA, G. & HAWKINS, B. (2018). Introducing Students to the Medical Applications of Cross-Linked Hydrogels Using Nontoxic Materials and Experiments Suitable for Many Settings. *Journal of Chemical Education*, 95(11), 2068–2070.

SFB 1449. Dynamic Hydrogels at Biointerfaces. <https://www.sfb1449.de/> (2025-08-09).

SOMMER, K., TOSCHKA, C., SCHRÖDER, L., SCHRÖDER, T. P., STEFF, H. & FISCHER, R. A. (2017). Modellexperimente im Chemieunterricht. *CHEMKON*, 24(1), 13–19.

STUCKEY, M., HOFSTEIN, A., MAMLOK-NAAMAN, R. & EILKS, I. (2013). The meaning of 'relevance' in science education and its implications for the science curriculum. *Studies in Science Education*, 49(1), 1–34.

WOLDE-KIDAN, A., HERRMANN, A., PRAUSE, A., GRADZIELSKI, M., HAAG, R., BLOCK, S. & NETZ, R. R. (2021). Particle Diffusivity and Free-Energy Profiles in Hydrogels from Time-Resolved Penetration Data. *Biophysical journal*, 120(3), 463–475.

IMAD CHAHROUR, [imac01@zedat.fu-berlin.de](mailto:imac01@zedat.fu-berlin.de), studiert Chemie (Master of Science) an der Freien Universität Berlin und ist studentischer Beschäftigter in der Didaktik der Chemie.

JUDITH LEA BREUER, [breuej87@zedat.fu-berlin.de](mailto:breuej87@zedat.fu-berlin.de), studiert Lehramt für Gymnasium und Integrierte Sekundarschulen für Biologie und Chemie (Master of Education) an der Freien Universität Berlin und ist studentische Beschäftigte in der Didaktik der Chemie.

HERMANN PODGORNOV absolvierte seinen Bachelor in Chemie an der Freien Universität Berlin, war als studentischer Beschäftigter im NatLab-Chemie tätig und sammelt aktuell Arbeitserfahrung im Wissenschafts- und Technologiepark Adlershof.

DR. KATHARINA-MARIA KUSE, [katharina.kuse@fu-berlin.de](mailto:katharina.kuse@fu-berlin.de), Freie Universität Berlin, NatLab, Fabeckstraße 34/36, 14195 Berlin, studierte Chemie (Diplom) an der Freien Universität Berlin. Nach ihrer Promotion an der TU Berlin führte sie ein PostDoc-Aufenthalt wieder an die FU Berlin. Seit 2014 ist sie dort im Schülerlabor NatLab tätig und leitet seit 2016 den Teilbereich NatLab-Chemie. Ihre Tätigkeitsschwerpunkte sind die fachwissenschaftliche Ausbildung von Lehramtsstudierenden, die Entwicklung neuer Chemie-Experimente sowie die Verzahnung von Lehramtsausbildung und Schülerlabor.

Prof. Dr. BENJAMIN PÖLLOTH, [benjamin.poelloth@fu-berlin.de](mailto:benjamin.poelloth@fu-berlin.de), Freie Universität Berlin, Haderslebener Str. 9, 12163 Berlin, studierte Lehramt Gymnasium für Chemie, Mathematik und ev. Religionslehre an der Universität Regensburg. Nach seinem Referendariat promovierte er in der Organischen Chemie an der LMU München. Nach einer Tätigkeit als PostDoc und Lehrkraft in Tübingen ist er seit Dezember 2024 Professor für Didaktik der Chemie an der Freien Universität Berlin. Seine Forschungsinteressen liegen u.a. auf der Erschließung aktueller Forschung für den Chemieunterricht. ■