



# teachers + scientists

Für Wissenschaft begeistern



**Materialien und Konzepte für den MINT-Unterricht  
Kooperationsleitfaden für Lehrkräfte und Forschende**

# Impressum

## Herausgeber

Science on Stage Deutschland e. V. (SonSD)  
Poststraße 4/5  
10178 Berlin

## Koordinatoren-Team

Helga Fenz, Robert-Havemann-Gymnasium Berlin,  
Vorstand SonSD  
Christian Karus, Andreas-Vesalius-Gymnasium Wesel  
Dr. Tom Steinlein, Universität Bielefeld, Fakultät für Biologie

## Gesamtkoordination und Redaktion

Karoline Kirschner, Projektmanagerin SonSD  
Stefanie Schlunk, Geschäftsführerin SonSD

## In Kooperation mit

Stiftung Jugend forscht e. V.

**jugend**  **forscht**

## Hauptförderer von Science on Stage Deutschland e. V.

**think**  
**INGU.**

Die Initiative für  
Ingenieur Nachwuchs

## Text- und Bildnachweise

Die Autorinnen und Autoren haben die Bildrechte für die Verwendung in dieser Publikation nach bestem Wissen geprüft und sind für den Inhalt ihrer Texte verantwortlich.

## Gestaltung

WEBERSUPIRAN.berlin

## Illustrationen

Heike Kreye

## Druck

trigger.medien Berlin

## Bestellungen

[www.science-on-stage.de](http://www.science-on-stage.de)  
[info@science-on-stage.de](mailto:info@science-on-stage.de)

ISBN 978-3-942524-52-0 (PDF-Version)

**Creative-Commons-Lizenz:** Namensnennung, nicht-kommerziell, Weitergabe unter gleichen Bedingungen



## 1. Auflage 2017

2.500 Exemplare

© Science on Stage Deutschland e. V.

# Inhalt

	Vorwort	4
	Teachers + Scientists: Auf einen Blick	5
	Projektvorstellung und Kooperationsleitfaden	6
	Materialien und Konzepte für den MINT-Unterricht	10
	Kooperation Aachen	11
	<b>Cystinurie in der humangenetischen Diagnostik – Einem seltenen erblichen Nierensteinleiden auf der Spur</b>	<b>12</b>
	Kooperation Berlin	23
	<b>Ernährung, Bewegung und Gesundheit – Wie wissenschaftliche Studien Erkenntnisse liefern</b>	<b>24</b>
	Kooperation Bielefeld	36
	<b>Mykorrhiza – Symbiose aus Pilz und Pflanze: DER Geheimtipp für Hobbygärtner</b>	<b>37</b>
	<b>Ein Quark kommt niemals allein – Ein integrierender Ansatz zur Elementarteilchenphysik in der Schule</b>	<b>42</b>
	<b>Schlagen, Reiben, Stampfen auf Knopfdruck – Die Innovation Waschmaschine im naturwissenschaftlichen Kontext</b>	<b>46</b>
	Kooperation Heidelberg	51
	<b>Impfen gegen Krebs – Neue Wege in der Krebsforschung</b>	<b>52</b>
	Kooperation Osnabrück	61
	<b>Fressen und gefressen werden – Vertiefung und Erweiterung von grundlegenden objektorientierten Konzepten in der Informatik anhand von Räuber-Beute-Populationen</b>	<b>62</b>
	Teilnehmerinnen und Teilnehmer	69
	Jugend forscht – Wir fördern Talente	70
	Science on Stage Deutschland e. V. – Frische Ideen für den MINT-Unterricht	71

## VORWORT

# Liebe Leserinnen und Leser,

Lehrerinnen und Lehrer in die Forschung! Dies war unsere Intention, im Jahr 2014 das Projekt Teachers + Scientists ins Leben zu rufen. Bis dato gab es zahlreiche Initiativen, die Schülerinnen und Schüler mit aktueller Forschung in Kontakt brachten, doch es mangelte an Projekten, die Lehrkräfte in den Mittelpunkt rücken und mit Forschenden vernetzen. An diesem Punkt setzten Science on Stage Deutschland e. V., das europäische Netzwerk für MINT-Lehrkräfte, und die Stiftung Jugend forscht e. V., Deutschlands bekanntester Nachwuchswettbewerb, an. Denn schließlich übernehmen Lehrkräfte eine zentrale Rolle bei der Motivation und Begeisterung von Lernenden.

Drei Jahre lang forschten in fünf deutschen Städten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler gemeinsam mit Lehrkräften an aktuellen Fragestellungen, die schließlich ihren Weg in die Klassenzimmer fanden. In Ihren Händen halten Sie nun die dabei entstandenen Materialien und Konzepte, die Themen von der Humangenetik über die Elementarteilchenphysik bis zur objektorientierten Programmierung abdecken. Wir freuen uns, wenn auch Sie darin Anregungen für Ihren Unterricht finden.

Infolge der Zusammenarbeit ist darüber hinaus ein Leitfaden entstanden, mit dem wir Sie ermutigen möchten, eigene Kooperationen mit Forschenden bzw. Lehrkräften aufzubauen und Ihnen das dafür nötige Handwerkszeug mitgeben. Neben dem Wissenszuwachs und der Möglichkeit, Wissenschaft verständlich zu vermitteln, empfanden alle Beteiligten die Zusammenarbeit als persönliche Bereicherung!

Wir bedanken uns sehr herzlich bei allen Teilnehmenden, die mit großem Engagement neben ihrer beruflichen Tätigkeit die vor allem zeitliche Herausforderung gemeistert und die Umsetzung dieses Projektes erst ermöglicht haben.

Wir wünschen Ihnen viel Freude mit den Materialien sowie den Elan und Mut, ähnliche Kooperationen anzustoßen, um in der Schule für Wissenschaft zu begeistern!



**Stefanie Schlunk**  
Geschäftsführerin  
Science on Stage Deutschland e. V.



**Dr. Sven Baszio**  
Geschäftsführender Vorstand  
Stiftung Jugend forscht e. V.

# Teachers + Scientists: Auf einen Blick

10

## Schulen

Einhard-Gymnasium Aachen, Andreas-Gymnasium Berlin, Robert-Havemann-Gymnasium Berlin, Georg-Büchner-Gymnasium Berlin, OSZ Gesundheit I Berlin, Ursulaschule Osnabrück, Widukind-Gymnasium Enger, Gymnasium Heepen, Gesamtschule Hüllhorst, HBLA Ursprung/Österreich

6

## Hochschulen/Forschungseinrichtungen

Universität Bielefeld, Hochschule Bielefeld, Hochschule Osnabrück, Deutsches Krebsforschungszentrum Heidelberg, Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin Berlin, Universitätsklinikum der RWTH Aachen

7

## regionale Kooperationen

1× Aachen, 1× Berlin, 3× Bielefeld, 1× Heidelberg, 1× Osnabrück

14

## Lehrkräfte

4

## Bundesländer

Baden-Württemberg, Berlin, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen

5

## Städte

Aachen, Berlin, Bielefeld, Heidelberg, Osnabrück

12

## Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler

### Projekthalt und Gewinn (2014–2017)

- Förderung langfristiger Kooperationen zwischen Lehrkräften und Forschenden
- Lehrkräfte stehen im Mittelpunkt, sind an aktueller Forschung beteiligt und können somit Inhalte für ihren Unterricht ableiten
- Ziel: Förderung der Unterrichtsqualität, damit sich mehr junge Menschen für MINT-Fächer begeistern

### Verbreitung

- Bundesweite Lehrerfortbildungen
- Präsentationen auf Fachkonferenzen
- Fortsetzung der Kooperationen nach Projektende

### Ergebnisse

- Leitfaden zum Aufbau von Kooperationen zwischen Lehrkräften und Forschenden
- Unterrichtsmaterial zu den Themen: Humangenetik, Krebsforschung, Experimentelle Ökologie und Ökosystembiologie, Elementarteilchenphysik, Epidemiologische Studien, Objektorientierte Programmierung, Mechanik und Sensorik

# Projektvorstellung und Kooperationsleitfaden

Basierend auf den Erfahrungen, die in den dreijährigen Kooperationen von Teachers + Scientists gesammelt wurden, stellen wir Ihnen nachfolgend die Voraussetzungen und Vorteile, Besonderheiten und Herausforderungen einer solchen Zusammenarbeit vor. Darüber hinaus finden Sie an geeigneter Stelle Empfehlungen, die Sie dabei unterstützen sollen, Kooperationen zwischen Lehrkräften und Forschenden erfolgreich umzusetzen!

## 1 | Allgemeines und Voraussetzungen zur Zusammenarbeit

Sowohl für Lehrkräfte als auch für Forschende ist das persönliche Engagement ausschlaggebend für die Mitarbeit an einem solchen Projekt. Weiterhin spielt ein spannendes und in den Schulalltag passendes Thema eine große Rolle. Nicht zuletzt sollte die „Chemie“ zwischen den Kooperationspartnern für eine gute Zusammenarbeit stimmen.

### Motivation und Vorteile für Lehrkräfte

Lehrkräfte motiviert vor allem die Möglichkeit, einen Einblick in aktuelle und bisher wenig bekannte Forschungsbereiche und dadurch Inspiration für den eigenen Unterricht zu erhalten. Darüber hinaus ergeben sich weitere Vorteile:

- Weiterbildung durch Vermittlung von Fachwissen
- Klärung eigener Fragen zu aktuellen Themen des Unterrichtsfaches
- Einblick in neue Inhalte, die über das in Lehrmaterialien verfügbare Angebot hinausgehen
- Berufsorientierung: besserer Einblick in mögliche Anwendungen von Lerninhalten → den Schülerinnen und Schülern können praxisrelevante Zusammenhänge aufgezeigt werden, wodurch eine sinnvolle Vorbereitung für ein Hochschulstudium deutlich wird

### Motivation und Vorteile für Forschende

Für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler steht im Vordergrund, ihre Forschung und aktuelle Inhalte in der Öffentlichkeit vorzustellen und somit einen Beitrag im Rahmen von Outreach-Aktivitäten und zur Wissenschaftskommunikation zu leisten. Weiterhin sind folgende Aspekte gewinnbringend:

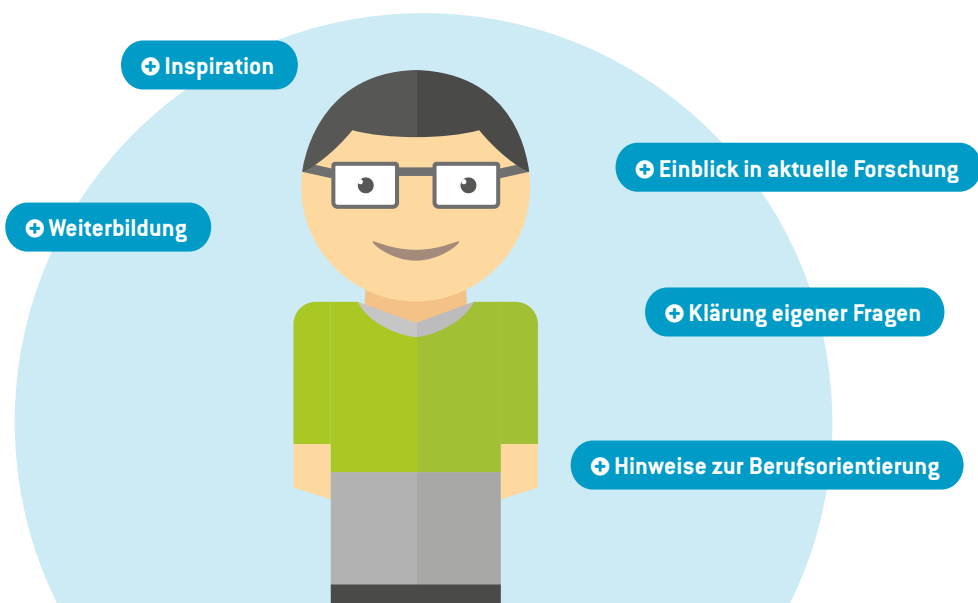
- Nachwuchsförderung und Begeisterung von Schülerinnen und Schülern für MINT-Fächer
- Aufbereitung eigener Fachartikel unter didaktischen Gesichtspunkten → hochkomplexe Themen schülerrelevant vermitteln
- Einblick in den Schulalltag
- Netzwerk für zukünftige Forschungsprojekte

## 2 | Themenfindung

Ausgehend von den Lehrplänen der involvierten Unterrichtsfächer sollten Schnittstellen mit den aktuellen Forschungsfragen der beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler gesucht werden. Hierbei spielt auch das mögliche Interesse von Schülerinnen und Schülern an neuen Themen, die sich an bereits bestehende Unterrichtsinhalte anknüpfen lassen, eine Rolle. Insgesamt ist es wichtig, dass der Inhalt Bezug zum Fachunterricht hat, diesen idealerweise sinnvoll ergänzt und somit möglichst die gesamte Klasse anspricht.

*„Die Zusammenarbeit gibt mir die einmalige Möglichkeit, mich mit aktueller Forschung zu beschäftigen und mich damit ständig weiterzubilden. Ich komme mit vielen aktuellen Entwicklungen in Kontakt, die mich den eigenen Unterricht überdenken und anpassen lassen. Als Resultat profitieren eindeutig die Schülerinnen und Schüler.“*

TEILNEHMENDER LEHRER



⊕ Einblick in den Schulalltag

„Diese Zusammenarbeit erfordert, sein Fach immer wieder verständlich und anders als sonst zu erklären. Dadurch ergibt sich auch für sich selbst die Erklärung, was man eigentlich macht.“

TEILNEHMENDE WISSENSCHAFTLERIN



⊕ Wissenschaftskommunikation

⊕ Nachwuchsförderung

⊕ Netzwerk für zukünftige Forschungsprojekte

⊕ Aufbereitung eigener Fachartikel für Schülerinnen und Schüler

### 3 | Aufbau der Kooperation

Für den Aufbau einer Kooperation zwischen Lehrkräften und Forschenden ist es vorteilhaft, auf ein bestehendes Netzwerk bzw. persönliche Kontakte zurückzugreifen. Sollten keine direkten Kontakte bestehen, können diese möglicherweise über Beziehungen im Kollegium und Bekanntenkreis oder über Eltern von Schülerinnen und Schülern vermittelt werden. Ebenso ist die direkte Ansprache von potentiellen Interessenten sowohl in Schulen als auch Forschungseinrichtungen denkbar.

Die Akquise von externen Partnern – wie z. B. Unternehmen – zur Einwerbung finanzieller Mittel ist in den meisten Fällen nicht dringend erforderlich, kann aber in Betracht gezogen werden. Gebrauchsmaterialien werden bei Bedarf bestenfalls von den Forschungseinrichtungen gestellt. Darüber hinaus kann eine Unterstützung beim Förder- oder Elternverein der Schule angefragt werden.

### 4 | Organisationsformen

Eine Möglichkeit bieten regionale Kooperationen in Teams aus mehreren Lehrkräften und Forschenden. Für diese Organisationsform spricht, dass der Austausch und der Input an Ideen größer ist. Teilweise kann somit ein komplexes Thema besser bearbeitet werden. Bei größeren Teams ist eine Kontaktperson im Bereich der Wissenschaften, die lokal alles koordiniert und vermittelt, von Vorteil.

Eine andere Form der Kooperation ist die Arbeit im Tandem, bestehend aus jeweils einer Lehrkraft und einem Forschenden. Hierbei ist die Terminfindung einfacher und die Kommunikation direkter.

### 5 | Umsetzung der regionalen Zusammenarbeit

Für eine erfolgreiche Kooperation sollten regelmäßige persönliche Treffen stattfinden, die individuell und nach Bedarf, z. B. monatlich oder alle drei bis vier Monate, organisiert werden. Zusätzlich ist der Kontakt per E-Mail oder Telefon vorteilhaft.

Die Implementierung der Forschungsthemen in den Unterricht erfolgt parallel zur Zusammenarbeit mit der Forschungseinrichtung oder Hochschule. Damit auch Kolleginnen und Kollegen davon profitieren, bietet sich die Durchführung von Lehrerfortbildungen zu den erarbeiteten Themen an. Diese können beispielsweise am beteiligten Institut stattfinden.

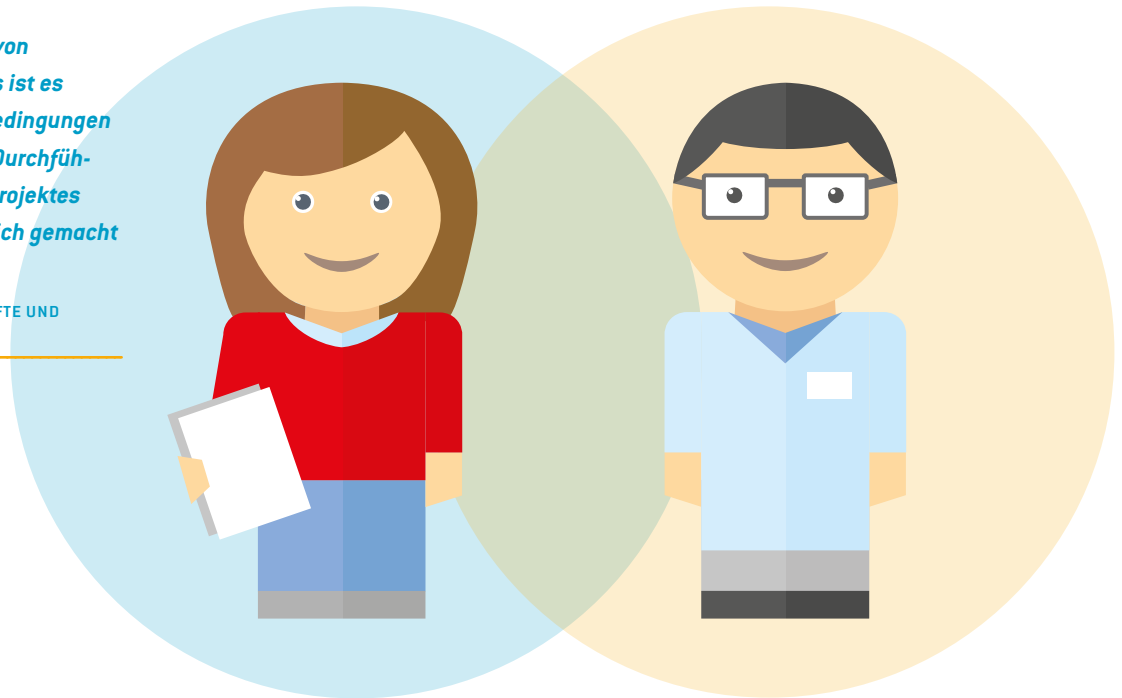
### 6 | Unterstützung und Anerkennung

Die teilnehmenden Lehrkräfte erhielten seitens der Schule Unterstützung bei der Bereitstellung von Räumen für das Projekt und z. B. bei der Etablierung von Projektkursen, die aus der Kooperation erwachsen sind. Ebenso gab es Unterrichtsbefreiung für die Teilnahme an Fortbildungen und es wurde die Möglichkeit gegeben, das Projekt auf Gesamtkonferenzen dem Kollegium vorzustellen. Zum Teil wäre eine größere Unterstützung der Fachbereiche wünschenswert gewesen.

Für die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an den Hochschulen gab es größtenteils zeitliche Freistellungen für das Projekt. Ebenso wurden Räume und benötigte Materialien bereitgestellt. Dabei war die Bandbreite der Unterstützung sehr unterschiedlich. Teilweise gab es die volle Unterstützung des gesamten Instituts, teilweise wurden die Aktivitäten von Teachers + Scientists als „Sonderleistung“ gewertet, die nicht in den universitären Alltag passt.

*„Den Organisatoren von Teachers + Scientists ist es gelungen, Rahmenbedingungen zu schaffen, die die Durchführung eines solchen Projektes überhaupt erst möglich gemacht haben.“*

TEILNEHMENDE LEHRKRÄFTE UND FORSCHENDE



Insgesamt bewerten die Teilnehmenden des Projektes die Anerkennung durch Kolleginnen und Kollegen und Vorgesetzte als sehr gut und erachten diese als notwendige Voraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung.

Die Unterstützung durch Science on Stage Deutschland e. V. und die Stiftung Jugend forscht e. V. war vor allem in den Bereichen PR und der Organisation der regelmäßig stattfindenden überregionalen Netzwerktreffen hilfreich. Dieser wichtige organisatorische Rahmen und die Bereitstellung von finanziellen Mitteln für Projektkosten wurden als sehr förderlich empfunden. Die Beteiligten erfuhren eine hohe Anerkennung und Motivation durch diese Rahmenbedingungen und den Austausch mit den anderen Kooperationen.

## 7 | Herausforderungen

Die Gewinnung von Lehrkräften war sehr unterschiedlich. An Schulen, in deren Fachbereichen es untereinander bereits eine gute Zusammenarbeit gab, konnten weitere Teilnehmende einfacher gewonnen werden. Hier zeigte sich außerdem, dass für das Zustandekommen einer Kooperation die Unterstützung durch die Schulleitung ausschlaggebend ist. Zudem war der Zeitfaktor oftmals eine Herausforderung. Durch die fehlende Freistellung war ein Engagement nur neben der regulären Unterrichtstätigkeit möglich.

Aufseiten der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler war fehlende Zeit ebenfalls ein Problem. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter an Forschungsinstituten und Hochschulen haben häufig nur Zeitverträge und sind stark in universitäre Projekte eingebunden.

Während der Projektphase bereitete vor allem die terminliche Koordinierung zwischen den Lehrkräften und Forschenden

Probleme, da es keine Freistellungen seitens der Schulen für die Teilnahme am Projekt gab.

Anfängliche Schwierigkeiten bei der Suche nach einem passenden Thema konnten durch einen gemeinschaftlichen Dialog zügig gelöst werden. Die Unterschiede in der Ausstattung der Schulen und der Forschungseinrichtungen führten dazu, dass einige Modifikationen in der experimentellen Umsetzung für die Schulen notwendig waren.

## 8 | Presse- und Öffentlichkeitsarbeit

Um regional auf das Projekt hinzuweisen, können mehrere Instrumente der Presse- und Öffentlichkeitsarbeit bedient werden. Zur Unterstützung stellte in diesem konkreten Fall Science on Stage Deutschland e. V. die nötigen Logos, Flyer, Poster, Textvorlagen und Pressemitteilungen zur Verfügung.

Über die Kooperationen sollte vor allem auf den Homepages der beteiligten Schulen und Forschungseinrichtungen sowie bei Veranstaltungen wie einem „Tag der offenen Tür“ informiert werden. Für einzelne Aktivitäten bieten sich lokale Medien und soziale Netzwerke an. Zudem können die Ergebnisse der Zusammenarbeit in Jahresberichten, Pressemitteilungen und Artikeln veröffentlicht werden.

Insgesamt zeigt sich, dass die Presse- und Öffentlichkeitsarbeit vor allem für die Schulen zur Darstellung der Schulprofile sehr wichtig ist. Für die Hochschulen und Institute ist dieser Bereich in den meisten Fällen von geringerer Bedeutung. Dennoch spielt die Öffentlichkeitsarbeit eine Rolle, um durch die Projektbeteiligung potenzielle Studierende auf die eigene Fachrichtung aufmerksam zu machen oder dem Anspruch gerecht zu werden, die eigene Forschung der Gesellschaft verständlich zu vermitteln.



## 9 | Ergebnisse und Fazit

Alle Beteiligten empfanden die Teilnahme am Projekt als persönliche und auch berufliche Bereicherung. Für die Lehrkräfte war dies vor allem fachlich durch den Einblick in die aktuelle Forschung und die einhergehende Wissenserweiterung von Bedeutung. Die Forscherinnen und Forscher profitierten durch die Diskussion und Bekanntmachung ihrer Arbeit in der Öffentlichkeit. Für beide Seiten war der bundesweite Austausch mit anderen Lehrkräften und Forschenden sehr gewinnbringend und Anreiz, die eigene Lehre weiter zu optimieren.

Des Weiteren geben die im Projekt erarbeiteten Materialien den Schülerinnen und Schülern einen Einblick in die aktuelle Forschung der Fachgebiete. Außerdem motivieren sie durch ihre Aktualität und sensibilisieren verstärkt für den sonst eher weniger zugänglichen Bereich der Forschung.

Dies führt dazu, dass fast alle regionalen Kooperationen eine Fortsetzung planen und alle Lehrkräfte und Forschenden eine Zusammenarbeit in dieser Form weiterempfehlen. Darüber hinaus werden die Ergebnisse auf Tagungen und in Lehrerfortbildungen präsentiert und verbreitet.

Aus den Erfahrungen ergeben sich abschließend folgende Empfehlungen für eine Zusammenarbeit:

- persönliche Motivation und Interesse sind Grundvoraussetzungen
- klein anfangen und erst einmal nur für einige Monate verbindlich planen
- Zeit für die Vorbereitung und Umsetzung bei der Arbeit mit den Schülerinnen und Schülern einplanen
- bei der Themenfindung den Lehrplan berücksichtigen und beachten, dass auch andere Lehrkräfte davon profitieren

Sie haben Interesse, eine Kooperation mit einer Lehrkraft bzw. einer Forscherin oder einem Forscher aufzubauen? Gerne können Sie uns bei Fragen unter [info@science-on-stage.de](mailto:info@science-on-stage.de) kontaktieren!

*„Eine solche Gemeinschaft von interessierten Lehrkräften und Forschenden bietet eine besondere Gelegenheit des Erfahrungsaustausches, denn für alle beteiligten Berufsgruppen ist der Weg vom Lehren zum Lernen wichtig.“*

TEILNEHMENDE LEHRKRÄFTE UND FORSCHENDE



## TEACHERS + SCIENTISTS: FÜR WISSENSCHAFT BEGEISTERN

# Materialien und Konzepte für den MINT-Unterricht

## 28. Februar – 1. März 2013

Brainstorming zur Projektidee  
Berlin

## 13. – 14. Juni 2014

1. überregionales Projekttreffen  
Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin Berlin

## 23. – 24. Januar 2015

2. überregionales Projekttreffen  
Universität Bielefeld

## 25. – 26. September 2015

3. überregionales Projekttreffen  
Universitätsklinikum der RWTH Aachen

## 22. – 23. April 2016

4. überregionales Projekttreffen  
Hochschule Osnabrück

## 5. Mai 2017

Abschlusspräsentation  
Berlin

## 2017 – 2018

Lehrerfortbildungen und Teilnahme an Tagungen zur  
Verbreitung der Ergebnisse

## über die Jahre

individuelle Treffen und Projektpräsentationen der  
regionalen Kooperationen

Als im Sommer 2014 das Pilotprojekt Teachers + Scientists startete, war dies für alle beteiligten Lehrkräfte und Forschenden der Beginn einer neuen Art der Zusammenarbeit – so etwas gab es bisher noch nicht!

Auch wenn bereits einzelne Kontakte bestanden, hatten sich diese bislang auf die Förderung der Schülerinnen und Schüler konzentriert. Nun sollten erstmals Lehrkräfte vom intensiven dreijährigen Austausch mit Forschenden und von Einblicken in deren aktuelle Forschung profitieren.

Mit dem Ziel, die Gelingensfaktoren und Herausforderungen solcher Kooperationen in einem Leitfaden und die Ergebnisse der gemeinsamen Zusammenarbeit in Form von Unterrichtskonzepten zu veröffentlichen, nahmen die fünf regionalen Kooperationen in Aachen, Berlin, Bielefeld, Heidelberg und Osnabrück ihre Arbeit auf.

Was den Prozess auszeichnete, war die individuelle Umsetzung: von der theoretischen Ausarbeitung über mehrtägige Laborpraktika bis zum Langzeitexperiment. Die Resultate sind demzufolge unterschiedlich aufbereitet und spiegeln die verschiedenen regionalen Kooperationsformen wider.

Die nachfolgenden Materialien sollen Ihnen nun Anregungen für den eigenen Unterricht geben und Sie ermutigen, den Kontakt zu Forschenden zu suchen. Dadurch lassen sich aktuelle wissenschaftliche Inhalte in der Schule aufgreifen, die wiederum Schülerinnen und Schüler für das Forschen begeistern!

Sollten Sie Fragen haben, melden Sie sich über [info@science-on-stage.de](mailto:info@science-on-stage.de) bei Science on Stage Deutschland e. V. Wir stellen gerne den direkten Kontakt zu den teilnehmenden Forschenden und Lehrkräften her. Die jeweiligen Kontaktdaten finden Sie auch am Ende jeder Einheit.

Viel Freude und Inspiration für Ihre eigene Arbeit wünschen Ihnen Science on Stage Deutschland e. V. und die Stiftung Jugend forscht e. V.!



# Kooperation Aachen



## STECKBRIEF

### → Schule:

Einhard-Gymnasium Aachen



### → Lehrkräfte:

Jennifer Deerberg, Stefanie Mehta

### → Forschungseinrichtung:

Universitätsklinik der RWTH Aachen,  
Institut für Humangenetik



### → Forschende:

Dr. rer. nat. Katja Eggermann,  
Prof. Dr. rer. nat. Thomas Eggermann

### → Thema:

Humangenetik

### → Involvierte Unterrichtsfächer:

Biologie, Philosophie, Religion

## INTERVIEW

### → Teachers + Scientists ist für uns ...

... die Möglichkeit, Schule und Wissenschaft vor Ort zu verknüpfen, aber auch ein Netzwerk zu schaffen zwischen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern und Lehrkräften anderer Regionen.

### → Wir machen bei Teachers + Scientists mit, weil ...

Lehrkräfte: ... man sich auf diese Weise in der aktuellen Forschung und Laborpraxis weiterbildet.  
Forschende: ... man auf diese Weise das Fach der breiten Öffentlichkeit bekannt machen kann.

### → Was nehmen Sie aus der Zusammenarbeit mit?

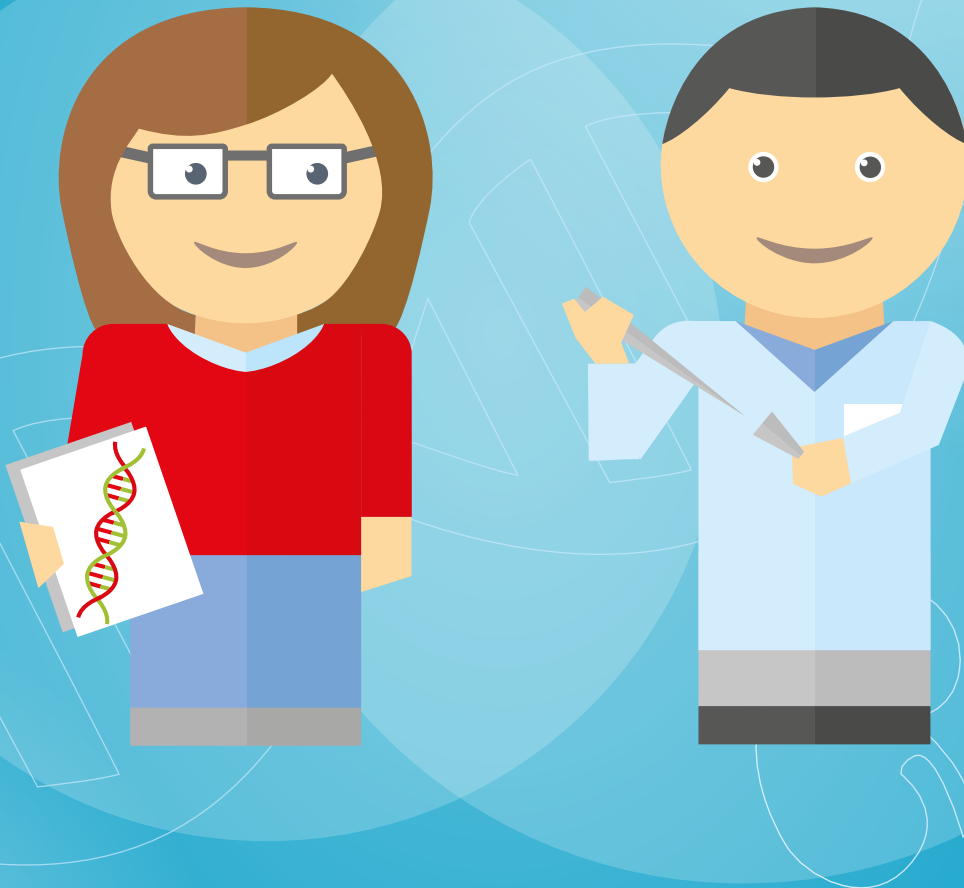
Erfahrungen über Projektarbeit, aktiven fachlichen Austausch und Erfahrungsaustausch unter Kolleginnen und Kollegen und anschauliche Beispiele aus aktueller Forschung und Diagnostik.

### → Planen Sie eine Fortsetzung der Kooperation nach Projektende? Wenn ja, was haben Sie konkret vor?

Wir planen eine Fortsetzung der Kooperation, bei der wir die erarbeiteten Materialien und Inhalte weiter nutzen und neue Projekte erarbeiten.

# Cystinurie in der humangenetischen Diagnostik – Einem seltenen erblichen Nierensteinleiden auf der Spur


Jennifer Deerberg · Dr. Katja Eggermann · Prof. Dr. Thomas Eggermann · Stefanie Mehta




 **SCHLAGWÖRTER:** Humangenetik, Erbkrankheiten, PCR (Polymerase-Ketten-Reaktion)

 **UNTERRICHTSFACH:** Biologie

 **ALTERSGRUPPE DER SCHÜLERINNEN UND SCHÜLER:** Sekundarstufe II (ab Klasse 11)

 **ERFORDERLICHE VORKENNTNISSE:** Molekulare Grundlagen der Genetik, Transkription und Translation, Methoden in der Genetik (PCR, DNA-Sequenzierung), Stammbaumanalyse

 **SICHERHEITSHINWEISE:** Wird im professionellen Labor mit Ethidiumbromid gearbeitet (Fluoreszenz beim Agarosegel), müssen die für mutagene Substanzen geltenden Sicherheitsvorschriften eingehalten werden. Für die Benutzung in der Schule muss eine Substitutionsprüfung durchgeführt werden; aufgrund der Einstufung als krebserzeugend und erbgutverändernd ist vom Gebrauch in der Schule abzuraten.

## 1 | Einführung

Anhand eines Fallbeispiels aus dem Laboralltag humangenetischer Diagnostik wird mithilfe der PCR (Polymerase-Ketten-Reaktion, engl. *Polymerase Chain Reaction*) und der Sequenzierung nach Sanger die Diagnostik der Cystinurie, einer seltenen erblichen Erkrankung, anhand von Originaldaten nachvollzogen. Zusätzlich können die Schülerinnen und Schüler sich im Primerdesign üben, indem sie die Sequenz des entsprechenden Gens in einer öffentlich zugänglichen Datenbank<sup>[1]</sup> suchen und unter Anleitung auswählen, um anschließend mit einem ebenfalls im Netz verfügbaren Primerdesignprogramm<sup>[2]</sup> die passenden Primer zu generieren.

Dieses Beispiel wurde im Unterricht eines Projektkurses in der Sekundarstufe II theoretisch und praktisch im Rahmen eines zweitägigen Laborpraktikums am Institut für Humangenetik der RWTH Aachen durchgeführt.

## 2 | Einsatz im Unterricht

Das Unterrichtsmaterial eignet sich für den Einsatz im Biologieunterricht in der Sekundarstufe II im Themenblock Genetik. Unterrichtliche Voraussetzung sind Kenntnisse in der klassischen Genetik (Stammbäume) und Molekulargenetik. Die Durchführung der Unterrichtsreihe kann mit dem vorhandenen Material auch ohne praktischen Laborteil erfolgen. Das Laborpraktikum kann nur in Zusammenarbeit mit einem dafür ausgestatteten Labor durchgeführt werden.

### Inhaltliche Ziele

Die Schülerinnen und Schüler sollen durch die Schilderung der Situation eines von Cystinurie Betroffenen zunächst die Symptome dieses erblichen Nierensteinleidens kennenlernen (☞ 2).

Im Anschluss sollen sie sich hypothetisch in die Situation versetzen, eine humangenetische Familienberatung durchzuführen. Dazu müssen sie sich im ersten Schritt über die physiologischen und genetischen Grundlagen der Erkrankung informieren und diese Informationen stichwortartig zusammenfassen. Die benötigten Informationen finden sie mithilfe einer Internetrecherche und der Arbeitsmaterialien (☞ 4, 5).

Weiterhin üben sie mithilfe des Stammbaumes (☞ 3) die Art des Erbganges zu analysieren. Sie stellen daraufhin weiterführend im Rahmen der hypothetischen humangenetischen Beratungssituation Wahrscheinlichkeiten auf, mit der Personen im Verwandtschaftskreis von dem Nierensteinleiden betroffen sind bzw. sein werden.

### Fachmethodische Ziele

Im Rahmen des durchgeführten Praktikums lernen die Schülerinnen und Schüler die Arbeitsschritte kennen, mit deren Hilfe die Erbkrankheit sicher diagnostiziert werden kann (s. auch ☞ 1).

Da die Schülerinnen und Schüler aus Infektionsgründen nicht mit Blut arbeiten dürfen, verwenden sie bereits isolierte DNA, können die DNA-Isolation aber mit eigenen Mundschleimhautzellen durchführen und nachvollziehen. Sie setzen die PCR mit den spezifischen Primern an, überprüfen den Erfolg der PCR mithilfe der Auftrennung der PCR-Produkte durch Gelelektrophorese im Agarosegel und führen schließlich die Sequenzanalyse nach Sanger durch.

## 3 | Arbeitsmaterial für Schülerinnen und Schüler

- ☞ AB 1: Ablauf der humangenetischen Diagnostik, Seite 14
- ☞ AB 2: Fallbeispiel: Cystinurie – Ben leidet unter häufig wiederkehrenden Nierensteinen, Seite 15
- ☞ AB 3: Szenario humangenetische Familienberatung: Kurzvortrag über Cystinurie mithilfe von Aufgaben und Stammbaumanalyse, Seite 16
- ☞ AB 4: Aufbau und Funktion der Nieren, Seite 17
- ☞ AB 5: Allgemeine Informationen zu Cystinurie, Seite 19
- ☞ AB 6: Ergebnis der Sequenzierreaktion und der Sequenzanalyse des Gens SLC3A1, Seite 20

# Ablauf der humangenetischen Diagnostik

Die Abb. 1 zeigt den Ablauf der humangenetischen Diagnostik in einzelnen Schritten. Am Ende dieses Ablaufplans, bei dem Laborexperimente und -methoden und informationstechnologische Auswertungen ineinandergreifen, steht die Diagnosestellung aufgrund der Auswertung des Befundes und die Beratung des Patienten und seiner Familie. Möglicherweise entscheidet sich die von der Erbkrankheit betroffene Familie schließlich für eine genetische Untersuchung weiterer Familien-

mitglieder (Familienuntersuchung). Bei Kinderwunsch der Erkrankten und deren Familienmitgliedern müssen gegebenenfalls weitere mögliche Schritte und ethische Fragestellungen diskutiert werden, wie z. B. die Untersuchung von Embryonen im Mutterleib – Pränataldiagnostik und mögliche Präimplantationsdiagnostik (PID) – sowie von befruchteten Embryonen nach künstlicher Befruchtung vor der Überführung in die Gebärmutter.

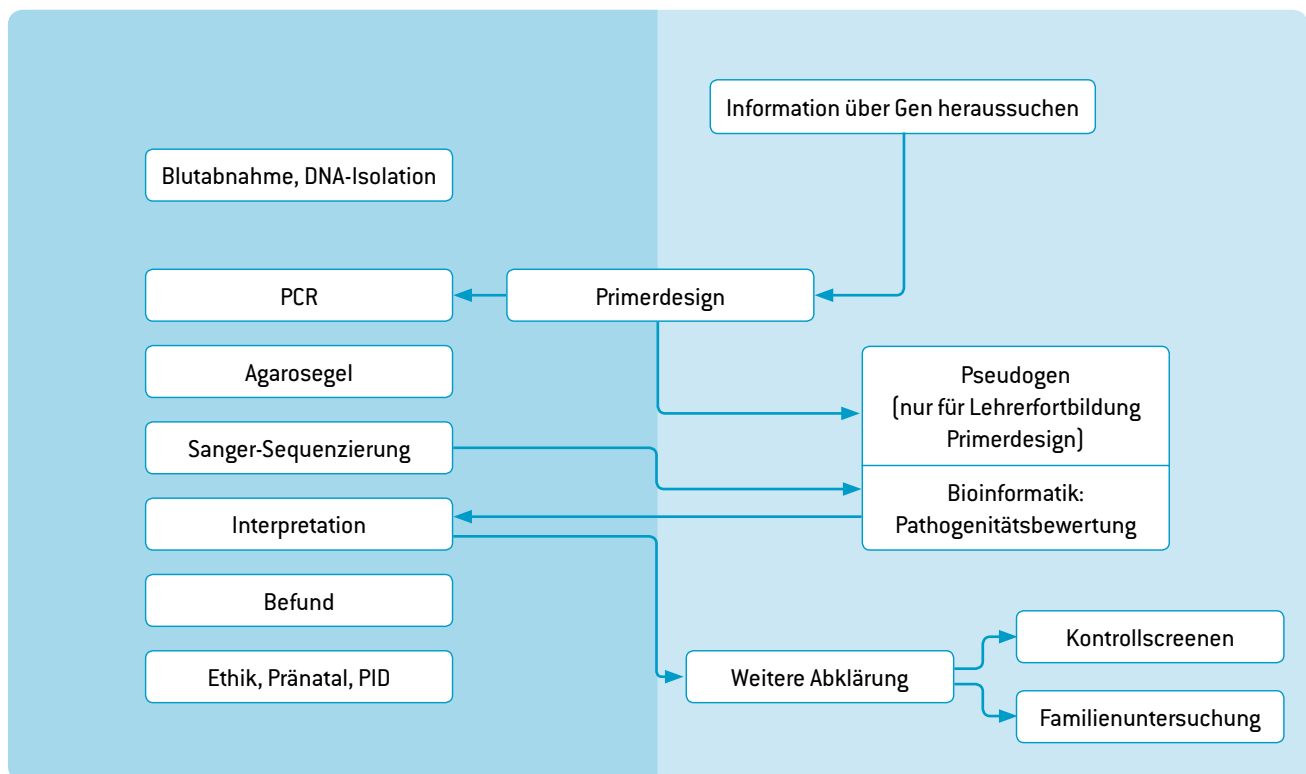


ABB. 1 Ablauf der humangenetischen Diagnostik

## Fallbeispiel: Cystinurie – Ben leidet unter häufig wiederkehrenden Nierensteinen

Ben ist 33 Jahre alt und leidet unter Nierensteinen. Den ersten Nierenstein hatte er bereits mit 16 Jahren. Während des Golfspiels versagte seine linke Niere, er wurde direkt ins Krankenhaus gebracht und bei der Untersuchung wurden Nierensteine in der linken Niere diagnostiziert. Es gelang den Ärzten, die Nierensteine über natürliche Wege aus der Niere abzutransportieren, ansonsten hätte Ben operiert werden müssen.

Acht Jahre später konnten die Ärzte eine Operation an Bens linker Niere nicht mehr vermeiden. Ein sehr großer Nierenstein blockierte die Niere und musste chirurgisch entfernt werden.

Die Operation dauerte mehrere Stunden. Trotz der relativ kleinen Operationswunde (perkutan) musste Ben noch vier Wochen im Krankenhaus bleiben, um die weiteren 30 kleineren Nierensteine auszuscheiden, die sich nach der Operation immer noch in der Niere befanden. Die Schmerzmittel, die Ben auch noch nach dem Krankenhaus einnehmen musste, vertrug er nicht, da sie Übelkeit und eine extreme Abgeschlagenheit verursachten.

Mit 29 Jahren folgte der nächste große Nierenstein in der linken Niere. Wieder musste Ben sich einer Operation und einer anschließenden Stoßwellentherapie unterziehen, um die schmerzhaften Nierensteine loszuwerden. Zwei Wochen verbrachte er im Krankenhaus.

Nur fünf Jahre nach dem letzten Eingriff klagte Ben über intensive Schmerzen im rechten Harnleiter. Es hatten sich wieder Nierensteine gebildet: Ein großer „Hirschkopf“ in der linken Niere, der allerdings kleiner war als die vorherigen, und ein kleiner Stein in der rechten Niere. Diesmal hatte Ben Glück im Unglück und die schmerzlichen Nierensteine konnten ohne operativen Eingriff ausgeschieden werden.

Aufgrund der Befunde (cystinhaltige Nierensteine) diagnostiziert der Urologe Cystinurie. Da diese Erkrankung erblich ist, schickt er Ben zur genetischen Abklärung ins Universitätsklinikum der RWTH Aachen zum Institut für Humangenetik.

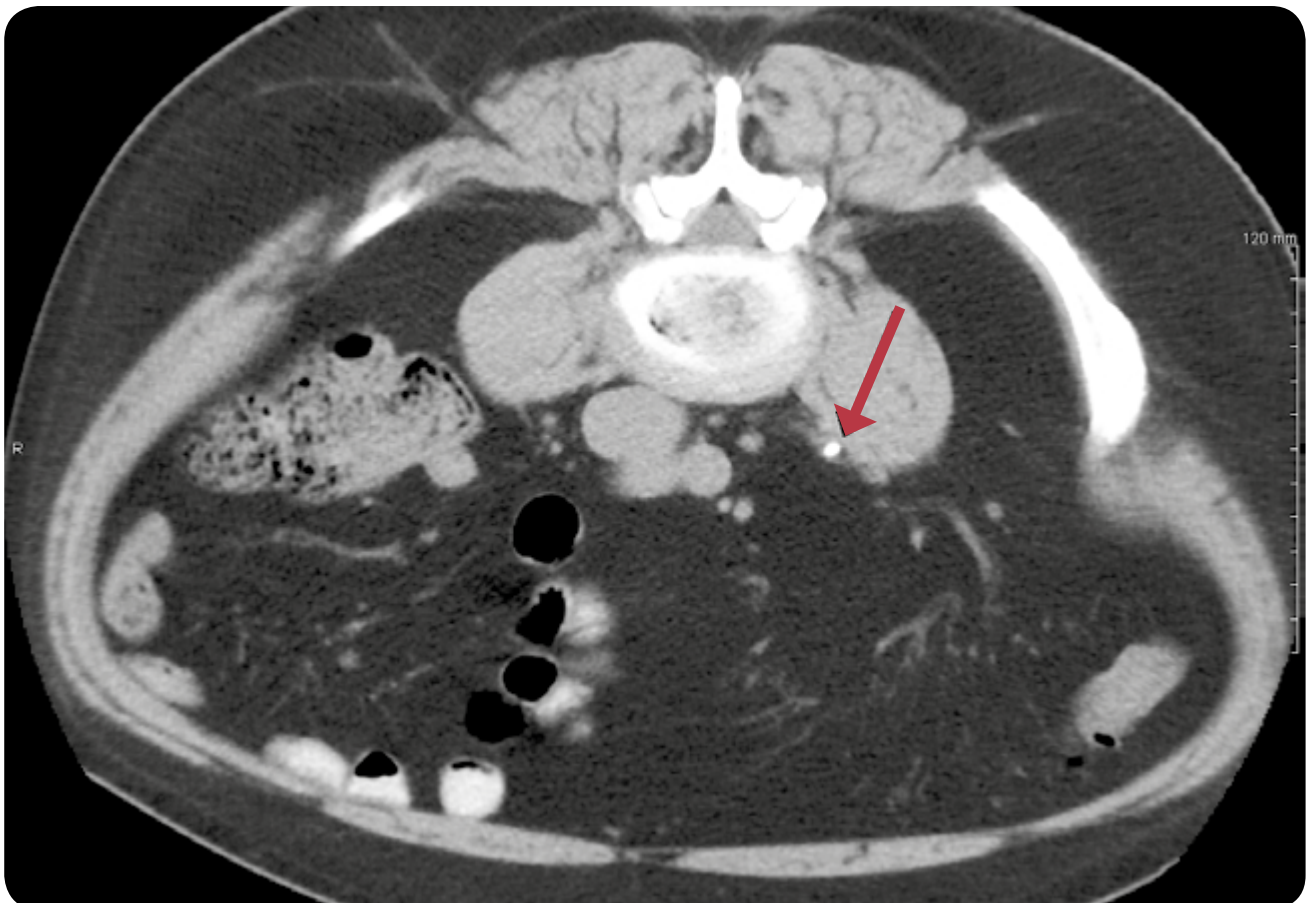


ABB. 2 CT-Bild eines 3 mm großen Nierensteines (Körper quer)<sup>[3]</sup> (James Heilman, MD via Wikimedia Commons)

# Szenario humangenetische Familienberatung: Kurzvortrag über Cystinurie mithilfe von Aufgaben und Stammbaumanalyse

## Arbeitsaufträge zur Cystinurie:

1. Verschaffen Sie sich mittels Internetrecherche einen Überblick zum klinischen Krankheitsbild der Cystinurie und deren genetischer Ursache.
2. Informieren Sie sich über die Aufgabe und Funktion der Nieren mithilfe des Arbeitsmaterials (☞ 4).
3. Lesen Sie ergänzend den Artikel über Cystinurie (☞ 5). Erstellen Sie eine Zusammenfassung in Form eines Info-Flyers für betroffene Personen bzw. deren Familienmitglieder im Rahmen einer humangenetischen Familienberatung über die Erkrankung auf Grundlage von folgenden Leitfragen:
  - Welche Symptome zeigen Patienten, die an Cystinurie erkrankt sind? Listen Sie die wichtigsten auf.
  - Welche Varianten von Mutationen können bei dem Krankheitsbild der Cystinurie vorliegen, d. h. welche Gene sind konkret betroffen?
  - Wie kommt es zu den geschilderten Symptomen, d. h. welche molekularbiologischen Ursachen haben diese?
  - Mit welcher Häufigkeit kommt diese Erkrankung vor und welcher Erbgang liegt ihr zugrunde?
  - Beschreiben Sie kurz in eigenen Worten den Stammbaum (Abb. 3) von Bens Familie.
  - Ergänzen Sie für alle Familienmitglieder die möglichen Genotypen und benennen Sie die obligaten Anlageträger.

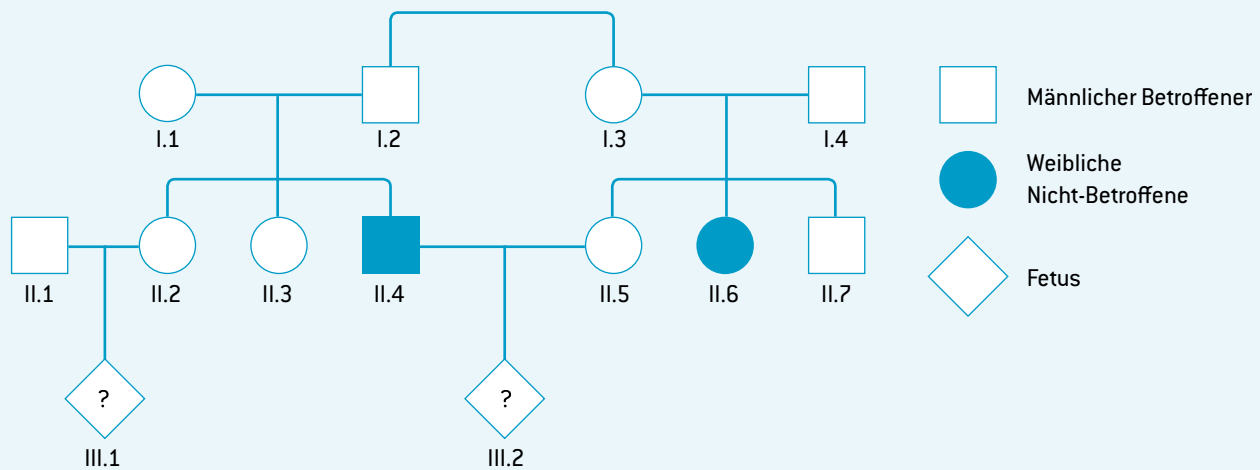


ABB. 3 Stammbaum einer Familie, in der Cystinurie vorkommt



# Aufbau und Funktion der Nieren

Die Nieren sind paarig angelegte Organe des Harnsystems des Menschen. Sie sehen bohnenförmig aus und befinden sich etwa in Ellbogenhöhe an der hinteren Bauchwand. Sie sind sehr gut durchblutet und werden über eine Abzweigung der Aorta, der Nierenarterie, mit arteriellem Blut versorgt. Die Ableitung des Blutes erfolgt über die Nierenvene. Aus dem Nierenbecken führt der Harnleiter heraus, der in die Harnblase mündet.

In den Nieren werden für den Körper wertvolle Stoffe wie Zucker aus dem Blut zurückgewonnen (resorbiert), zugleich werden Abfallstoffe konzentriert über den Harn ausgeschieden. Dieser Vorgang ist sehr komplex. Täglich werden die Nieren von mehr als 1000 l Blut durchspült. Gleichzeitig produziert der Mensch jeden Tag etwa 1,5 l Urin. Er sammelt sich im Nierenbecken und wird über Harnleiter und Blase ausgeschieden.

Zu den Stoffwechselprodukten, die über die Nieren ausgeschieden werden, gehört der Harnstoff. Beim Eiweißabbau im Körper entsteht giftiger Ammoniak, der in der Leber in ungiftigen Harnstoff umgewandelt und schließlich über den Urin abgegeben wird. Auch andere im Stoffwechsel anfallenden Abfallstoffe und Giftstoffe werden über den Harn ausgeschieden.

Die zweite wesentliche Aufgabe der Nieren ist es, die Konzentration der Salze in der extrazellulären Flüssigkeit sowie die Flüssigkeitsmenge im Körper konstant zu halten (Osmoregulation). Die Nieren besitzen darüber hinaus noch verschiedene andere Funktionen.

Die kleinste funktionelle Einheit der Nieren ist das Nephron, das aus Nierenkörperchen und Nierenkanälchen (Tubuli) besteht. Das Nierenkörperchen wiederum besteht aus einem kapillären Gefäßknäuel (Glomerulus), welches von einer Kapsel (Bowman-Kapsel) umgeben ist. Jede Niere des Menschen besitzt ca. eine Million dieser Kapseln. Der komplexe Bau des Nephrons spiegelt seine Funktionsweise wider: hier finden die Prozesse Ultrafiltration, Resorption und Sekretion statt.

Zunächst presst der Blutdruck das Blut durch die Kapillaren des Glomerulus. Die Zellen, die die Kapillaren umgeben, besitzen große Zellzwischenräume, die wie Schlitze das Blutplasma filtern. Die Blutzellen und die Plasmaproteine verbleiben in den Kapillaren, während sich das Wasser und alle darin gelösten Salze und kleinen Moleküle als Primärharn im vorderen Tubulus sammeln. Der größte Teil dieser Flüssigkeit und der darin enthaltenen Moleküle und Ionen muss dem Körper wieder zugeführt werden.

Dies erfolgt durch Rückführung dieser Stoffe durch die Tubuluszellen in den Nephrons der Nieren. Im nachfolgenden Tubulussystem werden der Flüssigkeit schrittweise Wasser und alle wichtigen Moleküle wie Glucose und Aminosäuren entzogen und dem Blut wieder zugeführt (Resorption). Das passiert einerseits über osmotische Vorgänge (Gegenstromprinzip), aber auch z. T. über aktive Transportvorgänge in der Zellmembran. Dafür ist der mittlere Teil des Tubulus, die sogenannte Henleschleife, von Kapillaren umgeben. Das Tubulussystem

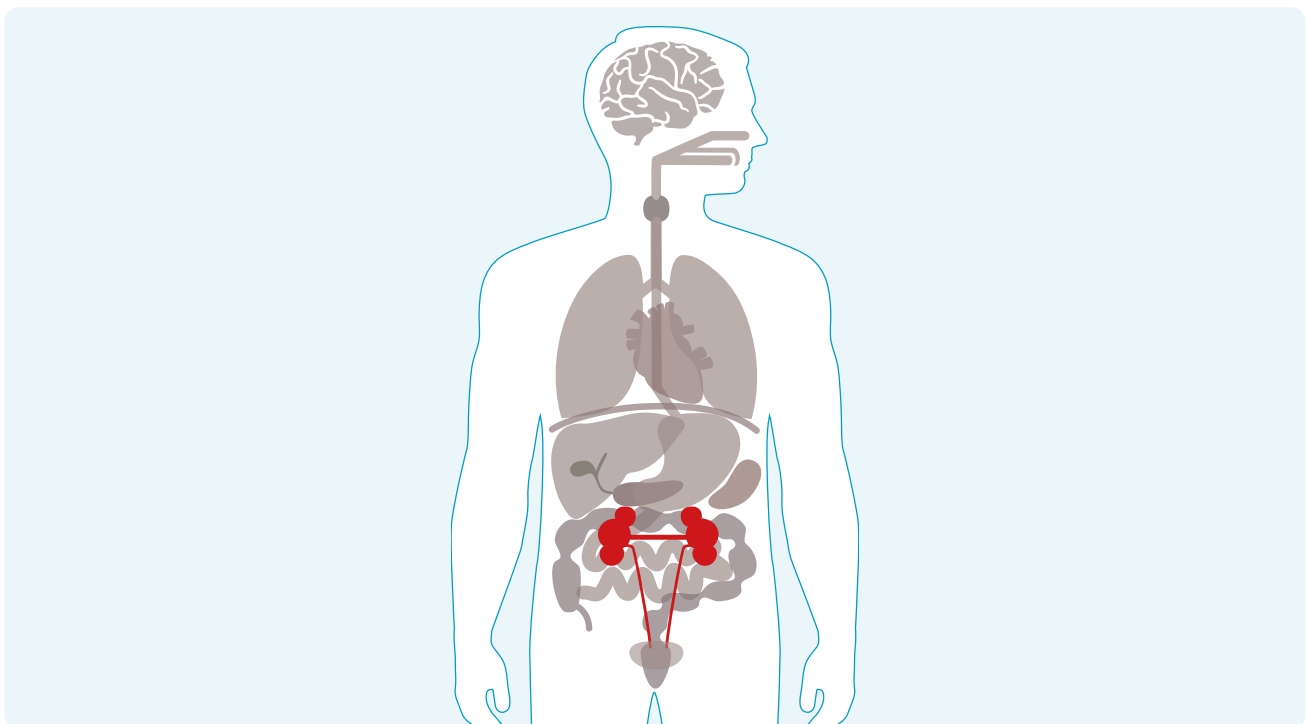


ABB. 4 Lage der Nieren im Körper (Grafik: istock.com/kowalska-art)

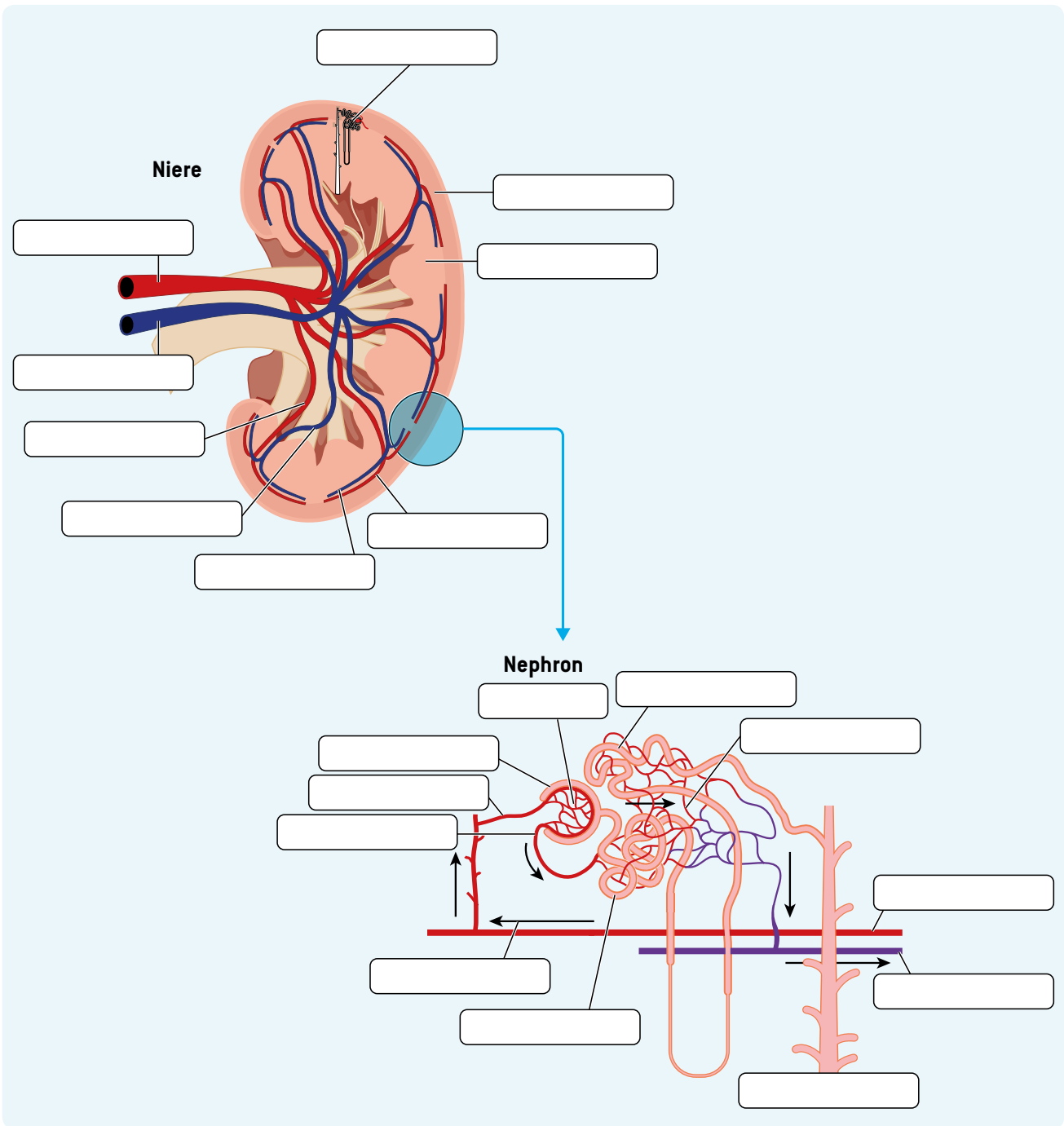


ABB. 5 Niere und Nephron (Grafik: dreamstime/Legger)

hat außerdem die wichtige Aufgabe, die giftigen Stoffwechselprodukte (z. B. Harnstoff) oder andere Abfallstoffe aktiv auszuscheiden (Sekretion).

Im Sammelrohr erfolgt schließlich die Urinkonzentrierung. Das Sammelrohr führt zum Nierenbecken, wo der konzentrierte Harn über Harnleiter und Blase ausgeschieden wird.

**Arbeitsauftrag:**

Informieren Sie sich über die im Text erläuterten verschiedenen Funktionen der Nieren und beschriften Sie die Abbildung mit Hilfe der im Text genannten Fachausdrücke.

# Allgemeine Informationen zu Cystinurie

Bei der Cystinurie entwickeln sich wiederkehrende, aus der Aminosäure Cystin bestehende Nierensteine. Diese seltene genetisch bedingte Erkrankung stellt für die Betroffenen eine lebenslange Belastung dar, da diese Art von Nierensteinen operativ entfernt werden muss. Das Vorkommen der Cystinurie zeigt große ethnische und geografische Unterschiede und reicht z. B. von 1:2.500 in der Population unter libyschen Juden bis zu 1:100.000 in Schweden. Global wird das durchschnittliche Vorkommen auf 1:7.000 geschätzt.

Die Cystinurie ist eine Störung der Reabsorption der dibasischen Aminosäuren (Ornithin, Arginin, Lysin, Cystin) in den Nierentubuli. Die Konzentration dieser Aminosäuren ist im Urin Betroffener deutlich erhöht, wobei die Bildung von Cystinsteinen besonders begünstigt wird durch einen niedrigen pH-Wert des Urins, welcher zum Ausfällen des Cystins in kristalliner Form führt. Die Kristalle sind in der Regel sechseckig, durchsichtig und farblos. So ist diese Erkrankung gekennzeichnet durch die wiederkehrende Bildung von Cystin-Nierensteinen.

Die Cystinurie entwickelt sich in allen Altersstufen, aber Nierenkoliken durch Cystinsteine treten in der Regel in den ersten beiden Lebensjahrzehnten auf, mit einem mittleren Erkrankungsalter von 15 Jahren. Die Krankheit nimmt bei Männern einen früheren und rascheren Verlauf, und Nierensteine vor dem Alter von drei Jahren sind bei Jungen häufiger. Das Lebenszeitrisiko, d. h. die Wahrscheinlichkeit, im Laufe seines Lebens diese Symptome – die Bildung von Steinen – zu entwickeln, beträgt bei dieser Krankheit mehr als 50%. Bei über 60% der männlichen Patienten treten Nierensteine mehr als einmal auf.

Die häufigste Ursache der Cystinurie sind Mutationen in den Genen SLC3A1 (Genlocus: 2p21) und SLC7A9 (Genlocus: 19q13.11), es gibt allerdings ein breites Spektrum an Mutationen. Beide Gene werden im proximalen Tubulus der Niere und im Darmtrakt exprimiert. Sie kodieren für Untereinheiten des transepithelialen Transporters der dibasischen Aminosäuren

Cystin, Ornithin, Lysin und Arginin. Ein Transporter-Mangel führt zur Anhäufung von Cystin im Urin der Tubuli in den Nieren mit nachfolgender Ausfällung und Bildung von Cystinkristallen oder -steinen.

Die Patientinnen und Patienten werden nach genetischen Kriterien klassifiziert: Die Typ A- und die Typ B-Cystinurie ist mit Mutationen in beiden Allelen des SLC3A1-Gens bzw. des SLC7A9-Gens assoziiert. Heterozygote mit einer Mutation in nur einem SLC3A1-Allel sind in der Regel nicht betroffen, während Heterozygote mit einer Mutation im SLC7A9-Gen oft eine moderat gesteigerte Urinausscheidung von Cystin und dibasischen Aminosäuren zeigen, sowie ein im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung erhöhtes Risiko für die Entwicklung von Nierensteinen.

Im Falle der mit SLC3A1-Mutationen gekoppelten Cystinurie wird die Krankheit autosomal-rezessiv vererbt, bei SLC7A9-Mutationen kann es zu einer autosomal-dominanten Vererbung kommen.

Die Diagnose basiert auf der körperlichen Untersuchung, dem Nachweis von Cystinsteinen und der Messung der Cystinausscheidung im Urin. Homozygote Patientinnen und Patienten scheiden im Urin mehr als 300–400 mg/l Cystin aus. Die Ultraschalluntersuchung der Nieren ist die Methode der Wahl zum Nachweis von Steinen und für Verlaufskontrollen. Die molekulargenetische Analyse kann die Diagnose bestätigen.

Die Behandlung erfordert für die Verhütung von Steinbildung oder Steinwachstum verschiedene Methoden: Hohe Wasserzufuhr, um das Cystin im Urin verdünnt auszuschleiden, Alkalisierung des Urins, um die Löslichkeit des Cystins zu erhöhen und medikamentöse Therapie mit Cystin-bindenden Substanzen. Insgesamt ist bei einer erfolgreichen Therapie die Prognose für die Patienten günstig, nur selten kommt es zu einer Niereninsuffizienz.

# Ergebnis der Sequenzierreaktion und der Sequenzanalyse des Gens SLC3A1

```

aatatttctatcttaggcatatttggttatattttttgtcctttaactaaaacaaagta gggtttattcatgactttgacttttttcttcagGT
ATTCAAGATAAACTGGAC TACATCACAGCTTTAAATATAAAAACGTTTGGATTACTTCATTTTATAAATCGTCCCTTAAAGAT
TTCAGATATGGTGTGAAAGATTTCGGGAAGTTGATCCATTTTGGAACGATGGAAGATTTTGAGAATCTGGTTGCAGCCAT
ACATGATAAAGgtaagttgaatggaa agtgggcaagatggggatgaggtttgagagaagcactttt
    
```

Die Primer setzen immer im Intronbereich (d. h. vor bzw. nach dem zu amplifizierenden Exon) an – blau unterlegt. Die Basenabfolge der Introns wird mit kleinen Buchstaben, die der Exons mit Großbuchstaben dargestellt. Der in der Grafik rechts dargestellte Auswertungsbereich zeigt den Sequenzbereich, der die Mutation (in Orange) trägt.

Ben:  
**AGATAAACTGGAC** **A** **ACATCACAGCTTTAAA**

Wildtyp:  
**AGATAAACTGGAC** **T** **ACATCACAGCTTTAAA**

ABB. 6 Sequenz des Exons des Gens SLC3A1 und der umgebenden Intronbereiche

p.Y151N  
c.451T>A

Homozygoter Patient:  
A/A

Heterozygoter Anlageträger:  
A/T

Nicht-Anlageträger:  
T/T

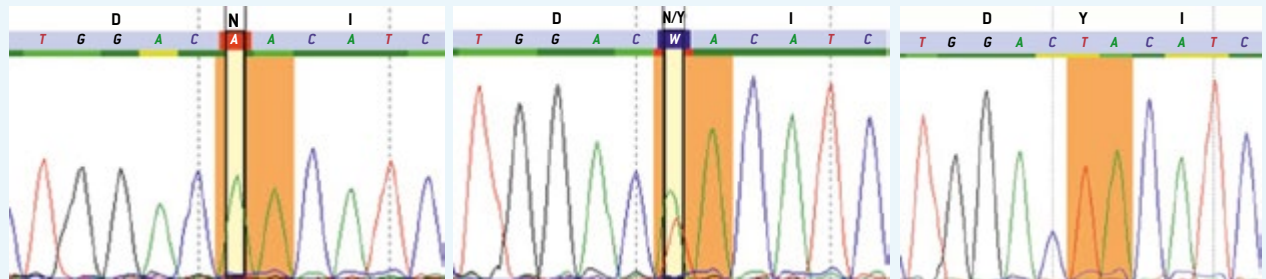


ABB. 7 Screenshot der computergestützten Auswertung der Sanger-Sequenzierung des SLC3A1-Gens verschiedener Personen



### Arbeitsauftrag:

Vergleichen Sie die DNA-Sequenz von Ben mit der des Wildtyps darunter und mit der grafischen Darstellung des Sequenzierungsergebnisses. Ziehen Sie Schlussfolgerungen.

## 4 | Informationsmaterial für Lehrkräfte

### Fachwissenschaftliche Orientierung

Die Polymerase-Ketten-Reaktion und die DNA-Sequenzierung nach Sanger gehören zu den grundlegenden Methoden in der Diagnostik von Erbkrankheiten. Dabei hat die Weiterentwicklung der PCR durch enorme Verbesserung der Laborchemie (hitze stabile DNA-Polymerasen, z. B. Taq-DNA-Polymerase, Pfu-DNA-Polymerase; Puffersysteme) und durch das bioinformatische Primerdesign wesentlich zur Optimierung der Laborabläufe beigetragen.

In der humangenetischen Diagnostik sind die genannten Methoden aber nicht einzeln zu betrachten, sondern sie sind Teil einer Kette von Experimenten und der Datenauswertung, die nur im Zusammenhang mit einem konkreten Fall sinnvolle Ergebnisse liefern (siehe ) und damit den Anwendungsbezug molekular genetischer Methoden auch für Schülerinnen und Schüler deutlich machen. In der vorliegenden Unterrichtssequenz soll daher am Beispiel der Cystinurie, einem erblichen Nierensteinleiden, eine Übersicht über einen solchen Diagnostikablauf () – dargestellt von der genetischen Beratung bis zur Befunderörterung – gegeben werden. Beim vorgestellten Beispiel handelt es sich um einen fiktiven Fall (basierend auf Berichten einer Selbsthilfegruppe).

### Zusatzinformationen für die Lehrperson

Allgemein gibt man zu Genen die Lokalisation an, d. h. wo sie auf einem Chromosom liegen. So liegt das Gen SLC3A1 in 2p21.

Zur Benennung eines solchen Genortes nennt man zunächst die Nummer des Chromosoms, dann kennzeichnet man den Chromosomenarm bezüglich des Zentromers – entweder durch den Buchstaben p für den kürzeren (französisch *petite branche*) oder q für den längeren Arm – und gibt schließlich die chromosomale Region auf diesem Arm genauer an durch Ziffern für die Bande und Unterbande, letztere abgetrennt durch einen Punkt.

Die Benennung der Gene erfolgt in diesem Fall nach der Funktion des Proteins, für das das Gen codiert: Solute Carrier family 3 (Cystine, dibasic and neutral amino acid transporter member 1).

Die Pathogenitätsbewertung einer Mutation geschieht über kostenlos zugängliche Online-Programme wie *Polyphen2* oder *Mutationtaster*.<sup>[4]</sup> Man gibt das Gen und die Nucleotidposition ein (SLC3A1-Gen, p.Y151N, c.451T>A), die ersetzte Base bzw. Aminosäure muss bekannt sein und ebenso angegeben werden. Schließlich erhält man eine Pathogenitätsbewertung. In diesem Fall lautet die Vorhersage für die Mutation, dass sie sich wahrscheinlich als nonsense-Mutation auf das Protein auswirkt („probably damaging“).

## 5 | Fazit und Ausblick

Die Zusammenarbeit mit dem Institut für Humangenetik der RWTH Aachen ermöglichte bzw. ermöglicht den in dieses Projekt eingebundenen Lehrpersonen einen Einblick in den aktuellen Stand der Forschung einerseits und in die Abläufe der humangenetischen Diagnostik andererseits, inklusive Labormethoden und datenbankgestützten Primerdesigns. Auch die Schülerinnen und Schüler des Projektkurses Humangenetik des Einhard-Gymnasiums gewannen im Schuljahr 2016/17 im Rahmen ihres zweitägigen Laborpraktikums am Institut für Humangenetik praktische Einblicke in den Ablauf der humangenetischen Diagnostik. Weiterhin unterstützten Herr Prof. Dr. Eggermann und Frau Dr. Eggermann die Schülerinnen und Schüler bei der Anfertigung ihrer Projektarbeiten.

Die Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Humangenetik und dem Einhard-Gymnasium wird in verschiedenen Bereichen (Vorträge im Biologieunterricht verschiedener Jahrgangsstufen) bestehen bleiben.

### Quellen

- <sup>[1]</sup> Online-Gendatenbanken: <https://genome.ucsc.edu/>;  
<http://www.omim.org>
- <sup>[2]</sup> Primerdesignprogramm: <http://primer3.ut.ee/>
- <sup>[3]</sup> <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e2/3mmstone.png> (abgerufen am 28.12.2016)
- <sup>[4]</sup> Online-Programme: Polyphen2 oder Mutationtaster:  
<http://genetics.bwh.harvard.edu/pph2/>;  
<http://www.mutationtaster.org/>

### Weiterführende Informationen zum Fallbeispiel

- <https://cystinuria.net/2016/05/28/bens-story/>  
(abgerufen am 28.12.2016)

### Weiterführende Informationen zur Cystinurie

- [http://www.orpha.net/consor/cgi-bin/OC\\_Exp.php?Lng=DE&Expert=214](http://www.orpha.net/consor/cgi-bin/OC_Exp.php?Lng=DE&Expert=214) (abgerufen am 28.12.2016)
- Eggermann et al. Orphanet Journal of Rare Diseases 2012, 7:19
- <http://www.ojrd.com/content/7/1/19> (abgerufen am 28.12.2016)

### Weiterführende Literatur

- *Cystinuria: an inborn cause of urolithiasis.*  
Eggermann T, Venghaus A, Zerres K.  
Orphanet J Rare Dis. 2012 Apr 5;7:19. doi: 10.1186/1750-1172-7-19.  
PMID: 22480232
- *The molecular basis of cystinuria.*  
Goodyer P.  
Nephron Exp Nephrol. 2004;98(2):e45-9.

→ *The SLC3 and SLC7 families of amino acid transporters.*

Fotiadis D, Kanai Y, Palacín M.

Mol Aspects Med. 2013 Apr-Jun;34{2-3}:139-58.

doi: 10.1016/j.mam.2012.10.007

→ *Pathophysiology and treatment of cystinuria.*

Chillarón J, Font-Llitjós M, Fort J, Zorzano A, Goldfarb DS, Nunes V, Palacín M.

Nat Rev Nephrol. 2010 Jul;6{7}:424-34. doi: 10.1038/

nrneph.2010.69

## Kontakt

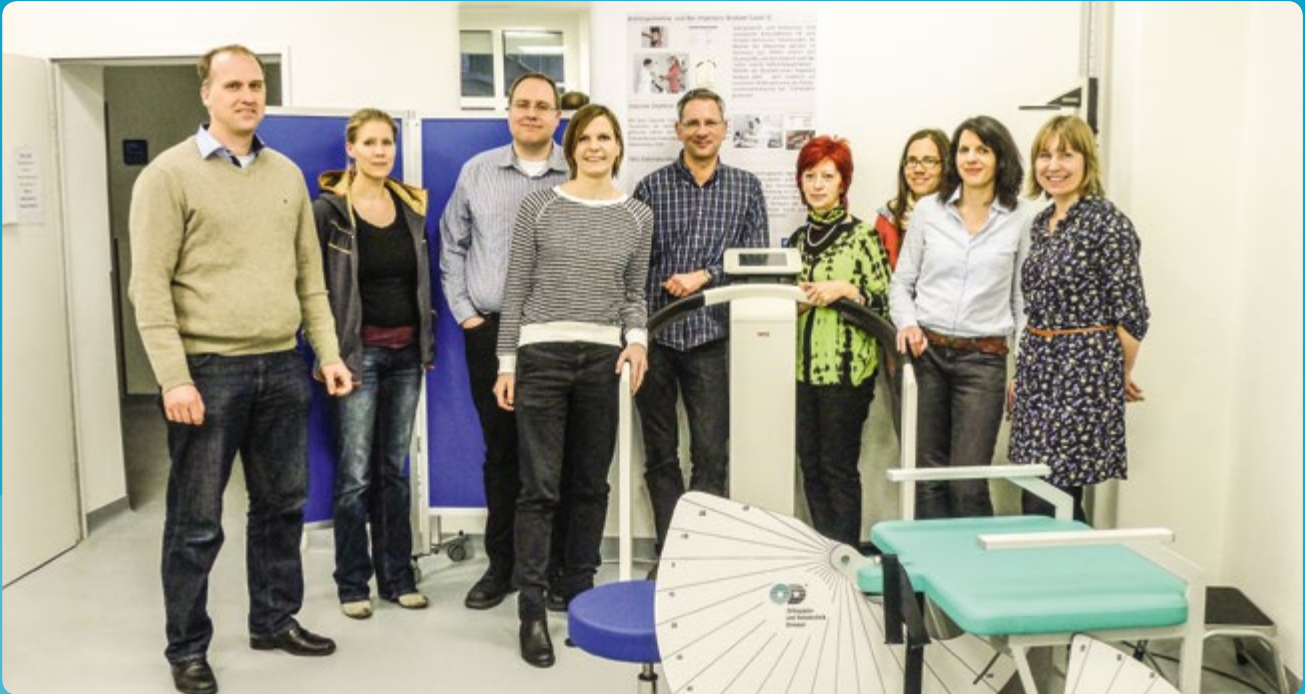
**Prof. Dr. rer. nat. Thomas Eggermann**

teggermann@ukaachen.de

Institut für Humangenetik, Universitätsklinikum der  
RWTH Aachen



# Kooperation Berlin



## STECKBRIEF

### → Schulen:

Andreas-Gymnasium, Georg-Büchner-Gymnasium, OSZ Gesundheit I, Robert-Havemann-Gymnasium



### → Lehrkräfte:

Katrin Bertram, Helga Fenz, Sven Kusserow, Stefanie Liebelt, Thomas Lundschien, Dr. Svenia Podlowski

### → Forschungseinrichtung:

Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin (MDC)



### → Forschende:

Dr. Luiza Bengtsson, Dr. Katharina Nimptsch, Prof. Dr. Tobias Pischon, Dr. Astrid Steinbrecher

### → Thema:

Epidemiologische Studien

### → Involvierte Unterrichtsfächer:

Biologie, Mathematik, Informatik, Ethik, Sporttheorie

## INTERVIEW

### → Teachers + Scientists ist für uns ...

... eine Möglichkeit, verschiedene wissenschaftliche Einrichtungen kennenzulernen und sich mit Lehrkräften und Forschenden aus anderen Bundesländern auszutauschen.

### → Wir machen bei Teachers + Scientists mit, weil ...

Forschende: ... wir gerne unser Fachgebiet in die Öffentlichkeit bringen möchten.

Lehrkräfte: ... es uns die Chance gibt, aktuelle Forschung direkt in die Schule zu bringen.

### → Was nehmen Sie aus der Zusammenarbeit mit?

Forschende: Wir haben etwas über Didaktik gelernt.

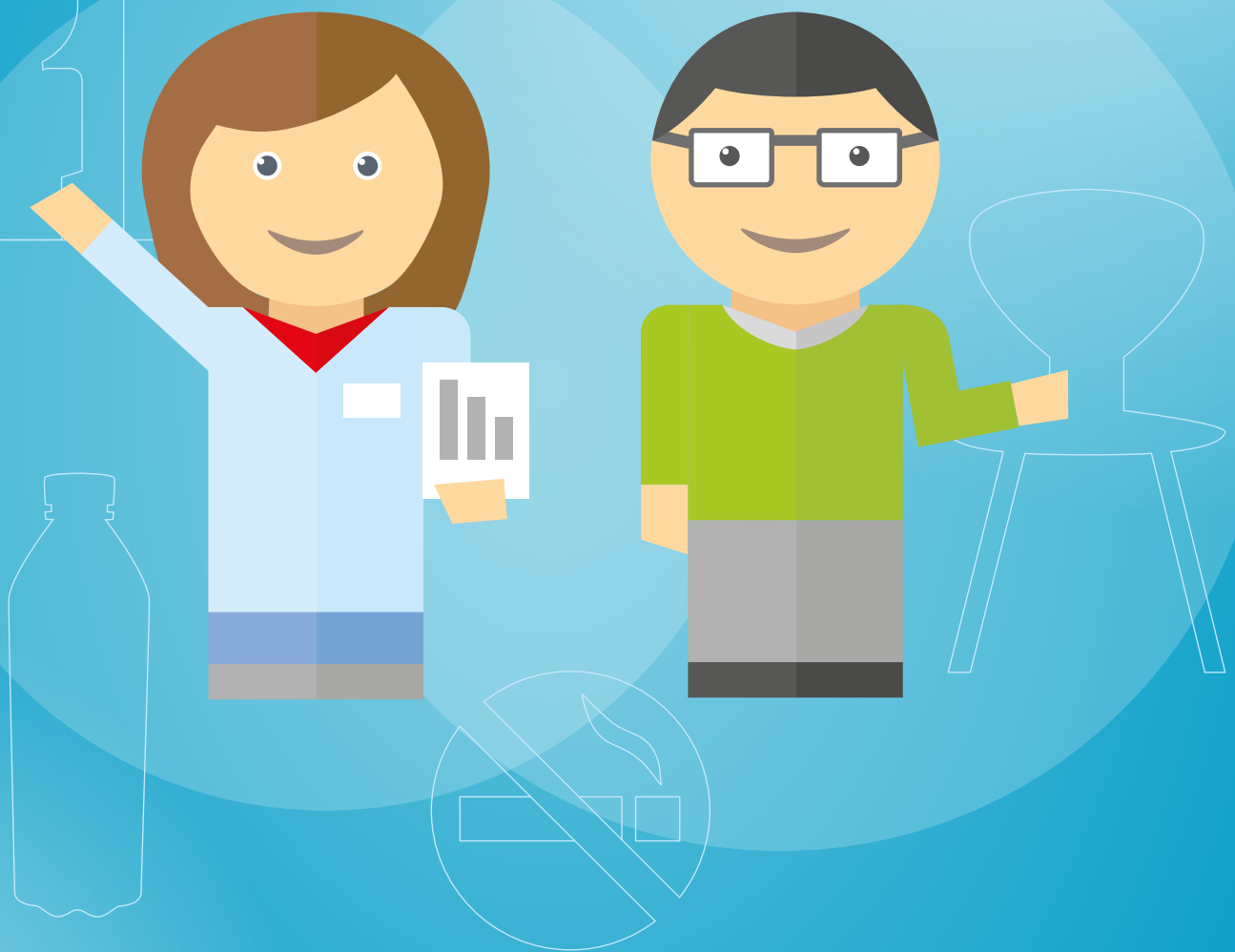
Lehrkräfte: Einblick in die Alltagsabläufe einer wissenschaftlichen Einrichtung.

### → Planen Sie eine Fortsetzung der Kooperation nach Projektende? Wenn ja, was haben Sie konkret vor?

Die Resultate der durchgeführten Studie werden an den Schulen präsentiert. Darüber hinaus werden die Projektergebnisse in relevanten Medien veröffentlicht und als Grundlage für Lehrerfortbildungen am MDC im Rahmen des Programms „Labor trifft Lehrer“ genutzt.

# Ernährung, Bewegung und Gesundheit – Wie wissenschaftliche Studien Erkenntnisse liefern

Dr. Luiza Bengtsson · Katrin Bertram · Helga Fenz · Sven Kusserow · Stefanie Liebelt · Thomas Lundschien · Dr. Katharina Nimptsch · Prof. Dr. Tobias Pischon · Dr. Svenia Podlowski · Dr. Astrid Steinbrecher



**SCHLAGWÖRTER:** Epidemiologie, Studientypen, Auswertung und Beurteilung von Studien, gesunde Ernährung, selbstständiges Planen und Durchführen von Studien

**UNTERRICHTSFÄCHER:** Biologie, Mathematik, Informatik, Ethik, Sporttheorie

**ALTERSGRUPPE DER SCHÜLERINNEN UND SCHÜLER:** ab Klassenstufe 8 (Wahlpflichtkurse), Sekundarstufe II

**EINSATZMÖGLICHKEITEN DES MATERIALS:**

- fächerübergreifend im Wahlpflichtunterricht Naturwissenschaften/ Biologie ab 8. Klasse (gesunde Ernährung)
- naturwissenschaftlicher Unterricht an Oberschulen ab Klassenstufe 11 (Einführungsphase/Seminarkurse/Zusammenarbeit der Fächer Biologie, Informatik und Mathematik möglich)
- im regulären Biologieunterricht (z. B. als Projekt)



## 1 | Einführung

### Aufbau und Einsatzmöglichkeiten des Materials

Im folgenden Unterrichtsmaterial greifen wir das Alltagswissen der Schülerinnen und Schüler zu Erkenntnissen aus Studien auf und binden es in sachlogische, aktuelle wissenschaftliche Zusammenhänge ein. Ziel ist es, Bewertungskompetenz und wissenschaftlich-propädeutisches Arbeiten der Schülerinnen und Schüler zu fördern.

Wir erklären, was man unter Epidemiologie versteht und wie epidemiologische Studien vorbereitet, durchgeführt und ausgewertet werden. Am Beispiel einer Zeitungsmeldung und einer von der Berliner Kooperation des Teachers + Scientists Projekts durchgeführten Studie zum Sitzverhalten der Schülerinnen und Schüler zeigen wir, wie man den Einfluss von Lebensstil- und Umweltfaktoren auf unsere Gesundheit untersuchen kann. Das Material bietet weiterhin Anregungen zur Erstellung eigener kleiner Studien.

## 2 | Hintergrundinformationen zur DEDIPAC-Studie<sup>[1]</sup>

Der moderne Mensch wird im Alltag häufig zu körperlicher Inaktivität gezwungen. In Bürojobs verbringen wir Stunden nahezu bewegungslos vor dem Bildschirm und am Abend entspannen wir vor dem Fernseher. Auch Kinder werden dazu angehalten, möglichst lange stillzusitzen. Dabei hängt ein körperlich passiver Lebensstil mit Krankheiten zusammen, zum Beispiel Diabetes, Fettleibigkeit oder vielen Herz-Kreislauf-Erkrankungen.

Um den Risikofaktor „körperliche Inaktivität“ in der Bevölkerung zu erfassen, müssen geeignete Methoden entwickelt werden. Dieser Aufgabe stellt sich das Wissenschaftler-Team um Prof. Dr. Tobias Pischon, das sich schon im Rahmen des Großprojekts „Nationale Kohorte“ an der Untersuchung der Lebensgewohnheiten vieler Tausend Menschen beteiligt. Das Team will nun das Sitzverhalten von Kindern und Jugendlichen erforschen und entwickelt dafür ein System zur Erfassung von körperlicher Betätigung über einen längeren Zeitraum. Das Besondere an der Studie: Die Forschenden arbeiten mit Lehrkräften und Schülerinnen und Schülern von vier Berliner Schulen zusammen – dem Andreas-Gymnasium, dem Robert-Havemann-Gymnasium, dem OSZ Gesundheit I und dem Georg-Büchner-Gymnasium.

Die Datenbasis für die Studie liefern Bewegungs- und Beschleunigungssensoren, die an Oberschenkel und Gürtel der freiwilligen Probanden eine Woche lang jede Bewegung aufzeichnen. Die Forschenden werten die Daten anschließend pseudonymisiert aus und stellen sie den Probanden wieder zur Verfügung.

Anders als in vergleichbaren Studien, spielen die teilnehmenden Lehrkräfte hier eine aktive und entscheidende Rolle: Zunächst wurden sie in der Durchführung epidemiologischer Studien fortgebildet, danach haben sie gemeinsam mit den Wissen-

schaftlerinnen und Wissenschaftlern einen Fragebogen entwickelt, der einen integralen Bestandteil der Studie darstellt, und abschließend werden sie an der Auswertung der Studie beteiligt sein. Mit diesen Erfahrungen werden die Lehrkräfte befähigt, später eigene Studien mit Schülerinnen und Schülern als Teil des Unterrichts durchzuführen. Das Projekt soll daher einen doppelten Nutzen haben: Neben der Gewinnung wertvoller Daten geht es um die direkte Vermittlung von moderner Wissenschaft. Kinder und Jugendliche sollen, so hoffen die Beteiligten, ein tieferes Verständnis für epidemiologische Studien entwickeln – und damit auch eine höhere Bewertungskompetenz.

Das vom Bund finanzierte Forschungsprojekt ist einerseits in das europaweit laufende multidisziplinäre DEDIPAC-Netzwerk<sup>[2]</sup> eingebettet, das Ernährungs- und Bewegungsverhalten in der Bevölkerung erfassen möchte und andererseits in das nationale Projekt Teachers + Scientists, das von Science on Stage Deutschland e. V. und der Stiftung Jugend forscht e. V. gemeinsam ins Leben gerufen wurde.

## 3 | Arbeitsmaterial für Schülerinnen und Schüler

### Teil A:

- AB 1: Was ist Epidemiologie?, Seite 26
- AB 2: Epidemiologische Maßzahlen, Seite 27
- AB 3: Epidemiologische Studientypen, Seite 28

### Teil B: Anwendungsbeispiel: Epidemiologische Studien verstehen

- AB 4: „Voll verzuckert“, Seite 31
- AB 5: DEDIPAC-Studie „Sitzendes Verhalten“ erforschen, Seite 32

# Was ist Epidemiologie?

Der Begriff Epidemiologie leitet sich aus den griechischen Wörtern für „über“ (epi), „Volk“ (demos) und „Lehre“ (logos) ab. Nach Lilienfeld wird er wie folgt definiert: „Epidemiologie ist die Lehre von der Verteilung von Erkrankungen oder physiologischen Tatbeständen in Bevölkerungen und den Faktoren, die diese Verteilung beeinflussen.“

Bei der Epidemiologie handelt es sich um eine beobachtende Wissenschaft, in deren Mittelpunkt der Mensch bzw. die menschliche Bevölkerung steht und die folgende Ziele hat:

1. Bestimmung des Ausmaßes einer Erkrankung oder anderer gesundheitsbezogener Faktoren in der Bevölkerung
2. Identifizierung der Ursache einer Erkrankung und der Faktoren, die das Erkrankungsrisiko erhöhen oder verringern
3. Bewertung präventiver und therapeutischer Maßnahmen
4. Bereitstellung einer Plattform zur Entwicklung gesundheitspolitischer Entscheidungen

Die Anfänge der Epidemiologie gehen unter anderem auf Arbeiten von Pierre Louis (1787–1872), einem praktizierenden Arzt in einem Pariser Krankenhaus, zurück. Louis vertrat als einer der ersten die Auffassung, dass ein Arzt seine Entscheidungen nicht nach intuitiver Einschätzung, sondern auf der Grundlage statistischer Daten zu treffen habe.

Die erste epidemiologische Studie wurde während der verheerenden Choleraepidemie Mitte des 19. Jahrhunderts in London durchgeführt. Damals beobachtete der englische Arzt John Snow, dass die Cholera fast ausschließlich bei Teilen der Bevölkerung

auftrat, die ihr Wasser von der Wasserpumpe in der Broad Street holten. Dazu berechnete er die Sterblichkeitsraten in den einzelnen Londoner Stadtvierteln, die mit Wasser aus drei verschiedenen Pumpen versorgt wurden. Der (kontaminierte) Brunnen in der Broad Street wurde daraufhin geschlossen und die Epidemie, die schon mehr als 500 Menschenleben gekostet hatte, beendet.

Obwohl die Epidemiologie sich im 19. Jahrhundert methodisch noch in den Anfängen befand, wurde so die Ursache für das gehäufte Auftreten von Choleraerkrankungen gefunden.

Auch heute noch sind das typische Fragen, die in der epidemiologischen Forschung gestellt werden: Gibt es einen Anstieg oder Abfall im Krankheitsaufkommen? Findet man in bestimmten (geografischen) Gebieten höhere Erkrankungsraten als in anderen Gebieten? Welches sind die gemeinsamen Merkmale der erkrankten Personen? Die Beantwortung dieser Fragen dient dazu, die Erkrankungshäufigkeit zu beschreiben (Person, Ort, Zeit) und so Rückschlüsse auf die Krankheitsentstehung zu ziehen.<sup>[3]</sup>

## Arbeitsaufträge:

1. Fassen Sie die Ziele der Epidemiologie zusammen. Interpretieren Sie den Satz: „...“, dass ein Arzt seine Entscheidungen nicht nach intuitiver Einschätzung, sondern auf der Grundlage statistischer Daten zu treffen habe.“
2. Informieren Sie sich über die Choleraepidemie Mitte des 19. Jahrhunderts.

# Epidemiologische Maßzahlen

Eine Grundlage der epidemiologischen Forschung ist das Quantifizieren von Ereignissen, wie z. B. Erkrankungshäufigkeit oder Sterblichkeit. Dazu benutzt man epidemiologische Maßzahlen wie Prävalenz, Inzidenz und Mortalitätsraten.

**Prävalenz** = Zahl der Erkrankten in der Gesamtpopulation zu einem bestimmten Zeitpunkt

**(Punkt)prävalenz** =  $\frac{\text{Zahl der Erkrankungsfälle in der Bevölkerung}}{\text{Bevölkerungszahl zu diesem Zeitpunkt}}$

**Beispiel:** Brustkrebs ist die mit Abstand häufigste Krebserkrankung bei Frauen. Das Brustkrebs-Screening dient dazu, Brustkrebs in einem sehr frühen Stadium zu erkennen. An einem Screening-Programm für Brustkrebs nahmen 8.000 Frauen teil. Bei 35 von ihnen wurde bereits vor dem Screening Brustkrebs diagnostiziert, bei weiteren 20 Frauen war er durch das Screening entdeckt worden.

**Prävalenz** =  $(35+20) / 8000 = 0,00688 \Rightarrow 6,9/1000$

**Inzidenz** = Anzahl der Neuerkrankungen in einer Population an einer bestimmten Krankheit während einer bestimmten Zeit

**Inzidenzrate** =  $\frac{\text{Zahl der Neuerkrankungen in einer Zeitperiode}}{\text{Zahl der Personen unter Risiko in dieser Zeitperiode}}$

**Beispiel:** An einem Screening-Programm für Brustkrebs nahmen 8.000 Frauen teil. Bei 35 von ihnen wurde bereits vor dem Screening Brustkrebs diagnostiziert, bei weiteren 20 Frauen wurde er durch das Screening entdeckt. Die Frauen, die zum Zeitpunkt des Screenings keinen Brustkrebs hatten (Population unter Risiko), wurden über fünf Jahre beobachtet. Es wurde in 44 Fällen Brustkrebs diagnostiziert.

**Inzidenzrate** =  $44 / (8000 \cdot 5) = 0,0055 \Rightarrow 5,5/1000$

**Mortalität** = Zahl der Todesfälle eines Jahres bezogen auf die Gesamtbevölkerung (Gesamtmortalitätsrate)

**Mortalitätsrate** =  $\frac{\text{Gesamtzahl der Todesfälle eines Jahres}}{\text{Bevölkerungszahl zur Jahresmitte}}$

**Beispiel:** 1994 lebten in einem Land X 5.000.000 Personen. Unter ihnen wurden 50.000 Todesfälle registriert.

**Gesamtmortalität** =  $50000 / 5000000 = 0,01 = 10/1000 \text{ Einwohner}$

**Ursachenspezifische Mortalitätsrate** =  $\frac{\text{Zahl der Todesfälle eines Jahres nach Ursache}}{\text{Bevölkerungszahl zur Jahresmitte}}$

**Beispiel:** In dem Beispiel starben 1.000 Personen an Brustkrebs.

**Ursachenspezifische Mortalitätsrate:**  $1000 / 5000000 = 0,0002 = 2/10000 \text{ Einwohner}$

Insgesamt kann man mit Prävalenz, Inzidenz und Mortalität beschreiben, wie häufig eine Krankheit in der Bevölkerung vorkommt und wie hoch die Sterblichkeit ist.

## Arbeitsauftrag:

Erklären Sie unter Zuhilfenahme geeigneter Beispiele die Begriffe Prävalenz, Inzidenz und Mortalität.

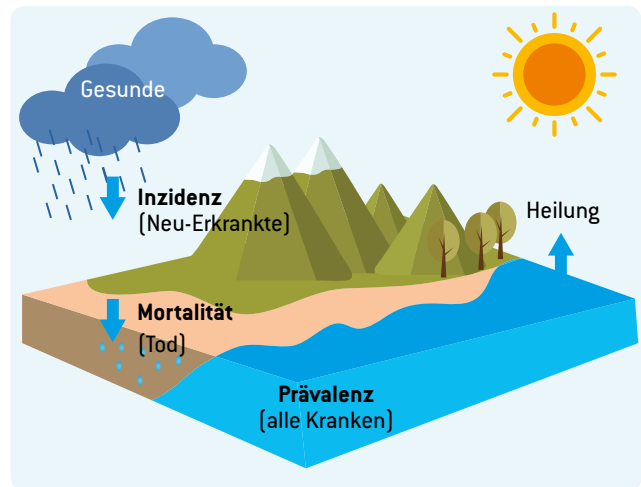


ABB. 1 Das Verhältnis zwischen Inzidenz, Prävalenz und Mortalität (Grafik: istock.com/kawin302)

# Epidemiologische Studientypen

Prinzipiell unterscheidet man zwischen sogenannten Beobachtungsstudien und experimentellen Studien oder Interventionsstudien. Während in Interventionsstudien aktiv in die Lebensweise der Probanden eingegriffen wird, werden die Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer in Beobachtungsstudien nur hinsichtlich bestimmter Charakteristika befragt bzw. untersucht. Zu den Beobachtungsstudien zählen Querschnittsstudien, Fall-Kontroll-Studien und Kohortenstudien. Allen epidemiologischen Studien ist gemein, dass sie den Einfluss einer unabhängigen Größe (Exposition, z. B. Ernährungsfaktoren) auf eine abhängige Größe (Endpunkt, z. B. Diabetes mellitus Typ 2) untersuchen. Endpunkte sind meistens Krankheiten, können aber auch Verhaltensweisen oder Risikofaktoren sein, bspw. der Einfluss von Werbung (= Exposition) auf das Rauchen (= Endpunkt).

## Querschnittsstudien

Mithilfe von Querschnittsstudien bestimmt man die Prävalenz einer gesundheitsbezogenen Größe und das gleichzeitige Vorhandensein anderer Faktoren, um folgende Frage zu beantworten: Tritt eine Exposition zeitgleich mit dem Endpunkt auf?

In einer Querschnittsstudie erhebt man simultan Exposition und Endpunkt zum Zeitpunkt X und bekommt folgende Daten:

- Informationen über die Häufigkeit/Prävalenz
- Krankheiten oder physiologische Merkmale
- Risikofaktoren (z. B. Rauchen, Alkoholkonsum)
- Zusammenhang zwischen Prävalenz und Abhängigkeit vom Endpunkt, wie z. B. einer Erkrankung und den entsprechenden Einflussfaktoren
- häufig repräsentative Stichproben

### Beispiel<sup>[4]</sup>:

Diabetes mellitus Typ 2

Exposition	Fall	kein Fall	gesamt	Prävalenz
BMI ≥ 30	30	120	150	30/150
BMI < 30	50	700	750	50/750

BMI = Body-Mass-Index

$$\text{Prävalenz-Ratio} = \frac{\text{Prävalenz unter den Exponierten}}{\text{Prävalenz unter den Nicht-Exponierten}}$$

$$\text{Prävalenz-Ratio} = \frac{30 / (30 + 120)}{50 / (50 + 700)} = 3,0$$

**Interpretation:** Die Prävalenz von Typ-2-Diabetes ist bei Personen mit einem BMI ≥ 30 dreimal höher als bei Personen mit einem BMI < 30.

Vorteile von Querschnittsstudien:

- schnell und günstig durchzuführen
- gut geeignet, um Hypothesen zu generieren

Nachteile von Querschnittsstudien:

- gleichzeitige Erfassung von Exposition und Outcome, d. h. Ursache-Wirkungs-Beziehungen können meist **nicht** geklärt werden
- Fehlinterpretation, wenn die Studie nicht repräsentativ ist

## Fall-Kontroll-Studien

Fall-Kontroll-Studien sind in die Vergangenheit schauende Studien, deren Teilnehmerinnen und Teilnehmer auf der Basis ihres Erkrankungs- (Fälle) bzw. Nicht-Erkrankungsstatus (Kontrollen) ausgewählt werden. Sowohl die Fälle als auch die Kontrollen werden dann nach ihrer, in der Vergangenheit liegenden, Exposition eingeteilt in früher Exponierte und früher Nicht-Exponierte. Mithilfe der Fall-Kontroll-Studien kann das Risiko (Odds Ratio) für eine Erkrankung aufgrund eines Expositions-faktors errechnet werden. Die Fall-Kontroll-Studie prüft, ob gegenwärtig Erkrankte (Fälle) im Vergleich zu gegenwärtig Nicht-Erkrankten (Kontrollen) früher häufiger gegenüber einem Merkmal exponiert waren.

**Beispiel:**

	Fälle	Kontrollen
Rauchen ja	80 Personen	80 Personen
Rauchen nein	20 Personen	120 Personen

$$\text{Odds Ratio} = \frac{\text{Chance (Odds) der Exposition unter den Fällen}}{\text{Chance (Odds) der Exposition unter den Kontrollen}}$$

$$\frac{80/20}{80/120} = \frac{80 \cdot 120}{20 \cdot 80} = 6$$

**Interpretation:** Raucher haben ein sechsfach höheres Krankheitsrisiko als Nichtraucher.

Vorteile von Fall-Kontroll-Studien:

- gut geeignet, um seltene Erkrankungen und Erkrankungen mit langer Latenzzeit zu studieren
- zeit- und kostengünstig
- gleichzeitige Erfassung mehrerer Expositionsfaktoren

Nachteile von Fall-Kontroll-Studien:

- Bias (Verzerrung)
- Selektionsbias bei Fällen oder Kontrollen (bewusste oder unbewusste Bevorzugung)
- Recall Bias (Datenerhebung aufgrund verzerrter Erinnerungen)

**Kohortenstudien**

Kohortenstudien sind in die Zukunft gerichtete Studien. Zu Beginn wird eine Studienpopulation ausgewählt, ihr Expositionsstatus erhoben und die Population in Exponierte und Nicht-Exponierte eingeteilt. Anschließend wird sie während der Studiendauer hinsichtlich der Entwicklung bestimmter Erkrankungen beobachtet. Mit Kohortenstudien kann man herausfinden, ob sich bei den Personen, die zu Beginn der Studie ein bestimmtes Merkmal trugen (Exponierte), eine Erkrankung häufiger bzw. weniger häufig entwickelt als bei den Personen, die dieses Merkmal bei Studienbeginn nicht trugen (Nicht-Exponierte). Die Kohortenstudie prüft, ob gegenwärtig gegenüber einem Merkmal exponierte Personen gegenüber nicht-exponierten Personen zukünftig häufiger erkranken.

**Beispiel:**

	Herzinfarkt ja	Herzinfarkt nein	gesamt
hoher Blutdruck zu Studienbeginn	90 Personen	403 Personen	493 Personen
normaler Blutdruck zu Studienbeginn	70 Personen	1.201 Personen	1.271 Personen
gesamt	160 Personen	1.604 Personen	1.764 Personen

$$\text{Relatives Risiko} = \frac{\text{Anzahl der Erkrankten unter allen Personen mit hohem Blutdruck}}{\text{Anzahl der Erkrankten unter allen Personen mit normalem Blutdruck}}$$

$$\frac{90 / (403 + 90)}{70 / (1201 + 70)} = 3,31$$

**Interpretation:** Personen mit hohem Blutdruck haben ein 3,31-fach höheres Herzinfarktrisiko als Personen mit normalem Blutdruck.

Vorteile von prospektiven Kohortenstudien:

- Exposition wird vor der Krankheit bestimmt
- gut geeignet zur Untersuchung seltener Risikofaktoren
- gut geeignet zur Untersuchung verschiedener Krankheiten
- Untersuchung der Ursache-Wirkungs-Beziehung
- direkte Risikobestimmung (Inzidenz)

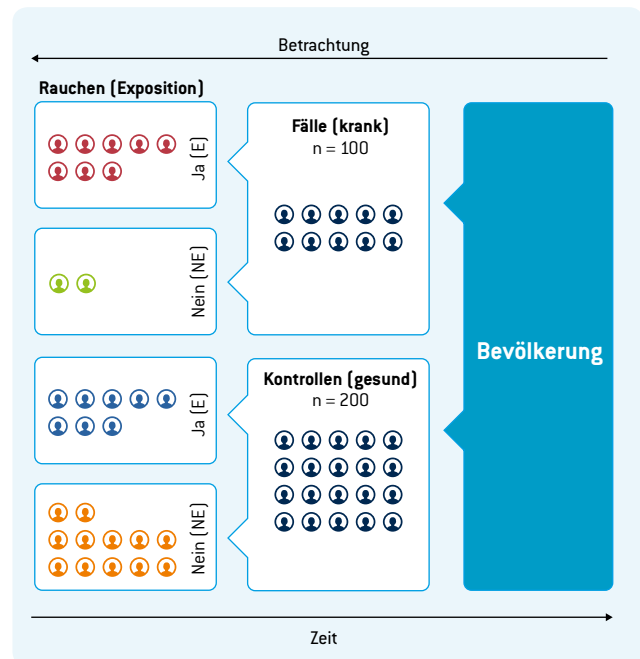


ABB. 2 4-Felder-Tafel und Berechnung des Risikomaßes

Nachteile von prospektiven Kohortenstudien:

- zeit- und kostenaufwändig
- ungeeignet für seltene Erkrankungen
- Interpretation schwierig, wenn hoher Ausfall während der Studie

### Interventionsstudie

Im Gegensatz zu den beobachtenden Studien besitzen Interventionsstudien ein experimentelles Studiendesign, bei dem der bzw. die Untersuchende ein oder mehrere Merkmale manipuliert und das darauf folgende Krankheitsauftreten misst. Dabei werden ebenfalls, wie bei der Kohortenstudie, Inzidenzdaten erhoben – Inzidenz in der Interventionsgruppe (Merkmal verändert) und Inzidenz in der Kontrollgruppe (Merkmal nicht verändert) – und das relative Risiko geschätzt.

Vorteile von Interventionsstudien:

- Nachweis kausaler Zusammenhänge zwischen Exposition und Erkrankung
- konkrete Hinweise zur Krankheitsprävention
- Quantifizierung von Interventionseffekten
- Bestätigung von Hypothesen

Nachteile von Interventionsstudien:

- kostenintensiv
- große Zahl von Teilnehmenden notwendig
- zeitaufwändig (langes Follow-up)
- Teilnahmebereitschaft
- Validitätsproblem bei hoher Ausfallrate im Laufe des Follow-up

**Validität** beschreibt, wie weit ein Ergebnis mit einem (theoretischen) wahren Wert übereinstimmt.

**Präzision** beschreibt, inwiefern wiederholte Experimente immer wieder zu dem gleichen Ergebnis führen.

### Arbeitsaufträge:

1. Bilden Sie vier Gruppen. Jede Gruppe wählt eine Studienform aus. Erarbeiten Sie das Wesentliche der Studienform und stellen Sie die Ergebnisse Ihren Mitschülerinnen und Mitschülern vor. Recherchieren Sie dazu auch im Internet.
2. Finden Sie weitere Beispiele zu den jeweiligen Studienformen.
3. Diskutieren Sie mögliche Fehlerquellen sowie ethische Aspekte bei der Durchführung von Studien.

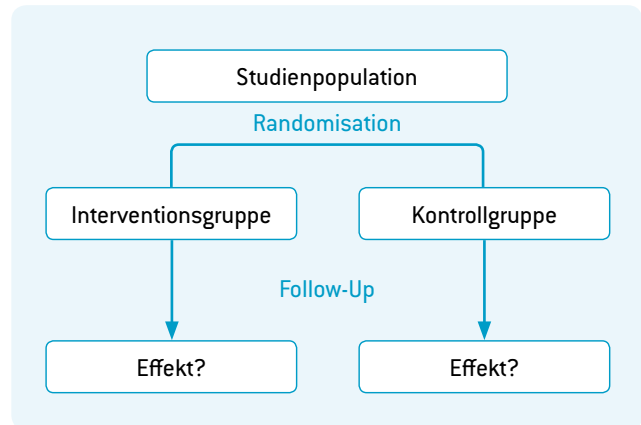


ABB. 3 Studiendesign

# „Voll verzuckert“

**Studie: Limonade erhöht Risiko von Herzversagen<sup>[5]</sup>**  
**Forscher ermittelten ein 23 Prozent höheres Risiko für jene, die zwei Gläser täglich trinken. Tee, Kaffee und Fruchtsaft wurden in der Studie aber ausgeklammert.**

Mehr als 23 Millionen Menschen leiden unter Herzinsuffizienz, einer der häufigsten internistischen Erkrankungen, die, wenn unbehandelt, meist zum Tod führt. Nur die Hälfte der betroffenen Patienten lebt fünf Jahre nach ihrer Diagnose noch. Männer sind stärker gefährdet als Frauen. Das regelmäßige Trinken von gesüßten Getränken steht schon länger mit Blutdruck, Entzündungswerten und Übergewicht in Verbindung – und kann etwa in Diabetes, Herzkreislauf-Erkrankungen und Schlaganfall resultieren, wie ältere Untersuchungen zeigen. Eine neue Studie fand nun einen direkten Zusammenhang zwischen Süßgetränken und Herzinsuffizienz. Untersucht wurden die Daten von 42.400 schwedischen Männern zwischen 45 und 79 Jahren – im Hinblick auf ihren Süßgetränke-Konsum und die Häufigkeit von Herzversagen. Zwischen Fruchtzucker (Fructose) und Traubenzucker (Glucose) sowie Zucker und Süßstoff wurde dabei nicht unterschieden. Tee, Kaffee und Fruchtsäfte wurden nicht miteinbezogen.

## Höheres Risiko

Im Untersuchungszeitraum 1998 bis 2010 erkrankten 3.604 Menschen an Herzinsuffizienz, 509 starben daran. Nachdem sie andere Einflussfaktoren herausgerechnet haben, kamen die Forschenden auf ein um 23 Prozent höheres Risiko für jene, die zwei Einheiten (zu je 200 Milliliter) Süßgetränke konsumierten. Es handelt sich um eine Beobachtungsstudie, ein kausaler Zusammenhang besteht also nicht zwangsläufig. Dennoch schreiben die Forschenden: „Wir wissen schon lange von den Auswirkungen gesüßter Getränke im Hinblick auf Übergewicht und Typ-2-Diabetes, für sich genommen zwei Risikofaktoren für Herzinsuffizienz. Ein direkter Zusammenhang zwischen Süßgetränken und der Erkrankung ist also plausibel.“ Um ein mögliches Risiko gar nicht erst einzugehen, empfehlen sie, nur gelegentlich zu gesüßten Getränken zu greifen.



ABB. 4

## Arbeitsaufträge:

1. Lesen Sie den Zeitungsartikel zur Studie über die Auswirkungen des Konsums von süßen Getränken.
2. Erklären Sie anhand Ihrer Kenntnisse über epidemiologische Studien, welcher Studientyp dieser Studie zugrunde liegt.
3. Beurteilen Sie den "Wahrheitsgehalt" (z. B. mögliche Fehlerquellen) der Studienergebnisse.

## Optional:

4. Ermitteln Sie den durchschnittlichen Konsum von gesüßten Getränken in Ihrem Kurs.
5. Diskutieren Sie die Ergebnisse.

<sup>[5]</sup> <http://derstandard.at/2000024803059/Studie-Limonaden-erhoehen-Risiko-fuer-Herzversagen> (abgerufen am 12.01.2017)

## DEDIPAC-Studie „Sitzendes Verhalten“ erforschen<sup>[6]</sup>



ABB. 5 Akzelerometer (Bewegungsmesser)

Ziel und Hintergrund der Studie: Erste Forschungen weisen darauf hin, dass langes Sitzen die Gesundheit negativ beeinflussen kann. Im Moment werden jedoch in Deutschland und anderen europäischen Ländern nur begrenzt Daten darüber erhoben, wie viel und wann Kinder und Jugendliche täglich sitzen. Ein Grund hierfür ist, dass bis heute geeignete Messmethoden fehlen. Das Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin (MDC) hat in Zusammenarbeit mit dem Bremer Institut für Präventionsforschung und Epidemiologie einen Fragebogen entwickelt, der sitzendes Verhalten und Einflussfaktoren auf Sitzen und Liegen erfasst. Zusätzlich zu dem Fragebogen sollen zwei spezielle Bewegungsmessgeräte eingesetzt werden, mit denen erstmalig die Sitz-Zeiten und auch die Zeiten, in denen ein Schüler bzw. eine Schülerin aktiv ist, gemessen werden können.

Sitzendes Verhalten wurde objektiv mit Bewegungsmessern (Akzelerometern) erfasst. Hierfür trugen Kinder einer Berliner Grundschule (Klassenstufe 2) und Jugendliche von drei Berliner Oberschulen (Klassenstufe 9) die Akzelerometer über neun Tage hinweg. Am Ende der Tragezeit erfolgte mittels Fragebogen

die subjektive Erfassung von möglichen Einflussfaktoren (inkl. Schul- und Berufsausbildung sowie Herkunft der Eltern). Bei den Kindern wurde der Fragebogen von den Eltern ausgefüllt. Die Jugendlichen füllten den Fragebogen selbst aus. Jedoch wurden die Eltern der Jugendlichen gebeten, in einem separaten Fragebogen selbst Angaben zur elterlichen Schul- und Berufsausbildung sowie zur Herkunft zu machen, da die Jugendlichen diese Informationen möglicherweise nicht zuverlässig wiedergeben können. Zudem wurden die Schulleitenden gebeten, einen Fragebogen zu möglichen schulspezifischen Einflussfaktoren auszufüllen.

Vorläufige Ergebnisse: Im Zeitraum von Februar bis Juni 2016 wurde die Studie an vier Berliner Schulen durchgeführt. Tabelle 1 zeigt für jede Schule die Anzahl der Schülerinnen und Schüler und Erziehungsberechtigten, die zur Studie eingeladen wurden, die Anzahl an Schülerinnen und Schülern, die in die Studie eingeschlossen wurden (eingewilligt haben) und die Anzahl an Teilnehmenden, die die Studie erfolgreich absolviert haben.

TABELLE 1 Überblick zur Teilnahme an der DEDIPAC-Studie

Schule	Anzahl angesprochener Klassen	Anzahl Schülerinnen, Schüler/ Erziehungsberechtigte, die zur Studie eingeladen wurden	Anzahl Teilnehmende	Anzahl Teilnehmende, die die Studie erfolgreich beendet haben
1	1	27	25	25
2	2	65	14	14
3	1	31	20	17
4	1	22	6	5



**TABELLE 2** Überblick der durchschnittlichen Zeit pro Wochentag, die mit Liegen oder Sitzen, leichter oder moderater–starker Aktivität verbracht wurde und durchschnittliche Anzahl von Schritten pro Tag ermittelt mit dem Akzelerometer in der DEDIPAC-Studie

Wochentag	Durchschnittliche Zeit, die mit Liegen oder Sitzen verbracht wurde (Min./Tag)	Durchschnittliche Zeit, die mit leichter Aktivität verbracht wurde (Min./Tag)	Durchschnittliche Zeit, die mit moderater – starker Aktivität verbracht wurde (Min./Tag)	Durchschnittliche Anzahl Schritte/Tag
Mo	1.164	121	155	8.339
Di	1.145	125	169	9.155
Mi	1.150	121	169	9.273
Do	1.163	123	154	8.085
Fr	1.132	127	181	9.740
Sa	1.175	124	141	6.629
So	1.205	113	122	5.317

Tabelle 2 zeigt die vorläufigen Ergebnisse des Akzelerometers, der primär die körperliche Aktivität misst und Zeiten schätzt, die liegend oder sitzend verbracht wurden.

### Arbeitsaufträge:

1. Interpretieren Sie die Angaben der Tabelle 1.
2. Berechnen Sie für die einzelnen Wochentage den prozentualen Anteil der Zeit, die durchschnittlich mit moderater–starker Aktivität verbracht wurde.
3. Erstellen Sie ein Balkendiagramm, in dem für jeden Wochentag der prozentuale Anteil der Zeit, der durchschnittlich mit moderater–starker Aktivität verbracht wurde, dargestellt ist.
4. Erstellen Sie ein Balkendiagramm, in dem für jeden Wochentag die durchschnittliche Anzahl von Schritten dargestellt ist.
5. Diskutieren Sie anhand der Diagramme, ob es Unterschiede in den Zeiten und in den Schritten zwischen den Wochentagen gibt.
6. Sind die Ergebnisse zu den Zeiten in Aktivität und zu der Anzahl der Schritte vergleichbar? Wodurch könnten Unterschiede zustande kommen?
7. Welche Schlüsse können aus der Studie gezogen werden? Überlegen Sie auch, ob die Studie repräsentativ ist.

[6] DEDIPAC= Determinants of diet & physical activity, <https://www.dedipac.eu/>

## 4 | Informationsmaterial für Lehrkräfte

Lösungsvorschläge für einige Arbeitsaufträge:

### Teil A

#### 1:

#### 2. Informieren Sie sich über die Choleraepidemie Mitte des 19. Jahrhunderts.

1892: Die Cholera wütet in Hamburg

„Ich vergesse, dass ich in Europa bin.“ Dieses vernichtende Urteil fällt Robert Koch über die Zustände in Hamburg, als er die Hansestadt während der Choleraepidemie im Sommer 1892 besucht. Es ist der letzte große Ausbruch dieser Krankheit in Deutschland. Wie der Direktor des preußischen Instituts für Infektionskrankheiten schnell erkannt hat, bieten die katastrophalen hygienischen Zustände vor allem in den ärmeren Stadtvierteln Hamburgs beste Voraussetzungen für die Verbreitung des Choleraerregers [...].<sup>[7]</sup>

#### 3:

#### 3. Diskutieren Sie mögliche Fehlerquellen bei der Durchführung von Studien.

Mögliche Fehlerquellen:

- Fehler bei der Auswahl der Studieneinheiten
- Zusammenhang zwischen Exposition und Auswahl oder Krankheit und Auswahl
- Fehler beim Sammeln der Daten (Exposition und/oder Outcome)
- fehlerhafte Angaben der Teilnehmenden (z. B. Recall Bias)
- fehlerhafte (oft nicht zufällige) Einteilung in Expositions-/ Krankheits-Kategorien (Fehlklassifikation)
- exponierte Personen können sich hinsichtlich anderer krankheitsrelevanter Eigenschaften von nicht-exponierten Personen unterscheiden
- Exposition (Faktor, dem Menschen ausgesetzt sind; Summe aller Umgebungseinflüsse, die auf ein Lebewesen einwirken; können biologische, chemische oder physikalische Faktoren sein, wie z. B. Zigarettenrauch)
- Störfaktoren, z. B. Alkoholkonsum, Rauchen

### Teil B

#### 4:

#### 2. Erklären Sie anhand Ihrer Kenntnisse über epidemiologische Studien, welcher Studientyp dieser Studie zugrunde liegt.

Da es sich um eine (begleitete) prospektive Beobachtungsstudie ausgehend von einer Fragestellung handelt, ist es eine Kohortenstudie. Gegen eine Querschnittsstudie spricht die Dauer der Untersuchung und, dass keine simultane Erhebung von Outcome und Exposition stattfand. Gegen eine Fall-Kontroll-Studie spricht, dass nicht gezielt Erkrankte ausgewählt und mit einer Kontrollgruppe verglichen wurden. Für eine Interventionsstudie hätte ein experimentelles Studiendesign, bei dem die Forschenden ein oder mehrere Merkmale manipulieren, vorliegen müssen.

#### 3. Beurteilen Sie den "Wahrheitsgehalt" der Studienergebnisse.

Eine Kohortenstudie ermöglicht unter den Einschränkungen einer Beobachtungsstudie eher Aussagen zu einer Ursachen-Wirkungs-Beziehung. Daher ist die Aussage, dass der Konsum von süßen Getränken Herzkrankheiten begünstigt, als belastbarer anzusehen, als wenn es sich z. B. um eine Querschnittsstudie handeln würde. Jedoch handelt es sich bei dieser Studie um Beobachtungen, die falsch interpretiert werden können. Zudem können auch hier gängige Fehler von epidemiologischen Studien, wie z. B. fehlerhafte Angaben der Probanden oder auch Fehlklassifikationen, vorkommen. Hinsichtlich der Bewertung der Studienergebnisse ist jedoch auch problematisch, dass in der Studie der Konsum von (gesüßtem) Tee, Kaffee sowie von Fruchtsäften nicht miteinbezogen wurde. Vielleicht bekamen einige Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer auch Herzprobleme, weil sie neben dem hohen Konsum von den erfassten gesüßten Getränken auch viele nicht erfasste gesüßte Getränke zu sich nahmen. Der Artikel „Voll verzuckert“ basiert auf einer Studie aus Schweden.<sup>[8]</sup>

#### 5:

#### 1. Interpretieren Sie die Angaben der Tabelle 1.

Dargestellt: Anzahl der Teilnehmenden, der Schulen, der Erziehungsberechtigten, Differenz der Interessierten und der wirklichen Teilnehmenden

Auswertung: Mögliche Ursachen der Differenz diskutieren

#### 2. Berechnen Sie für die einzelnen Wochentage den prozentualen Anteil der Zeit, der durchschnittlich mit moderater-starker Aktivität verbracht wurde.

Prozentualer Anteil =  $100 \times \text{Zeit in körperlicher Aktivität in Minuten} / 1.440 \text{ Minuten}$  (24 Stunden à 60 Minuten)

#### 5. Diskutieren Sie anhand der Diagramme, ob es Unterschiede in den Zeiten und in den Schritten zwischen den Wochentagen gibt.

Die körperliche Aktivität und die Zahl der Schritte sind am Samstag und Sonntag niedriger als montags bis freitags.

#### 6. Sind die Ergebnisse zu den Zeiten in Aktivität und zu der Anzahl der Schritte vergleichbar? Wodurch könnten Unterschiede zustande kommen?

Die körperliche Aktivität misst auch die Intensität, wohingegen Schritte keine direkte Aussage über die Intensität erlauben.

#### 7. Welche Schlüsse können aus der Studie gezogen werden? Überlegen Sie auch, ob die Studie repräsentativ ist.

In dieser Stichprobe wird eine geringere Aktivität von Kindern und Jugendlichen am Wochenende im Vergleich zu Werktagen deutlich. Allerdings handelt es sich hierbei um eine relativ kleine Stichprobe und selektive Auswahl an Schulen, daher ist sie nicht repräsentativ.

## 5 | Fazit und Ausblick

Innerhalb der Kooperation arbeiteten Mitglieder aus der Forschungsgruppe „Molekulare Epidemiologie“ am Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin (MDC) mit Biologielehrkräften aus vier Berliner Schulen zusammen. Es wurde eine DEDIPAC-Studie zu „Sitzendem Verhalten“ von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus Bremen und Berlin sowie den beteiligten Lehrkräften geplant, d. h. die erforderlichen Eckdaten wurden gemeinsam erarbeitet. Dazu wurden den Lehrkräften verschiedene Studiendesigns vorgestellt. Lehrkräfte und Forschende haben in mehreren Teamsitzungen in angeregter, produktiver Atmosphäre gearbeitet. Die entwickelte Studie wurde an vier Schulen durchgeführt und von den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern ausgewertet bzw. befindet sich noch in der Auswertung.

Alle Beteiligten konnten ihre Ideen und Gedanken einbringen, sodass beide Seiten die Zusammenarbeit als sehr angenehm empfanden. Sowohl Forschende als auch Lehrkräfte haben viel voneinander gelernt und werden auch in Zukunft davon profitieren.

Wir möchten anderen Wissenschaftlerinnen, Wissenschaftlern und Lehrkräften den Rat geben, sich einen Partner für eine gemeinsame Projektarbeit zu suchen. Der Erfahrungsaustausch, die verschiedenen Sichtweisen und die Diskussionen im Team waren für uns sehr konstruktiv. Auch werden wir bei der weiteren Arbeit in unseren Schulen diese Erfahrungen nutzen. Am Robert-Havemann-Gymnasium möchten wir z. B. in Fortsetzung dieser Zusammenarbeit ein Jugend forscht Projekt anbieten. Darin soll es um Messungen und Datenerfassungen von Schüleraktivitäten und deren Auswertung bezogen auf Bewegung und Ernährung gehen.

## Quellen

- [1] <https://insights.mdc-berlin.de/de/2016/02/sitzen-in-der-schule/>
- [2] Das DEDIPAC Netzwerk (**D**eterminants of **D**iet und **P**hysical **A**ctivity Knowledge Hub) ist das erste Projekt der europäischen Initiative „Eine gesunde Ernährung für ein gesundes Leben“. Es vereint ca. 300 Forscherinnen und Forscher aus 70 Forschungsinstituten in 13 europäischen Ländern, welche unter anderem biomedizinische, verhaltenswissenschaftliche, epidemiologische und ökonomische Expertise im Netzwerk einbringen. ([https://www.bips-institut.de/no\\_cache/aktuelles/presse/einzelansicht/artikel/gewinnung-von-gesundheitsdaten-erster-schritt-fuer-einen-standard-in-europa.html](https://www.bips-institut.de/no_cache/aktuelles/presse/einzelansicht/artikel/gewinnung-von-gesundheitsdaten-erster-schritt-fuer-einen-standard-in-europa.html), abgerufen am 17.03.2017)
- [3] M. Schulz, Einführung in die Epidemiologie, Ernährungslehre und -praxis, (2) Februar 2006
- [4] M. Schulz, Einführung in die Epidemiologie, Ernährungslehre und -praxis, (2) Februar 2006, (6) Juni 2006
- [5] <http://derstandard.at/2000024803059/Studie-Limonaden-erhoehen-Risiko-fuer-Herzversagen> (abgerufen am 12.01.2017)
- [6] DEDIPAC= Determinants of diet & physical activity, <https://www.dedipac.eu/>
- [7] Den vollständigen Artikel finden Sie unter [www.science-on-stage.de/teachers-scientists\\_materialien](http://www.science-on-stage.de/teachers-scientists_materialien) oder <http://www.ndr.de/kultur/geschichte/schauplaetze/1892-Die-Cholera-wuetet-in-Hamburg-,choleraepidemie100.html> (abgerufen am 12.01.2017).
- [8] <http://heart.bmj.com/content/early/2015/10/19/heart-jnl-2015-307542.abstract> (abgerufen am 12.01.2017)

## Kontakt

### → Dr. Luiza Bengtsson

LaborTrifftLehrer@mdc-berlin.de

Leiterin „Labor trifft Lehrer“ am Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin in der Helmholtz Gemeinschaft, [www.mdc-berlin.de/ltl](http://www.mdc-berlin.de/ltl)

### → Helga Fenz

helgafenz@aol.com

Abgeordnete Lehrerin im Gläsernen Labor, Campus Berlin-Buch, [www.glaesernes-labor.de](http://www.glaesernes-labor.de), Fachbereichsleiterin Naturwissenschaften am Robert-Havemann-Gymnasium in Berlin, [www.robert-havemann-gymnasium.de](http://www.robert-havemann-gymnasium.de)

### → Prof. Dr. Tobias Pischon, Dr. Astrid Steinbrecher, Dr. Katharina Nimptsch

Forschungsgruppe „Molekulare Epidemiologie“ am Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin in der Helmholtz Gemeinschaft, [https://www.mdc-berlin.de/35426102/de/research/research\\_teams/molecular\\_epidemiologie](https://www.mdc-berlin.de/35426102/de/research/research_teams/molecular_epidemiologie)



# Kooperation Bielefeld



## STECKBRIEF

### → Schulen:

Gymnasium Heepen, Gesamtschule Hüllhorst, Widukind-Gymnasium Enger



### → Lehrkräfte:

Kirsten Biedermann, Thomas Sawatzky, Melanie Wittland

### → Forschungseinrichtungen:

Lehrstuhl für Experimentelle Ökologie & Ökosystembiologie, Fakultät für Biologie, Universität Bielefeld; AG Astroteilchen und Kosmologie, Fakultät für Physik, Universität Bielefeld; Fachhochschule Bielefeld



### → Forschende:

Josef Avenwedde, Prof. Dr. Dominik Schwarz, Dr. Tom Steinlein

### → Themen:

Mykorrhiza, Elementarteilchenphysik, physikalische Aspekte einer Waschmaschine

### → Involvierte Unterrichtsfächer:

Biologie, Mathematik, Physik, Technik

## INTERVIEW

### → Teachers + Scientists ist für uns ...

... inspirierend und motivierend für den eigenen Unterricht.

... herausfordernd, hochkomplexe wissenschaftliche Themen schülerverständlich aufzubereiten.

... gemeinsam als Team aus Forschenden und Lehrkräften schülerrelevante Themen zu bearbeiten.

### → Wir machen bei Teachers + Scientists mit, weil ...

... es eine willkommene Abwechslung und Bereicherung zum Berufsalltag ist und wir neue Impulse für die eigene Arbeit bekommen.

### → Was nehmen Sie aus der Zusammenarbeit mit?

Ein fachliches Update jenseits von Lehrerfortbildung und Literaturstudium in tollem Rahmen (gilt sowohl für die Lehrkräfte als auch die Forschenden).

### → Planen Sie eine Fortsetzung der Kooperation nach Projektende? Wenn ja, was haben Sie konkret vor?

Die Erfahrungen haben uns ermutigt, weiter nach solchen Kooperationen zu suchen.

# Mykorrhiza – Symbiose aus Pilz und Pflanze: DER Geheimtipp für Hobbygärtner

Dr. Tom Steinlein · Melanie Wittland



**SCHLAGWÖRTER:** Symbiose, Stoffkreisläufe und Energieflüsse, Pilze, Mykorrhiza, Wachstum

**UNTERRICHTSFÄCHER:** Biologie, Wahlunterricht Naturwissenschaften, Geografie

**ALTERSGRUPPE DER SCHÜLERINNEN UND SCHÜLER:** Jahrgangsstufe 7–9

**ERFORDERLICHE VORKENNTNISSE:** Symbiose, Ökosystem, Aufbau und Struktur von Pilzen, Stoffkreisläufe, Bedeutung von Pilzen im Ökosystem

**SICHERHEITSHINWEISE:** Wird die Mykorrhiza-Färbung durchgeführt, sind Schutzbrillen und Handschuhe notwendig. Die Betriebsanweisungen der verwendeten Chemikalien sind zu beachten und auszuliegen. Beim Anfärben im Wärmebad wird ein Abzug (Digestorium) benötigt.

## 1 | Einführung

Im Rahmen der Ökosystemzusammenhänge wird auf die Symbiose zwischen Pflanzen und Pilzen eingegangen. Dabei werden in einem Experiment die Effekte von Mykorrhizierung auf unterschiedliche Pflanzenarten dargestellt und in einem Wuchsvergleich demonstriert bzw. gemessen. Die Schülerinnen und Schüler lernen die Wechselwirkungen zwischen Pflanzenwurzeln und Mykorrhizapilzen kennen. Weiterhin entwickeln sie Hypothesen zu symbiotischen Beziehungen zwischen Pilzen und Pflanzen und erlernen bzw. vertiefen die Schritte des experimentellen Vorgehens. Neben mikroskopischen Zeichnungen führen sie Färbungen der Präparate durch und bewerten die unterschiedlichen Effekte der verschiedenen Versuchsansätze und die Einsatzmöglichkeiten in der gartenbaulichen Praxis. Die Arbeit in Kleingruppen sowie das Präsentieren werden ebenfalls gefestigt.

## 2 | Informationsmaterial für Lehrkräfte Mykorrhiza und Symbiose

Unter den Interaktionen von Organismen ist neben dem Parasitismus, der Konkurrenz oder dem Kommensalismus, die den Schülerinnen und Schülern bekannteste die Symbiose. Darunter versteht man eine sehr spezifische Interaktion zweier oder mehrerer Organismen unterschiedlicher Arten. Diese kann zwischen Tieren, zwischen Pflanzen und Tieren oder zwischen Pflanzen und Pilzen, Algen usw. stattfinden. In der Regel haben beide Arten einen Vorteil aus dieser Beziehung, der sich positiv auf die biologische Fitness, die Überlebenswahrscheinlichkeit oder auf die Optimierung von Stoffwechselprozessen auswirken kann. Die Intensität der Beziehung kann sehr locker sein, kann sich aber auch so gestalten, dass der eine Partner ohne den anderen nicht überleben kann, wie z. B. bei Flechten, einer Symbiose von Pilzen mit Algen.

In der Botanik ist die Symbiose bestimmter Pilze mit der Pflanzenwurzel, die Mykorrhiza, eine der wichtigsten Symbiosen, die wir kennen. Sie wurde 1885 von Albert Bernhard Frank das erste Mal an Waldbäumen beschrieben. Etwa 85 bis 90 % aller Pflanzen besitzen solche Mykorrhiza. Neuere Forschungen gehen davon aus, dass diese Symbiose auch in eine parasitische Beziehung zum Vorteil für den Pilz übergehen kann. Generell aber erhält die autotrophe Pflanze über den Pilz mehr Zugang zu Mineralstoffen, der heterotrophe Pilz erhält im Gegenzug Kohlenhydrate (bis zu 20 % der Primärproduktion der Pflanze!).

Die am häufigsten vorkommende Form der Mykorrhiza ist die sogenannte arbuskuläre Mykorrhiza. Dies ist auch die Form, die in nachfolgendem Experiment auftritt. Die Pilzhypen, die man in ihrer Gesamtheit als Mycel bezeichnet, dringen in die Wurzel ein und bilden dort bestimmte Strukturen (Abb. 1) aus, die dem Stoffaustausch dienen, sogenannte Arbuskel. Man findet aber auch Gebilde der Speicherung, die Vesikel, und die Pilzhypen. Neben dem Stoffaustausch schützen die Pilze die Pflanze auch vor dem Eindringen von Bakterien, Viren oder schädlichen Pilzen. Dadurch, dass Pilze ähnlich wie Insekten

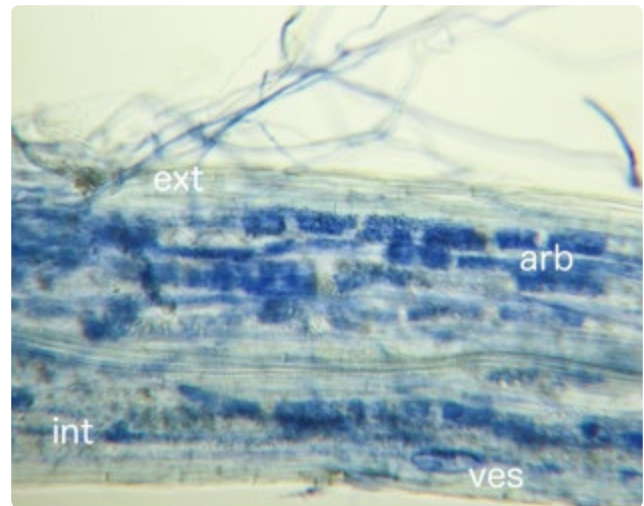


ABB. 1 Angefärbte Wurzel mit Mykorrhizastrukturen: Vesikel (ves), Arbuskel (arb), extraradikale Hyphen, die außerhalb der Wurzel auftreten (ext) und intraradikale Hyphen, die man in der Wurzel findet (int)

als Baumaterial der Zellwände Chitin verwenden – das den Pflanzenwurzeln fehlt –, können diese auch spezifisch und relativ ungefährlich mit Tinte im Unterricht angefärbt werden.

Die Zahl der Pflanzen, die diese Pilzsymbiose aufweisen, ist sehr groß. Nur wenigen Pflanzenfamilien fehlt sie, z. B. den Kreuzblütlern. Auch bei der Mykorrhiza treten unterschiedlich ausgeprägte Formen der Symbiose auf. So sind einige Pflanzen sehr stark auf die Mykorrhiza angewiesen (mykotroph), für andere kann das auch eine fakultative Angelegenheit sein.

### Experimente zur Mykorrhiza

Den Ablauf der Unterrichtsreihe gibt das Schaubild (Abb. 2) wieder. Die Anleitungen zu den Experimenten und die Arbeitsaufträge (M1–M6) für die Schülerinnen und Schüler stehen als Download zur Verfügung.<sup>[1]</sup>

Ein Parameter, wie man die Vorteile der Mykorrhiza auch im Schulexperiment leicht nachweisen kann, ist die qualitative oder quantitative Abschätzung bzw. Messung der Biomasse nach einer kurzen Zeit des Wachstums mit und ohne Mykorrhiza.

Dazu werden verschiedene Pflanzenarten ausgewählt, in kleine Töpfe mit sterilisiertem Sand eingesät und das Wachstum verfolgt. Die eine Hälfte wird mit einem Pilz-Inokulum (Pilzsporen) infiziert – das sind die Pflanzen mit Mykorrhiza –, die anderen wachsen nur auf sterilem Sand. Hier ist es wichtig, dass die Lehrkraft sehr genau darauf achtet, die beiden Behandlungen getrennt voneinander durchzuführen und zu betreuen. Am Ende werden die Pflanzen geerntet und die Wurzeln eventuell angefärbt. Dadurch kann der Grad der Mykorrhizierung bestimmt werden.

Im experimentellen Teil der Unterrichtseinheit werden Expertengruppen gebildet, die während des Experiments jeweils für eine Pflanzenart mit und ohne Mykorrhiza verantwortlich sind.

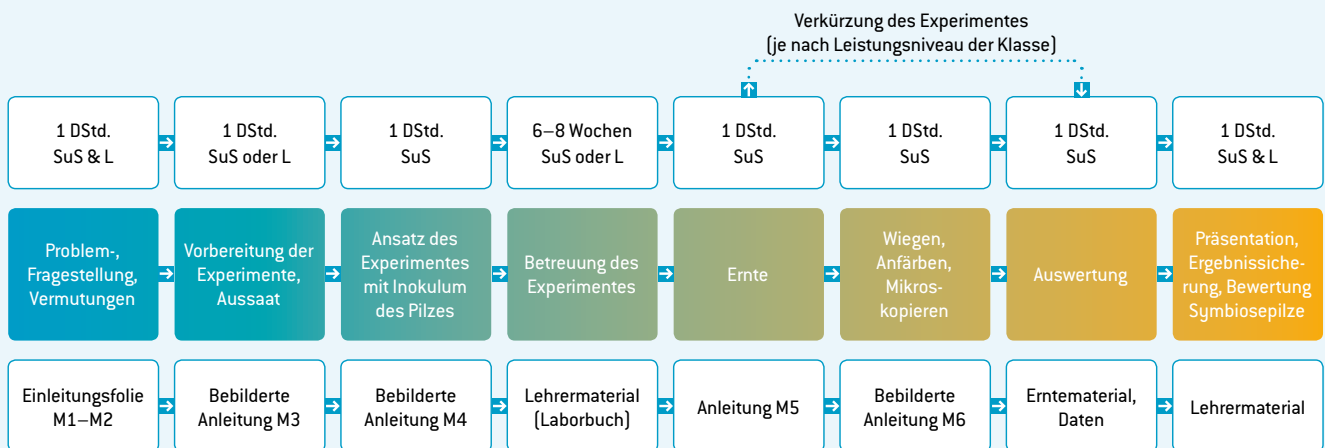


ABB. 2 Ablauf der Unterrichtsreihe (DStd. = Doppelstunde, L = Lehrkraft, SuS = Schülerinnen und Schüler)

Die Ergebnisse der Experimente werden in den jeweiligen Expertengruppen ausgewertet und anschließend im Plenum präsentiert (z. B. Plakat, Präsentation). Die Auswertungen können z. B. an der Tafel in Kurzfassung gesammelt werden. Anschließend wird gemeinsam unter Einbeziehung der zu Beginn der Unterrichtseinheit aufgestellten Hypothesen das Gesamtergebnis der Experimente formuliert. Die Einsatzmöglichkeiten von Symbiosepilzen als Geheimtipp für Hobbygärtner und damit verbessertes Pflanzenwachstum werden diskutiert und bewertet. Hierbei soll auch darauf hingewiesen werden, dass manche Pflanzenarten ohne diese Pilze auskommen oder in manchen für die Pflanze ungünstigen Fällen aus der Symbiose eine Form von Parasitismus werden kann.

Die Betreuung des Experiments, d. h. gießen, düngen, evtl. fotografieren, kann entweder von der Lehrkraft oder den Schülerinnen und Schülern (Einführen eines Labordienstes) übernommen werden. Es bietet sich an, ein Laborbuch zu führen, in dem Einträge wie Gieß- und Düngeprotokolle, besondere Beobachtungen und Fotos dokumentiert werden.

### Arbeitsmaterialien für das Wachstumsexperiment

Der Ablauf des Experimentes ist in Abb. 2 dargestellt. Benötigt werden je nach Artenzahl und Auswahl:

- Pikierkisten (wenn nicht direkt in Töpfe eingesät wird)
- kleine Blumentöpfe (Durchmesser 6 cm)
- eine gute Lichtquelle (besonders bewährt hat sich eine Anzucht-Station „Lichtgarten“ aus dem Gärtnerebedarf)
- sterilisierter Sand
- Dünger (stickstoffbetonter Flüssigblumendünger aus dem Handel;  $\frac{1}{4}$  der angegebenen Konzentration nach Bedarf wöchentlich)
- Samenmaterial (z. B.: Wegerich (*Plantago lanceolata*), Löwenzahn (*Taraxacum officinale*), Erbse (*Pisum sativum*), Gänseblümchen (*Bellis perennis*), Hafer (*Avena sativa*) und Senf (*Sinapis alba*). Bei Senf wird als Vertreter der Kreuzblütler keine Reaktion erwartet.
- Pilz-Inokulum

Der Aquariensand kann entweder in der Mikrowelle oder in einem Backofen sterilisiert werden (3 Minuten Mikrowelle, 15 Minuten im Backofen bei 200 Grad). Die gut markierten Töpfe



ABB. 3 Übersicht über das Experiment mit mykorrhizierten Pflanzen (rechts) und nicht mykorrhizierten Pflanzen (links) in einem „Lichtgarten“ im Klassenzimmer



ABB. 4 Effekte der Mykorrhizierung: A. Silbergras, B. Schneckenklee, C. Wegerich (links ohne, rechts mit Mykorrhiza)

(Klebeband mit/ohne Mykorrhiza) werden in einem 10 %-Desinfektionsmittel-Bad von der Lehrkraft vorher sterilisiert. Das Pilz-Inokulum wird mit etwas Sand in ein mit einem Korkbohrer (Durchmesser ca. 1,5 cm, alternativ ein kleines Röhrchen, z. B. abgeschnittene Gardinenstange) ausgestochenes Loch in den Topf eingebracht. Soll das Wachstum quantitativ verfolgt werden, ist ein Trockenschrank oder ein Backofen notwendig. Zum Auswiegen der getrockneten Proben bedient man sich am besten einer Feinwaage aus der Chemie. Die Abb. 3 zeigt das Experiment nach einer kurzen Zeit des Wachstums.

Nach einer gewissen Wachstumszeit, deren Dauer individuell ist und zwischen sechs bis acht Wochen liegt, werden die Pflanzen geerntet. Die Unterschiede können teilweise schon visuell erkannt werden (Abb. 4).

Zur optischen Quantifizierung der Mykorrhizastrukturen und der jeweiligen Verteilung von Hyphen, Vesikeln und Arbuskeln werden die Wurzeln mit einer Tinte-Essig-Lösung angefärbt und anschließend mikroskopiert. Soll nicht quantifiziert werden, können nach der Färbung die unterschiedlichen Strukturen bspw. nur vorgestellt werden.

#### Arbeitsmaterialien für das Anfärbeexperiment:

- 10% Kalilauge (KOH), 4 Liter pro Klassensatz (ca. 30 Schülerinnen und Schüler)
- 2 Liter Tinte-Essigsäure-Lösung (10% Essigsäure) – Mischungsverhältnis (1 Teil blaue Tinte, 1 Teil Essigsäure, 8 Teile Wasser)
- Einbettkassetten
- Spitzenpapier (erhältlich im Drogeriemarkt)
- Laborabzug (Digestorium)
- Wasserbad (alternativ: großer Kochtopf auf Wärmeplatte)
- Erlenmeyerkolben
- Deckgläschen (24 x 50 mm)
- Objektträger
- Lactoglycerol
- Pipetten
- Mikroskop
- Fadenkreuzokular
- Handschuhe
- Schutzbrille
- Pinzetten
- Scheren

**Hinweis:** Das angefärbte Wurzelmaterial kann in Mikroreaktionsgefäßen mit Lactoglycerol konserviert und mikroskopische Wurzelpräparate können im Kühlschrank aufbewahrt werden.

#### Probleme des Experimentes:

- geeignete Pflanzen suchen: Wegerich, Löwenzahn, Hopfenklee, Hafer, Gänseblümchen, Senf, Erbse und kleines Habichtskraut
- Pflanzen sollten am besten unter guter Beleuchtung vorgezogen (Löwenzahn etc.) oder direkt eingesät (Senf, Erbse, Hafer) werden
- geeignete Lichtquelle („Lichtgarten“, nicht Gewächshaus)
- exakte Düngung (Blumendünger laut Vorschrift)

Es muss eine Möglichkeit geben, Sand in der Schule zu sterilisieren und das geerntete Pflanzenmaterial zu trocknen (Mikrowelle oder Backofen). Der Ansatz der ohne Mykorrhizapilze versetzten Proben und der Proben mit Mykorrhizapilzen muss zeitlich hintereinander erfolgen, um eine Kontamination der Versuchspflanzen ohne Mykorrhiza auszuschließen (gute Beschriftung!).

### 3 | Arbeitsmaterial für Schülerinnen und Schüler

Sie finden für Ihre Schülerinnen und Schüler umfangreiches Material mit Arbeitsanweisungen und Arbeitsblättern zur Bedeutung der Mykorrhiza, zum Versuchsansatz, zur Durchführung, Auswertung usw. zum Download auf der Webseite von Science on Stage.<sup>[1]</sup>

### 4 | Fazit und Ausblick

Es hat einen großen Charme für die Schülerinnen und Schüler zu wissen, dass an der Universität „echte“ Forschende ähnliche Studien durchführen, um zu wissenschaftlichen Erkenntnissen zu kommen. „Forschen wie die Forscherinnen und Forscher an der Uni“ kann sehr motivierend sein.

Das Experiment stellt bei der geeigneten Auswahl der Pflanzenarten und bei der richtigen Beleuchtung (für das Gelingen des Experimentes extrem wichtig!) eine gute Möglichkeit dar, Effekte der Symbiose darzustellen und zu untersuchen. Dabei wird den Schülerinnen und Schülern eine große Bandbreite des Experimentierens und des eigenverantwortlichen Betreuens eines Experimentes aufgezeigt. Außerdem werden Kenntnisse in der Datenaufbereitung vermittelt.



Für weitere Kooperationen mit wissenschaftlichen Einrichtungen wird wie bei diesem Projekt die einfache Umsetzung der Experimente mit den den Schulen zur Verfügung stehenden Mitteln immer im Vordergrund stehen und der limitierende Faktor bleiben. Es liegt dabei meistens an der Kreativität und dem Engagement der kooperierenden Lehrkraft, diese Umsetzung möglich zu machen.

### Quellen und hilfreiche Links

<sup>[1]</sup> Alle Zusatzmaterialien finden Sie unter

[www.science-on-stage.de/teachers-scientists\\_materialien](http://www.science-on-stage.de/teachers-scientists_materialien).

→ Mykorrhiza Tutorial des Instituts für Pflanzenbiochemie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg:

[www.ipb-halle.de/myk/](http://www.ipb-halle.de/myk/)

→ Waldwissen (Mykorrhiza – eine faszinierende Lebensgemeinschaft im Wald): [www.waldwissen.net](http://www.waldwissen.net)

### Kontakt

→ **Dr. Tom Steinlein**

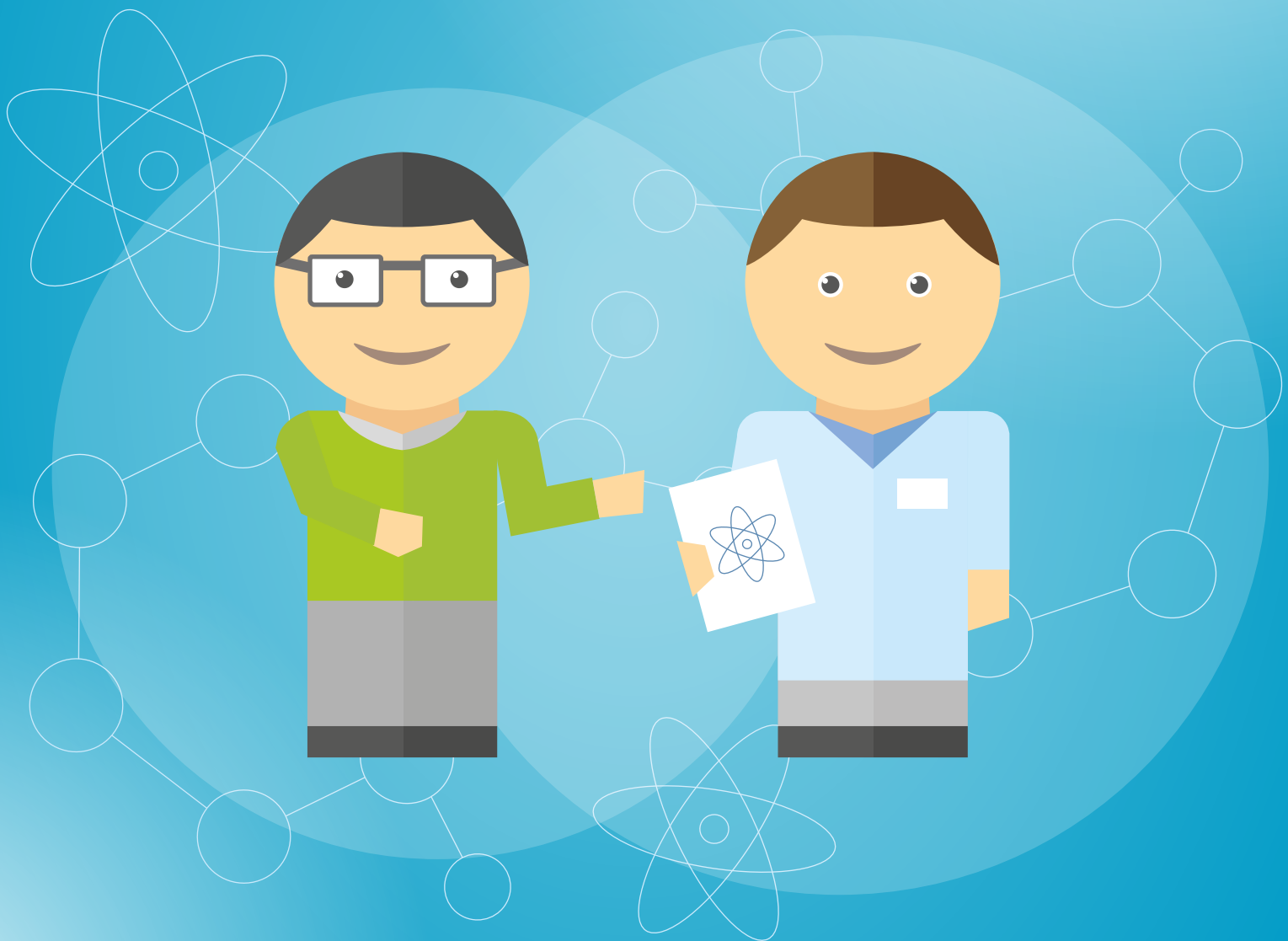
[tom.steinlein@uni-bielefeld.de](mailto:tom.steinlein@uni-bielefeld.de)


→ **Melanie Wittland**

[wittland@gymnasiumheepen.de](mailto:wittland@gymnasiumheepen.de)

# Ein Quark kommt niemals allein – Ein integrierender Ansatz zur Elementarteilchenphysik in der Schule

Thomas Sawatzky · Prof. Dr. Dominik Schwarz



 **SCHLAGWÖRTER:** Kernphysik, Standardmodell, Quarks, Austausch-  
teilchen, Wechselwirkungen, ATLAS

 **UNTERRICHTSFACH:** Physik

 **ALTERSGRUPPE DER SCHÜLERINNEN UND SCHÜLER:**  
17–19 Jahre

 **VERWENDETE MATERIALIEN:** Schulbücher, Onlineportale<sup>[4]</sup>

## 1 | Informationsmaterial für Lehrkräfte

Einige Lehrpläne der Bundesländer sehen Aspekte der Elementarteilchenphysik für die Oberstufe vor. Folgende Kompetenzen werden darin u. a. aufgeführt:

Die Schülerinnen und Schüler

- erläutern mithilfe des aktuellen Standardmodells den Aufbau der Kernbausteine und erklären mit ihm Phänomene der Kernphysik,
- erklären an einfachen Beispielen Teilchenumwandlungen im Standardmodell,
- vergleichen in Grundprinzipien das Modell des Photons als Austauschteilchen für die elektromagnetische Wechselwirkung exemplarisch für fundamentale Wechselwirkungen mit dem Modell des Feldes,
- recherchieren in Fachzeitschriften, Zeitungsartikeln bzw. Veröffentlichungen von Forschungseinrichtungen zu ausgewählten aktuellen Entwicklungen in der Elementarteilchenphysik,
- bewerten an ausgewählten Beispielen Rollen und Beiträge von Physikerinnen und Physikern zu Erkenntnissen in der Kern- und Elementarteilchenphysik.

In vielen Veröffentlichungen und Schulbüchern werden die aufgeführten Aspekte als eigenständiges Thema behandelt. Mit dem vorliegenden Material ist eine Alternative erarbeitet worden, die sie in den bekannten Unterrichtsgang, der die Kernphysik mit dem Schwerpunkt der Radioaktivität behandelt, integriert. Im Folgenden soll dies vorgestellt werden, wobei nicht auf konkrete Unterrichtsstunden eingegangen wird. Diese können mit dem

reichlich vorhandenen Material aus den bekannten Schulbüchern oder von Onlinesammlungen entsprechend geplant werden. Ziel dieser Kooperation war nicht primär die Erstellung neuer Materialien, sondern eine andere didaktische Gewichtung der vorhandenen. Dafür wurden hochkomplexe Erkenntnisse, die der Wissenschaftler durch Forschung erhalten hat, so von der Lehrkraft reduziert, dass sie für Schülerinnen und Schüler nachvollziehbar sind. Der Forschende prüfte, ob diese Reduzierung immer noch wissenschaftlichen Ansprüchen genügt.

Im Ergebnis wird die Elementarteilchenphysik nicht isoliert behandelt, sondern im Kontext der Atom- und Kernphysik als natürliche Weiterentwicklung dargestellt. Dazu wird das Standardmodell nach und nach eingeführt. Ein Schwerpunkt liegt im Sinne einer didaktischen Reduktion auf dem exemplarischen Verständnis des prinzipiellen Aufbaus, daher wird die sogenannte erste Familie ausführlich erarbeitet. Dies ist auch deshalb sinnvoll, weil die stabile Materie unseres Alltags aus drei dieser vier Elementarteilchen besteht (die Neutrinos spielen nur beim radioaktiven Zerfall eine Rolle).

Den Schülerinnen und Schülern wird hierzu zu Beginn der Reihe eine leere Tabelle (Abb. 1) zur Verfügung gestellt, die sukzessive ergänzt wird. Zum Teil im historischen Kontext, zum Teil aber auch fachsystematisch werden Experimente erarbeitet, mit denen die Elementarteilchen des Standardmodells nachgewiesen wurden. Besonders interessant ist dabei, dass die notwendige Existenz einiger Teilchen erst postuliert bzw. theoretisch vorhergesagt wurde und diese dann später experimentell nachgewiesen wurden.

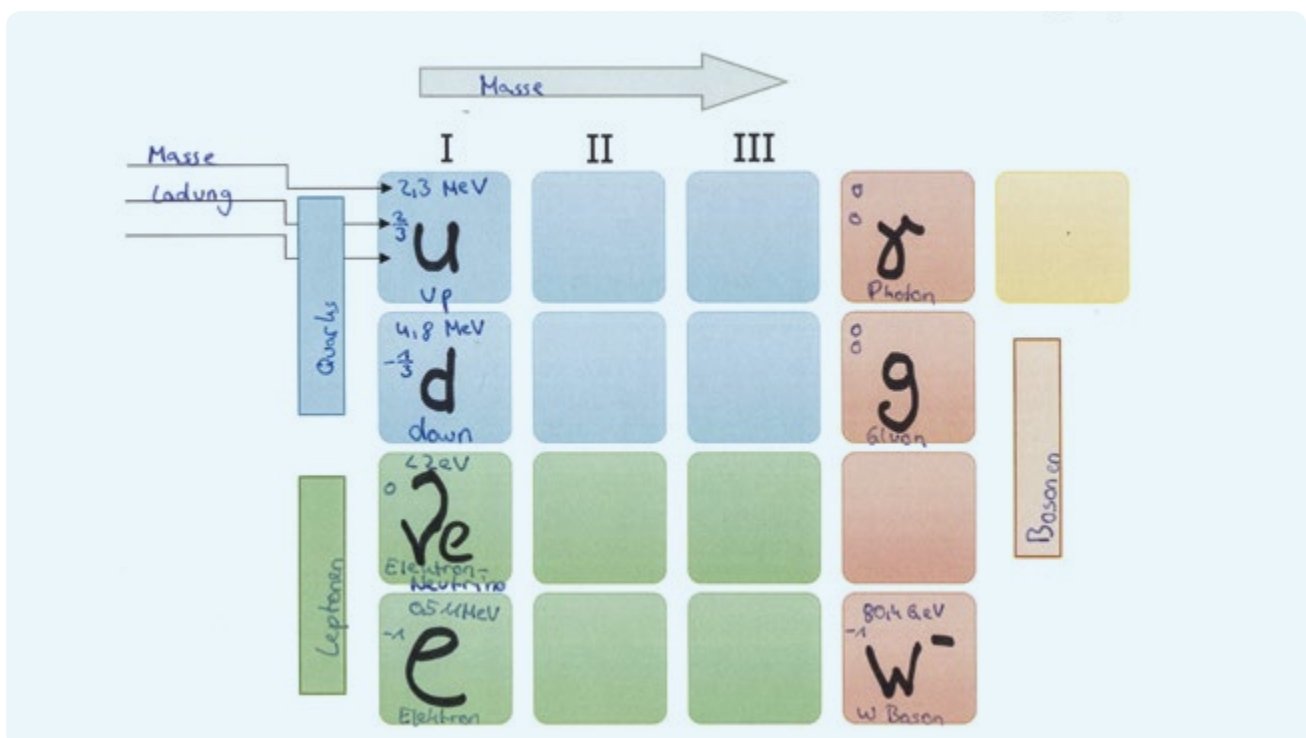


ABB. 1 Tabelle zum Standardmodell der Elementarteilchenphysik

## Der Atomkern – Im Inneren des Atoms

Im Anschluss an die „Physik der Atomhülle“ untersuchen wir den Kern. Dazu werden Rutherfords Streuexperimente thematisiert, u. a. weil sich die Methode, zu untersuchende Objekte mit Strahlung und/oder Teilchen – also Quanten – zu beschleßen, später wiederfindet. Rutherford wies durch Beschuss einer dünnen Goldfolie mit Alpha-Teilchen (schnellen Helium-Kernen) nach, dass das Atom einen verhältnismäßig kleinen positiven Kern besitzt. Es bietet sich hier als Wiederholung aus dem Chemie- und Physikunterricht der Sekundarstufe I an, den Aufbau des Kerns aus Protonen und Neutronen und den Begriff des Isotops zu klären. Die Einführung der Nuklid-Karte ist dann folgerichtig, weil sie den Begriff des Isotops durch verschiedene Neutronenzahlen veranschaulicht, und für die weiteren Überlegungen sinnvoll, weil sie die Behandlung der Zerfallsketten vereinfacht und wichtige Informationen wie Halbwertszeiten enthält. Berechnet man die Masse eines Isotops aus den Einzelmassen der beteiligten Protonen und Neutronen und vergleicht diese mit den tatsächlichen Werten, die man z. B. in Tafelwerken oder Internetquellen findet, erkennt man den sog. Massendefekt. Mit der Formel  $\Delta E = \Delta mc^2$  werden die Bindungsenergie und der Massendefekt bestimmt. Des Weiteren kann hier oder später die Besonderheit, in der Elementarteilchenphysik die Massen in Vielfachen von  $eV/c^2$  anzugeben, thematisiert werden.

## Quarks und Co.

Anschließend werden die Bestandteile des Kerns genauer untersucht, indem dieser mit Elektronen beschossen wird. Dazu wird die nötige Energie der Elektronen über die de-Broglie-Wellenlänge bestimmt. Es ergibt sich daraus die Existenz der Quarks, aus denen Hadronen zusammengesetzt werden können, was die Schülerinnen und Schüler anhand eines Arbeitsblatts<sup>[2]</sup> für die Protonen und Neutronen (aus drei Quarks zusammengesetzte Baryonen) nachvollziehen können. Als Beispiel für ein Meson dient das Pion. Da es aus einem Quark-Antiquark-Paar besteht, können die Antiteilchen z. B. als Teilchen mit entgegengesetzter Ladung didaktisch reduziert und ihre Plätze im Standardmodell angedeutet werden.

Die ersten Stellen des Standardmodells sind nun mit den Quarks und dem schon seit dem Millikan-Versuch als Elementarteilchen bekannten Elektron gefüllt. Es bietet sich auch an, den sogenannten Teilchen-Zoo zu thematisieren. Zwischenzeitlich wurden hunderte teils kurzlebige Teilchen entdeckt, sodass man sie kaum alle als Elementarteilchen bezeichnen konnte. Als neue Systematik bietet sich daher das Standardmodell an.

## Was hält den Kern zusammen?

Zur Beantwortung der Frage „Was hält den Kern zusammen?“ wird hier der einfachste Kern, ein Proton, betrachtet. Vor dem Gluon wird aber das Photon als Austauschteilchen der elektromagnetischen Wechselwirkung eingeführt, da diese den Schülerinnen und Schülern bekannt ist und bisher mit dem Feldmodell erklärt wurde. Es wird dadurch deutlicher, dass es

sich bei dem Modell der Austauschteilchen um einen anderen Erklärungsansatz handelt, als wenn eine bisher nicht behandelte Kraft (die starke Wechselwirkung) gleichzeitig mit einem neuen Modell erklärt wird.

Das sogenannte Boot-Modell veranschaulicht dieses Modell. Zwei Personen sitzen in jeweils einem Boot und werfen sich einen Ball zu. Dadurch bewegen sie sich auseinander. An diesem einfachen Beispiel werden zudem die Feynman-Diagramme eingeführt, die später beim Beta-Zerfall vertieft werden.

Das Gluon wird als Austauschteilchen der starken Wechselwirkung behandelt. Sie verhindert, dass freie Quarks entstehen, und bindet sie aneinander. Versucht man zwei Quarks zu trennen, entstehen neue Teilchen und es bilden sich Quark-Antiquark-Paare (confinement). Die ähnlich aufgebauten Pionen könnten hier als Austauschteilchen der Kernkraft, die als sekundäre Kraft der starken Wechselwirkung gesehen werden kann, behandelt werden.

## ... und was lässt den Kern zerfallen?

### Der Alpha-Zerfall

Diese Inhalte folgen dem bekannten Unterrichtsgang. Die Nachweismethoden der radioaktiven Strahlung werden erarbeitet, wobei die spätere Analogie zum ATLAS-Detektor beachtet werden sollte. Beim Alpha-Zerfall sollte das Energiediagramm mit der charakteristischen Spitze besondere Aufmerksamkeit bekommen. Zum einen kann der Energiewert aus dem bekannten Massendefekt (siehe „Der Atomkern – Im Inneren des Atoms“) berechnet werden, zum anderen besitzt die sich nun anschließende Beta-Strahlung ein kontinuierliches Spektrum, das sich ohne Weiteres nicht erklären lässt.

## ... und was lässt den Kern zerfallen?

### Der Beta-Zerfall

Aus der Sekundarstufe I ist den Schülerinnen und Schülern bekannt, dass beim Beta-Zerfall ein Neutron in ein Proton und ein Elektron zerfällt. Mit der Existenz der Quarks ergibt sich die Umwandlung eines down- in ein up-Quark. Problematisiert man nun das kontinuierliche Energiespektrum der entstandenen Beta-Strahlung (indem man es mit dem des Alpha-Zerfalls vergleicht), führt dies zur Existenz eines weiteren Teilchens, das neben dem Elektron Energie mitnimmt. Wolfgang Ernst Pauli postulierte 1930 ein Teilchen mit diesen Eigenschaften, den Namen Neutrino (eigentlich Anti-Neutrino) prägte Enrico Fermi. Außerdem bietet es sich hier an, die Rolle Paulis ein wenig näher zu betrachten und seine Leistung zu bewerten. Paulis Brief an die „Gruppe der Radioaktiven“<sup>[3]</sup> zeigt dabei seine eigene Vorsicht, ein Teilchen theoretisch zu postulieren, ohne bekannte Möglichkeit es nachzuweisen.

Das beteiligte Austauschteilchen der schwachen Wechselwirkung wird als W/Z-Boson eingeführt und ebenfalls in das Standardmodell eingetragen. Hier kann das Feynman-Diagramm erneut eingesetzt werden, um die Entstehung des sehr kurz-

	I	II	III	Bosonen	
Quarks	2,3 MeV u up	1,275 GeV c charm	173,107 GeV t top	0 γ Photon	125 GeV H Higgs Boson
	4,8 MeV d down	95 MeV s strange	4,18 GeV b bottom	0 g Gluon	
Leptonen	0,511 MeV e Elektron	1,057 MeV μ Myon	1,777 GeV τ Tau	0 Z Z Boson	
	0,2 eV ν <sub>e</sub> Elektron-Neutrino	0,19 MeV ν <sub>μ</sub> Myon-Neutrino	1,8 MeV ν <sub>τ</sub> Tau-Neutrino	80,4 GeV W <sup>±</sup> W Boson	

ABB. 2 Fertiggestellte Tabelle zum Standardmodell der Elementarteilchenphysik

lebigen W/Z-Bosons aus der Quark-Umwandlung und dessen anschließenden Zerfall in ein Elektron zu visualisieren.

### Gamma-Strahlung und Wirkung ionisierender Strahlung

Die Gamma-Strahlung (Entstehung, Abschirmung, usw.) kann wieder herkömmlich behandelt werden. Ebenso die biologisch-medizinischen Wirkungen der ionisierenden Strahlung. Darauf soll an dieser Stelle jedoch nicht näher eingegangen werden.

### Das Standardmodell wird gefüllt

Als Abschluss wird das Standardmodell als Ganzes betrachtet (siehe Abb. 2). Einige Elementarteilchen wie das Myon wurden bereits in der Höhenstrahlung gefunden. Die verschiedenen Teilchengenerationen werden u.a. mit dem Hinweis ergänzt, dass ähnliche Vorgehensweisen zur Entdeckung dieser Teilchen geführt haben und, dass weitere Teilchen entdeckt wurden, deren Masse und Ladung nicht alleine mit u- und d-Quarks erklärt werden konnten. Da das Prinzip des Standardmodells, alle natürlichen oder in Beschleunigerexperimenten erzeugten Teilchen als Kombinationen verschiedener Bausteine zu erklären, deutlich sein sollte, handelt es sich im Weiteren um das Vermitteln von Faktenwissen. Dies kann von den Schülerinnen und Schülern z. T. auch in Vorträgen oder Plakaten vorgestellt werden. Das Netzwerk Teilchenwelt<sup>[4]</sup> bietet hierzu sehr gute Materialien an (z. B. eine an Star Wars angelehnte Simulation und Spielkarten zu den Elementarteilchen), mit denen auch ein Überblick über den Large Hadron Collider (LHC) und den ATLAS-Detektor erarbeitet werden kann.

Weiterhin gibt es die Möglichkeit, Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Netzwerkes zu Masterclasses einzuladen.<sup>[5]</sup> Hierbei werden Originalmesswerte des CERNs mit einem Computer-

programm ausgewertet, sodass die Schülerinnen und Schüler die Existenz bestimmter Elementarteilchen nachweisen.

## 2 | Arbeitsmaterial für Schülerinnen und Schüler

Die Arbeitsmaterialien stehen als Download zur Verfügung<sup>[2]</sup>.

## 3 | Fazit und Ausblick

In den online verfügbaren Zusatzmaterialien findet sich eine Stichpunkt-Übersicht der Reihe. Diese gibt den Aufbau und wesentliche didaktische Überlegungen an und kann als Grundlage für eine individuelle Unterrichtsgestaltung mit den angesprochenen Materialien genutzt werden.

Als nächster Schritt ist geplant, die Reihe als Lehrerfortbildung vorzustellen. Dabei wird zuerst ein theoretischer Impulsvortrag vom Wissenschaftler gehalten, auf den sich dann der praxisorientierte Beitrag der Lehrkraft bezieht.

### Quellen und hilfreiche Links

<sup>[1]</sup> [www.teilchenwelt.de](http://www.teilchenwelt.de), [www.teilchenphysik.de](http://www.teilchenphysik.de),

<http://www.leifiphysik.de/kern-teilchenphysik/teilchenphysik>

<sup>[2]</sup> Alle Zusatzmaterialien finden Sie unter [www.science-on-stage.de/teachers-scientists\\_materialien](http://www.science-on-stage.de/teachers-scientists_materialien).

<sup>[3]</sup> [http://cds.cern.ch/record/83282/files/meitner\\_0393.pdf](http://cds.cern.ch/record/83282/files/meitner_0393.pdf) (abgerufen am 09.01.2017)

<sup>[4]</sup> [www.teilchenwelt.de](http://www.teilchenwelt.de)

<sup>[5]</sup> <http://www.teilchenwelt.de/angebote/masterclasses/> (abgerufen am 16.12.2016)

### Kontakt

→ **Thomas Sawatzky**, [sawatzky@ge-huellhorst.de](mailto:sawatzky@ge-huellhorst.de)

# Schlagen, Reiben, Stampfen auf Knopfdruck – Die Innovation Waschmaschine im naturwissen- schaftlichen Kontext

Josef Avenwedde · Kirsten Biedermann



**SCHLAGWÖRTER:** E-Lehre, Energieeffizienz, Experiment, Induktion, Industrie 4.0, Ingenieurwissenschaften, Innovation, Internet der Dinge, Lichtleiter, Mechanik, Modellieren, Optik, Resonanzfrequenz, Schleudern, Sensoren, Smart Home, Steuerung, Technikgeschichte, Unwucht, Wärmelehre, Waschen

**UNTERRICHTSFÄCHER:** Physik, Technik, Mathematik, Informatik, Kunst, optional Chemie

**ALTERSGRUPPE DER SCHÜLERINNEN UND SCHÜLER:**  
Klasse 7–10, Einführungsphase

**ERFORDERLICHE VORKENNTNISSE:** Dimensionsanalyse, Drehmoment, Druck, elektrische Induktion, Energieerhaltungssatz, gleichförmige Kreisbewegung, Kraftübertragung, Mechanik, Resonanz(frequenz), spezifische Wärmekapazität, Strahlenoptik, Termumformung (abhängig vom betrachteten Phänomen)

**SICHERHEITSHINWEISE:** Neben den üblichen Sicherheitsmaßnahmen ist bei den Experimenten zur Kreisbewegung sicherzustellen, dass im Gefahrenbereich, d. h. senkrecht zur Rotationsachse, weder Menschen verletzt noch Gegenstände beschädigt werden können. Sollte die Kreisbewegung mit einem Stroboskop analysiert werden, so ist zu beachten, dass die Lichtblitze unter Umständen epileptische Anfälle auslösen können.

## 1 | Informationsmaterial für Lehrkräfte

Der Unterrichtsvorschlag ist insbesondere für ein Projekt am Ende der Sekundarstufe I oder der Einführungsphase der Sekundarstufe II geeignet, um einen motivierenden Ein- und Ausblick über Inhalte und berufliche Perspektiven eines MINT-Schwerpunktes zu geben.

Am Beispiel der Mechanik und Steuerung einer Waschmaschine wird aufgezeigt, welche Bedeutung die Ingenieurwissenschaften für unser alltägliches Leben haben, wie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler dafür auf naturwissenschaftliche Erkenntnisse zurückgreifen und klassischer Schulstoff aus der Physik auch heute noch von unmittelbarer Bedeutung für technische Innovationen ist. Jüngste Entwicklungen im Rahmen von *Smart Home* und *Internet der Dinge (Internet of Things)* fließen ein und motivieren zusätzlich zur Wahl eines MINT-Schwerpunktes für die weitere Schullaufbahn.



Die Schülerinnen und Schüler erfahren durch praktische Übungen bzw. eigene Experimente, wie beschwerlich das Waschen früher war und entdecken anhand von Fotos historische Waschmaschinen, Innovationen und Optimierungsbedarfe, um so den Prozess der kontinuierlichen ingenieurwissenschaftlichen Produktentwicklung kennenzulernen. Anschließend analysieren sie den aktuellen Stand von Forschung und Entwicklung an einer modernen Waschmaschine, u. a. unter Einbeziehung des mathematischen Modells, und betrachten aktuelle Tendenzen der Innovation im Rahmen von Industrie 4.0.

Das Thema eignet sich in besonderem Maße getrennt gelehrt Inhalte aus den Bereichen Mechanik, Optik und E-Lehre zu wiederholen und zusammenzuführen.

Zur optionalen Einbeziehung der Chemie des Waschens wird auf die externen Quellen <sup>[1]</sup><sup>[2]</sup> verwiesen.

## 2 | Arbeitsmaterial für Schülerinnen und Schüler

Sämtliches Zusatzmaterial, wie z. B. Arbeitsblätter, steht auf der Webseite von Science on Stage zum Download bereit.<sup>[3]</sup>

**Sequenz 1:** Analysiert entweder das ägyptische Wandgemälde<sup>[4]</sup> oder die Wäscherinnen von Camille Pissarro<sup>[5]</sup> und ermittelt, wie früher gewaschen wurde. Überprüft die mechanischen Verfahren in einem Experiment, das ihr selbst plant und durchführt. Beschreibt die Beobachtungen und Erfahrungen. Welche mechanischen Einwirkungen sind sinnvoll und notwendig? (Zusatzmaterial  1 und  2<sup>[3]</sup>)

**Sequenz 2:** Im Jahr 1767 gab es bereits einen Entwurf für eine Waschmaschine, jedoch ist unklar, ob diese jemals gebaut wurde. Betrachte den auf diesem Entwurf basierenden Nachbau der Regensburger Waschmaschine (Abb. 1). Welche mechanischen Einwirkungen auf die Wäsche sind damit möglich? Welche Vor- und Nachteile sind zu erkennen?



ABB. 1 Regensburger Waschmaschine von 1767 (originalgetreuer Nachbau)

Um 1900 wurde in Deutschland die erste Waschmaschine erfunden. Die weitere Entwicklung dokumentieren die vorgelegten Fotos. Sortiere die Fotos nach Innovationsschritten. Erstelle für die gefundenen Innovationsschritte eine Tabelle mit den jeweiligen Neuerungen. Gehe dabei auch auf aktuelle Innovationstendenzen ein. Recherchiere dafür auf den Webseiten verschiedener Waschmaschinenhersteller. (Sämtliche Fotos stehen als Zusatzmaterial zur Verfügung.<sup>[3]</sup>)

**Sequenz 3:** Seit Mitte der 1970er Jahre werden Waschmaschinen von Mikrocomputern gesteuert. Welche Größen müsste eine vollautomatische Waschmaschine erfassen und regeln können? Mit welchen Sensoren wäre das möglich? Alternativ können auch ausgewählte Sensoren vorgestellt werden, deren Einsatzbereich dann ermittelt werden muss. Warum wurde der Drehwahlschalter mit Schleifkontakt durch einen optischen ersetzt? Wie funktioniert der optische Drehwahlschalter?

**Sequenz 4:** Beschreibe den Unterschied zwischen Waschen und Schleudern. Wie schnell darf sich die Trommel im Waschgang drehen, wie schnell muss sie im Schleudergang sein? Modelliere und berechne zunächst und überprüfe dies anschließend in einem selbst geplanten Experiment.

Die Resonanzfrequenz der Waschmaschine liegt zwischen Wasch- und Schleuderfrequenz. Welche besondere Aufgabe ergibt sich daraus für die Ingenieurinnen und Ingenieure? Wie

könnten sie diese lösen? Überprüfe deinen Lösungsvorschlag ebenfalls in einem eigenständig geplanten Versuch.

Reflektiere und diskutiere abschließend was aus deinen Beobachtungen für den Beruf einer Entwicklungsingenieurin bzw. eines -ingenieurs folgt.

Recherchiere über „Die Waschmaschine der Zukunft“<sup>[6–10]</sup>, bewerte die Quellen und stelle die Visionen auf einem Plakat dar. Diskutiere die zukünftigen Entwicklungsziele im Hinblick auf empfehlenswerte Bachelor- und Masterstudiengänge für zukünftige Entwicklungsingenieurinnen und -ingenieure.

### 3 | Informationsmaterial für Lehrkräfte

Historische Wandbilder<sup>[4]</sup> aus dem alten Ägypten und Gemälde wie die Waschfrauen von Camille Pissarro<sup>[5]</sup> dokumentieren, wie auch noch im 19. Jahrhundert mit großem körperlichem Einsatz gewaschen wurde. Bis Ende des Jahrhunderts war es Aufgabe der meisten Frauen die Wäsche einzuweichen, Flecken auszubürsten und auf dem Waschbrett auszureiben. Abhängig von der Haushaltsgröße konnte große Wäsche mehrere Tage dauern. Hier sollten die Waschmaschinen für wesentliche Erleichterung sorgen.

#### Die Innovationsschritte der Waschmaschine

Obwohl es schon im Jahr 1767 einen Entwurf für eine Waschmaschine gab, ist unklar, ob diese jemals gebaut wurde (Abb. 2). Gesichert ist indes, dass im Rahmen eines ersten Innovationsschritts eine Buttermaschine Inspiration für die erste Waschmaschine im Jahr 1900 war. Die Innenseite des Holzbottichs ist wellig wie die Oberfläche eines Waschbretts. Weitere Optimierungen konzentrierten sich darauf, durch mechanische Hilfen wie Schwungpendel und einfache Getriebe, das Bewegen der Wäsche zu erleichtern.

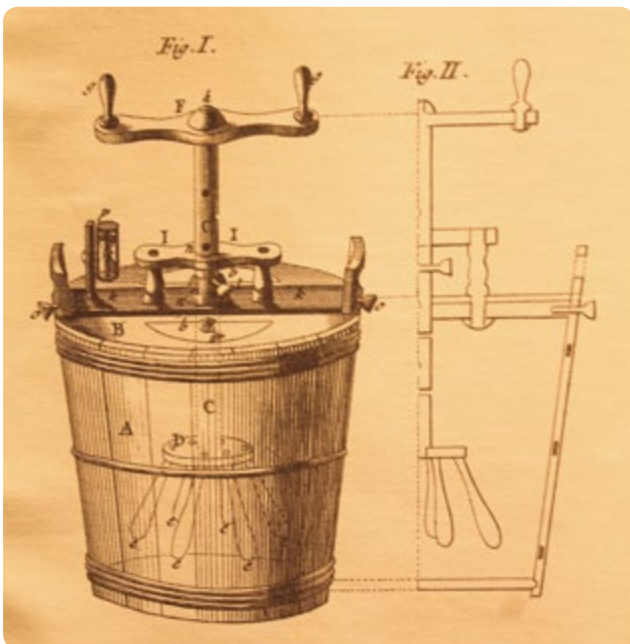


ABB. 2 Zeichnung 1767



ABB. 3 E-Motor mit Transmission

In einem zweiten Innovationsschritt erfolgte ab 1910 die Motorisierung durch Transmission, Elektro- und Wassermotor (Abb. 3).

Im dritten Innovationsschritt folgte um 1930 der Schritt zum Metallbottich und zur Heizung, sodass nicht mehr mühsam extern erhitztes Wasser eingefüllt werden musste. Unter anderem gab es dafür neben der Elektro- auch Gas- und Kohleheizungen.

Die vierte Innovation brachte ab etwa 1950 die Trommelwaschmaschine. Hier galt es, jene Drehzahl für die Trommel zu finden und sicherzustellen, die zu einem optimalen Waschergebnis führt und leicht berechnet werden kann.

In der zweiten Hälfte der 1970er Jahre wurde im Rahmen des fünften Innovationsschritts die elektronische Steuerung mit Mikrocomputer und Sensor-Elektronik eingeführt (Abb. 4).

In einem sechsten Innovationsschritt erfolgt nun die Vernetzung der Waschmaschine zum *Smart Home* und mit dem Internet, inklusive der Zugangs- und Datensicherheit. Im Rahmen von Industrie 4.0 kann so z. B. die Waschzeit mit der hauseigenen Solaranlage oder einem besonders günstigen Strompreis, z. B. Nachtstrom, abgestimmt werden. Der Aspekt der Umweltfreundlichkeit und damit auch der Energieeffizienz gewinnt immer stärkere Bedeutung, sei es die Lärmbelastung oder der Wasser-





ABB. 4 Elektronische Steuerung


und Stromverbrauch. Neueste Entwicklungen erzielen bemerkenswerte Einsparungen durch den Betrieb mit weniger Wasser, was unmittelbar auch weniger Energie für das Heizen des Wassers zur Folge hat. Ein anderer Ansatz greift auf vorhandenes Warmwasser zurück, das beispielsweise durch eine Thermo-Solaranlage bereitgestellt wird. Aktuellste Innovationen sollten stets recherchiert werden, was über die Portale der Hersteller möglich ist.


Besondere Probleme, die moderne Waschmaschinen zuverlässig lösen, sind u. a. das sichere Durchfahren der Resonanzfrequenz, da die Schleuderrate höher als die Resonanzfrequenz ist sowie die automatische Erkennung und die Behandlung einer Unwucht beim Schleudern durch ungünstige Wäscheverteilung in der Trommel. Hierfür wird die Unwucht über elektrische Induktion in einem Sensorgenerator auf der Motorachse erfasst. Ist diese zu groß wird kurz abgeschaltet und erneut gestartet. Bleibt die Unwucht trotz mehrerer Neustarts erhalten, schaltet sich die Maschine automatisch ab.

### Lösungsvorschläge zu den Arbeitsaufträgen

Lösungsvorschläge für Sequenz 1 sind online<sup>[3]</sup> zu finden. Für das Experiment sollten in einer Box geeignete Materialien, u. a. saubere Lappen, bereitgehalten werden. Als Impuls kann die Box – und falls vorhanden ein Waschbrett – auch schon für die Planung des Experiments zur Verfügung gestellt werden.

Für Sequenz 2 ergibt sich die Lösung aus den beschriebenen Innovationsschritten. Als Hilfe kann eine Tabelle mit den Innovationsschritten gestellt werden, sodass die Schülerinnen und Schüler diese Schritte anhand der Fotos<sup>[3]</sup> nur noch genauer beschreiben müssen.

Für Sequenz 3 werden die Sensoren auf der Basis der Zusatzmaterialien  3a–e<sup>[3]</sup> erarbeitet und besprochen. Der optische Drehwahlschalter ist im Gegensatz zum Schleifkontakt verschleißfrei und somit weniger störanfällig.

In der abschließenden Sequenz 4 sollten zunächst die notwendigen Voraussetzungen für das geforderte Modellieren wiederholt werden [Kreisbewegung, Energieerhaltung]. Einen Lösungsvorschlag finden Sie online ( 4)<sup>[3]</sup>. Die experimentelle

Überprüfung könnte z. B. durch ein Freihandexperiment erfolgen, indem man mit dem Arm einen Eimer oder eine Salatschleuder so beschleunigt, dass er lotrechte Kreise beschreibt und dann die Umlaufzeit  $T$  misst, deren Kehrwert die gesuchte Frequenz bzw. Drehzahl ist. Das Resonanzproblem kann anhand eines weiteren Freihandexperimentes<sup>[11]</sup> erklärt und von den Schülerinnen und Schülern eigenaktiv erfahren werden. Über Videoaufnahmen in Zeitlupe ist es möglich, Werte einer realen Waschmaschine zu ermitteln.

Die abschließende Diskussion sollte zu der Erkenntnis führen, dass in der Entwicklungsabteilung Fachkräfte mit Expertise in mehreren MINT-Fächern benötigt werden, die Freude daran haben, sich lebenslang fortzubilden, um stets neueste Trends und Entdeckungen aufzugreifen und umzusetzen.

### 4 | Fazit und Ausblick

Für die Schülerinnen und Schüler waren die Einblicke in die Entwicklungs- und Forschungsarbeit eines Waschmaschinenherstellers im Umfeld der Schule hoch motivierend, hatten sie doch mehrfachen Bezug zur eigenen Lebenswelt. Dafür mussten jedoch Hürden genommen und Grenzen respektiert werden, die sich aus dem Patentrecht und dem Schutz von Betriebsgeheimnissen ergeben und daher branchenspezifisch den Zugang zu allerneuesten Erfindungen teilweise beeinträchtigen.

Der Ansatz über die historische Entwicklung bis zum heutigen Stand von Forschung und Technik hat sich hier als geeignet erwiesen, da so ein umfassendes Verständnis für betriebliche Forschungs- und Entwicklungsarbeit aufgebaut wird und umfangreiche fächerverbindende Bezüge zu schulischen Lehr- und Lerninhalten aufgegriffen werden. Die Schülerinnen und Schüler werden dafür sensibilisiert, dass sich Entwicklungsschwerpunkte verändern und von erfolgreichen Entwicklerinnen und Entwicklern lebenslanges Lernen erfordern, was im Hinblick auf die Berufswahl beachtet werden sollte.

Auf der Basis der bisherigen Erfahrungen soll die Unterrichtseinheit optimiert werden, z. B. durch einen Besuch im Waschmaschinen-Museum mit Kurzreferaten, die die Schülerinnen und Schüler in Kleingruppen vorbereitet haben. Anschließend könnten die neuesten Produkte von Mitarbeiterinnen und Mit-

arbeitern der Firma vorgestellt und Fragen beantwortet werden. Ferner gilt es, die Medien für die Vorbereitung der Exkursion ins Firmenmuseum weiter aufzubereiten.

Im Rahmen der Weiterentwicklung dieses Ansatzes wurde schon geprüft, welche weiteren Betriebe aus dem Umfeld der Schule sich dafür eignen. Erste Kontakte deuten darauf hin, dass im Bereich der Chemie die Hürden bzgl. der Geheimhaltung weniger hoch liegen. Allerdings können sich aufgrund von Gefahrstoffen und Gesundheitsschutz erschwerte experimentelle Zugänge ergeben. Als großer Vorteil zeichnet sich indes ab, dass von den Firmen das Material für die Experimente kostenfrei zur Verfügung gestellt werden kann. Vor einer endgültigen Entscheidung über weitere Firmen sollten die Interessen der Schülerinnen und Schüler einbezogen werden. Ziel ist es, weitere MINT-Fächer (z. B. Chemie und Informatik) stärker einzubeziehen. Durch die Einbindung von Fremdsprachen, z. B. über fremdsprachige Internetseiten, kann nicht nur eine erweiterte MINT-Sprachkompetenz aufgebaut und gefördert, sondern auch auf die kommunikativen Herausforderungen des globalen Marktes vorbereitet werden.

## Quellen

- [1] [www.uni-due.de/~hc0014/S+WM/Geschichte/Geschichte2.htm](http://www.uni-due.de/~hc0014/S+WM/Geschichte/Geschichte2.htm)  
[abgerufen am 12.03.2017]
- [2] [www.masche24.de/tex\\_weste\\_waschen-inhalt.htm](http://www.masche24.de/tex_weste_waschen-inhalt.htm)  
[abgerufen am 12.03.2017]
- [3] Alle Zusatzmaterialien finden Sie zum Download unter [www.science-on-stage.de/teachers-scientists\\_materialien](http://www.science-on-stage.de/teachers-scientists_materialien).
- [4] [www.uni-due.de/~hc0014/S+WM/Geschichte/Aegypten.htm](http://www.uni-due.de/~hc0014/S+WM/Geschichte/Aegypten.htm)  
[abgerufen am 12.03.2017]
- [5] <https://www.wikiart.org/en/camille-pissarro/laundry-women-eragny-sur-eptes-1895> [abgerufen am 12.03.2017]
- [6] [http://www.nw.de/lokal/kreis\\_guetersloh/guetersloh/guetersloh/21713387\\_Die-Waschmaschine-der-Zukunft.html](http://www.nw.de/lokal/kreis_guetersloh/guetersloh/guetersloh/21713387_Die-Waschmaschine-der-Zukunft.html)  
[abgerufen am 12.03.2017]
- [7] <http://www.morgenpost.de/wirtschaft/article207985297/Was-die-Waschmaschine-der-Zukunft-alles-koennen-wird.html>  
[abgerufen am 12.03.2017]
- [8] <http://www.spiegel.de/karriere/ingenieure-entwickeln-waschmaschinen-fuer-die-zukunft-a-927797.html>  
[abgerufen am 12.03.2017]
- [9] <https://www.welt.de/wissenschaft/article119094038/Die-Waschmaschine-der-Zukunft-wascht-ohne-Wasser.html>  
[abgerufen am 12.03.2017]
- [10] <http://www.trendsderzukunft.de/orbit-waschmaschine-die-erste-waschmaschine-ohne-wasser/2012/02/17/>  
[abgerufen am 12.03.2017]
- [11] <http://www.leifiphysik.de/mechanik/kopplung-von-schwingungen/versuche/heimversuch-zur-resonanz>  
[abgerufen am 12.03.2017]

## Kontakt

→ **Kirsten Biedermann**

biedermann@widukindgymnasium.de,  
ravensberger.erfinderwerkstatt@gmail.com



# Kooperation Heidelberg



## STECKBRIEF

- **Schule:**  
HBLA Ursprung, Salzburg (Österreich)
-   
HBLA URSPRUNG
- **Lehrkraft:**  
Bernhard Stehrer
- **Forschungseinrichtung:**  
Deutsches Krebsforschungszentrum Heidelberg
-   
DEUTSCHES  
KREBSFORSCHUNGSZENTRUM  
IN DER HELMHOLTZ-GEMEINSCHAFT  
50 Jahre – Forschen für  
ein Leben ohne Krebs
- **Forschende:**  
PD Dr. Dr. Angelika Riemer
- **Themen:**  
Impfen gegen Krebs – Neue Wege in der Krebsforschung
- **Involvierte Unterrichtsfächer:**  
Biologie, Biotechnologie

## INTERVIEW


- **Teachers + Scientists ist für uns ...**  
Wissenschaftlerin: ... eine spannende Initiative, die erlaubt, Dinge, die gerade erforscht werden, an Schülerinnen und Schüler heranzubringen und damit hoffentlich einigen die Faszination Wissenschaft erlebbar zu machen.  
Lehrer: ... eine modellhafte und mutige Initiative, die zeigt, wie produktiv Wissenschaft und Schule zum Wohle der Nachwuchsförderung interagieren können.
- **Ich mache bei Teachers + Scientists mit, weil ...**  
Wissenschaftlerin: ... ich mich selbst als Schülerin gefreut hätte, solche Einblicke im Unterricht ermöglicht zu bekommen.  
Lehrer: ... ich die Anbindung des schulischen Unterrichts an aktuelle Forschungsfragen für die beste Voraussetzung halte, Schülerinnen und Schüler für Naturwissenschaft zu begeistern.
- **Was nehmen Sie aus der Zusammenarbeit mit?**  
Es lohnt sich, eine derartige Zusammenarbeit zu wagen und gemeinsam auszuloten, was man im Sinne der Nachwuchsförderung auf die Beine stellen kann. Gerade dabei wird die Bedeutung eines organisatorischen Rahmens deutlich, der mit Teachers + Scientists auf so innovative und engagierte Weise bereitgestellt wird.

# Impfen gegen Krebs – Neue Wege in der Krebsforschung

PD Dr. Dr. Angelika Riemer · Bernhard Stehler



 **SCHLAGWÖRTER:** Immunsystem, Krebs, humane Papillomviren, therapeutische Impfung

 **UNTERRICHTSFÄCHER:** Biologie, Biotechnologie

 **ALTERSGRUPPE DER SCHÜLERINNEN UND SCHÜLER:** Sekundarstufe II

## 1 | Einführung:

Mit dem vorliegenden Unterrichtsmaterial soll ein vielversprechender Weg in der Krebsforschung porträtiert und für Schülerinnen und Schüler zugänglich gemacht werden: das Konzept der therapeutischen Impfung.

Dazu wird zunächst das Immunsystem in seinen Grundzügen dargestellt und die Krankheit Krebs in ihren allgemeinen Charakteristika erklärt. Im Interview mit der Krebsforscherin PD Dr. Dr. Angelika Riemer vom Deutschen Krebsforschungszentrum (DKFZ) in Heidelberg wird der aktuelle Stand der Forschung erläutert. Vorschläge zur inhaltlichen Vertiefung sowie ein Glossar mit den wichtigsten Begrifflichkeiten runden die Einheit ab.

## 2 | Arbeitsmaterial für Schülerinnen und Schüler

### 2.1 Das Immunsystem

Der menschliche Körper ist ständig einer Vielzahl an Krankheitserregern ausgesetzt, gegen die er sich zur Wehr setzen

muss. Dafür ist ein komplexes Abwehrsystem zuständig, das **Immunsystem**.

Die beiden Komponenten des Immunsystems, das **angeborene Immunsystem** und das **adaptive Immunsystem**, arbeiten in der **Immunreaktion** daran, Krankheitserreger unschädlich zu machen. Dabei kommen einerseits verschiedenste Zellen und andererseits hochspezifische lösliche Moleküle zum Einsatz. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von **zellulärer Immunantwort** und **humoraler Immunantwort**.

Das Konzept der **Impfung** beruht maßgeblich darauf, das Immunsystem mit harmlosen Teilen oder inaktivierten Krankheitserregern in Kontakt zu bringen, um eine gewünschte Immunreaktion zur Abwehr dieser Erreger zu trainieren. Wenn der Körper dann mit dem Krankheitserreger in Kontakt kommt, besteht ein **immunologisches Gedächtnis** und der Erreger kann effizient abgewehrt werden.<sup>[1]</sup>

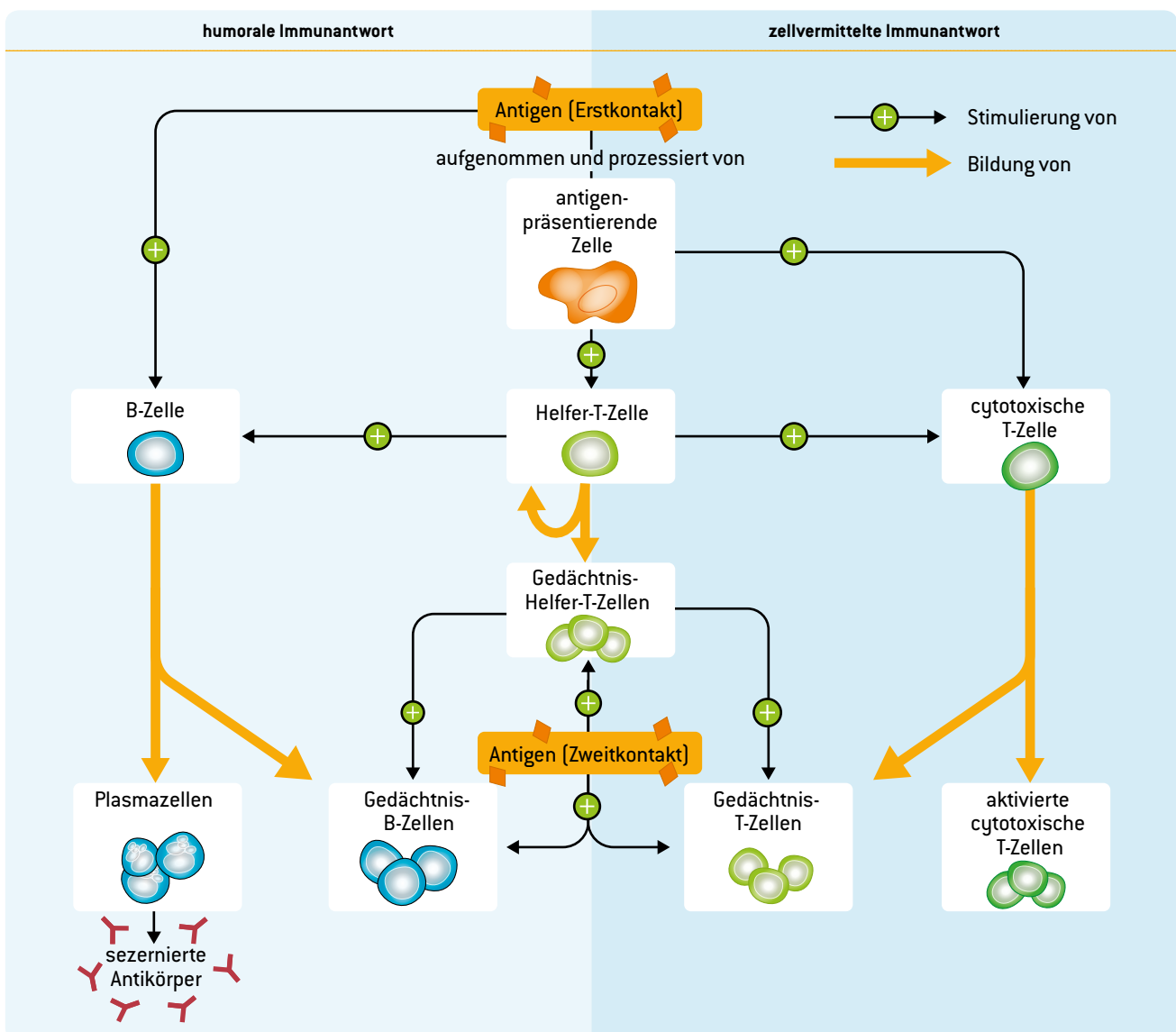


ABB. 1 Übersicht über die Komponenten des adaptiven Immunsystems

## Die Immunreaktion

Um eine Immunreaktion einzuleiten, werden ein **körperfremdes Antigen** und ein **Gefahrensignal** benötigt. Das körperfremde Antigen kann von einem Bakterium oder Virus stammen, das Gefahrensignal kann von Zelltod oder Gewebeerstörung herrühren.

Sind beide Bedingungen gegeben, etwa infolge einer oberflächlichen Hautverletzung mit Eintritt von Bakterien, erkennen lokale Makrophagen mithilfe ihrer Rezeptoren die Angreifer, bauen sie ab und bewirken durch Sekretion von Alarmstoffen (Zytokinen) die vermehrte Einwanderung von Immunzellen wie neutrophilen Granulozyten. Sich vor Ort befindliche Mastzellen geben ebenfalls chemische Signale ab, wodurch die Durchblutung der betreffenden Stelle erhöht wird und es u. a. zu Rötung, Schwellung und Wärmegefühl kommt. Die Anwesenheit des Erregers aktiviert auch das Komplementsystem. Im betroffenen Areal aktivierte dendritische Zellen wandern in nahe Lymphknoten, wo sie auf T- und B-Zellen treffen. Aktivierte T-Helferzellen aktivieren ihrerseits Zellen und verlassen den Lymphknoten zu diesem Zweck. Auch aktivierte zytotoxische T-Zellen verlassen den Lymphknoten, wandern zum Ort der Infektion und töten infizierte Zellen ab. Aktivierte B-Zellen bleiben hingegen im Lymphknoten, produzieren Antikörper und entwickeln sich zu Plasmazellen.<sup>[2]</sup>

## Das Prinzip der Impfung

Das Prinzip der Impfung macht sich die Fähigkeit zur Gedächtnisbildung des Immunsystems zunutze. Im Falle der **aktiven Immunisierung** – der Schutzimpfung im klassischen Sinn – wird der Körper zum Aufbau einer Immunantwort angeregt, indem ihm die Anwesenheit eines Krankheitserregers auf unterschiedliche Weise demonstriert wird: Man kann hierbei **abgeschwächte (attenuierte) Erreger**, **abgetötete Erreger** oder **Bestandteile von Erregern** verabreichen. Diese Komponente der Impfung enthält die Antigene und wird mit einem Gefahrensignal – dem **Adjuvans** – kombiniert, um bestmöglichen Impferfolg zu erreichen. Schutzimpfungen zielen v. a. auf die Induktion von Antikörpern ab.

Bei der **passiven Immunisierung** werden Antikörper gegen einen Erreger verabreicht, um diesen unmittelbar zu bekämpfen. Dies geschieht z. B. bei Verdacht auf Tollwut oder auf natürlichem Wege bei der Übertragung von Antikörpern von der Mutter auf das ungeborene Kind.

Heute stehen der modernen Medizin Impfstoffe gegen eine große Zahl an Infektionskrankheiten zur Verfügung. Darüber hinaus wird daran gearbeitet, Impfstoffe gegen chronische Krankheiten zu entwickeln. In diesem Zusammenhang ist das Konzept der **therapeutischen Impfung** von Bedeutung: Hier wird versucht, die T-Zellen des Immunsystems so anzuregen, dass sie gegen sich bereits im Körper befindliche Krankheitserreger oder veränderte Zellen effizient vorgehen. Forschung in diese Richtung ist bei vom humanen Papillomvirus (HPV) ver-

ursachten Krebsarten, wie z. B. Gebärmutterhalskrebs, aktiv im Gang.<sup>[2]</sup>

Ausführliches Material zum Thema Immunsystem steht online zum Download bereit.<sup>[3]</sup>

## Arbeitsaufträge:

1. Lesen Sie das Arbeitsmaterial und recherchieren Sie die im Text fett gedruckten Begrifflichkeiten im Internet.
2. Entwickeln Sie eine übersichtliche Darstellung zu den Themen **Immunreaktion** und **Immunisierung**.

## 2.2 Krebs

Krebs als Krankheit entsteht nicht spontan, sondern ist vielmehr die Folge einer längeren Entwicklung, in deren Verlauf sich in körpereigenen Zellen **Schäden am Erbgut** anhäufen. Diese Veränderungen an der DNA – Mutationen oder epigenetische Fehlregulierungen – führen dazu, dass Zellen beginnen, sich unkontrolliert zu teilen und einen **Tumor** zu bilden. In einem weiteren Schritt siedeln sich Zellen von diesem Tumor über Blutgefäße oder Lymphgefäße ab und gelangen in andere Organe des Körpers, wo sie wiederum wachsen und Tochtergeschwülste – die **Metastasen** – bilden. Durch das starke Wachstum von Tumoren nehmen die betroffenen Organe Schaden.<sup>[4]</sup>

## Kennzeichen von Krebs

Krebszellen haben ihren Ursprung in körpereigenen Zellen. Sie erwerben gewisse Eigenschaften, die sie von gesunden Zellen unterscheiden. Im Modell von **Hanahan und Weinberg**<sup>[5]</sup> werden zehn maßgebliche Eigenschaften – **Hallmarks of Cancer** – beschrieben. So zeigen Tumorzellen Unabhängigkeit von Wachstumssignalen, d. h. ihr Wachstum kann ohne von außen signalisierte Notwendigkeit geschehen. Sie sind zudem unbegrenzt wachstumsfähig und unempfindlich gegenüber Signalen, die Wachstum hemmen. Sie entkommen dem programmierten Zelltod (der Apoptose), der derartige Zellen eliminieren sollte. Tumorzellen sind invasiv, wachsen also in benachbartes Gewebe ein, und erwerben die Fähigkeit, zu metastasieren. Ihr Genom ist von fortlaufenden genetischen Veränderungen bzw. von genetischer Instabilität gekennzeichnet. Das Wachstum neuer Blutgefäße wird von Tumorzellen gezielt gefördert, um die Nährstoffversorgung zu sichern. Tumorentwicklung geht außerdem mit entzündlichen Prozessen und einer Umprogrammierung des Zellstoffwechsels einher. Von großer Bedeutung ist darüber hinaus die Fähigkeit von Tumorzellen, dem Immunsystem zu entgehen.

## Modell der Krebsentstehung

Zellen müssen Veränderungen am Erbgut anhäufen, um die beschriebenen Eigenschaften zu erlangen. Damit in Verbindung gebrachte Gene lassen sich grob in zwei Gruppen einteilen.

Die erste Gruppe sind die **Protoonkogene**: Diese Gene sind häufig an der Steuerung des Zellzyklus beteiligt. Durchlaufen sie eine Veränderung, welche Wachstum zur Folge hat, werden sie **Onkogene** genannt.

Die zweite Gruppe sind **Tumorsuppressorgene**. Sie sind für die Kontrolle von Wachstum und DNA-Reparatur verantwortlich. Fallen sie durch eine Veränderung an der DNA aus, so wird Tumorbildung begünstigt. Ein besonders prominentes Beispiel in dieser Gruppe ist **p53**: Man schätzt, dass in über 50% der Tumoren dieses Gen Schaden genommen hat. Im Normalzustand sorgt es dafür, dass Zellen mit DNA-Schaden diesen entweder beheben oder den programmierten Zelltod auslösen.

Ein Zusammenwirken der Aktivität von Onkogenen bei gleichzeitigem Ausfall von Tumorsuppressorgenen wird als wichtige Grundlage für die Entstehung von Krebszellen betrachtet.<sup>[6]</sup>

### Viren und Krebs

Lange Zeit galten gewisse **chemische Substanzen (Karzinogene)**, verschiedene Strahlungsarten und eine bestimmte **genetische Prädisposition** als maßgebliche Risikofaktoren für Krebsentstehung. Heute geht man allerdings davon aus, dass in rund 20% aller Krebsfälle Infektionen eine ursächliche Rolle spielen. Besonders gut erforscht ist der Zusammenhang zwischen humanen Papillomviren (HPV) und Gebärmutterhalskrebs: Eine lang andauernde Infektion mit sog. HPV-Hochrisikotypen kann die Wahrscheinlichkeit, an Gebärmutterhalskrebs oder auch anderen Krebsarten zu erkranken, deutlich erhöhen. HPV sind weit verbreitet, die meisten Menschen kommen im Laufe ihres Lebens mit ihnen in Kontakt. Gegen sie sind mittlerweile drei **Schutzimpfungen** am Markt, welche die Ständige Impfkommission (STIKO) am Robert-Koch-Institut in Deutschland für Mädchen zwischen 9 und 14 Jahren empfiehlt. In Österreich besteht die Impfpflichtung für beide Geschlechter, um die Infektionsketten zu unterbrechen.<sup>[6]</sup>

### Arbeitsaufträge:

1. Vergleichen Sie Krebszellen und „normale“ Zellen.
2. Wiederholen Sie in diesem Zusammenhang die möglichen Ursachen von Mutationen, geben Sie einen Überblick über die Mutationsarten sowie über die Reparaturmechanismen einer Zelle.
3. Recherchieren Sie, welchen Viren – neben HPV – krebsauslösendes Potenzial zugeschrieben wird.

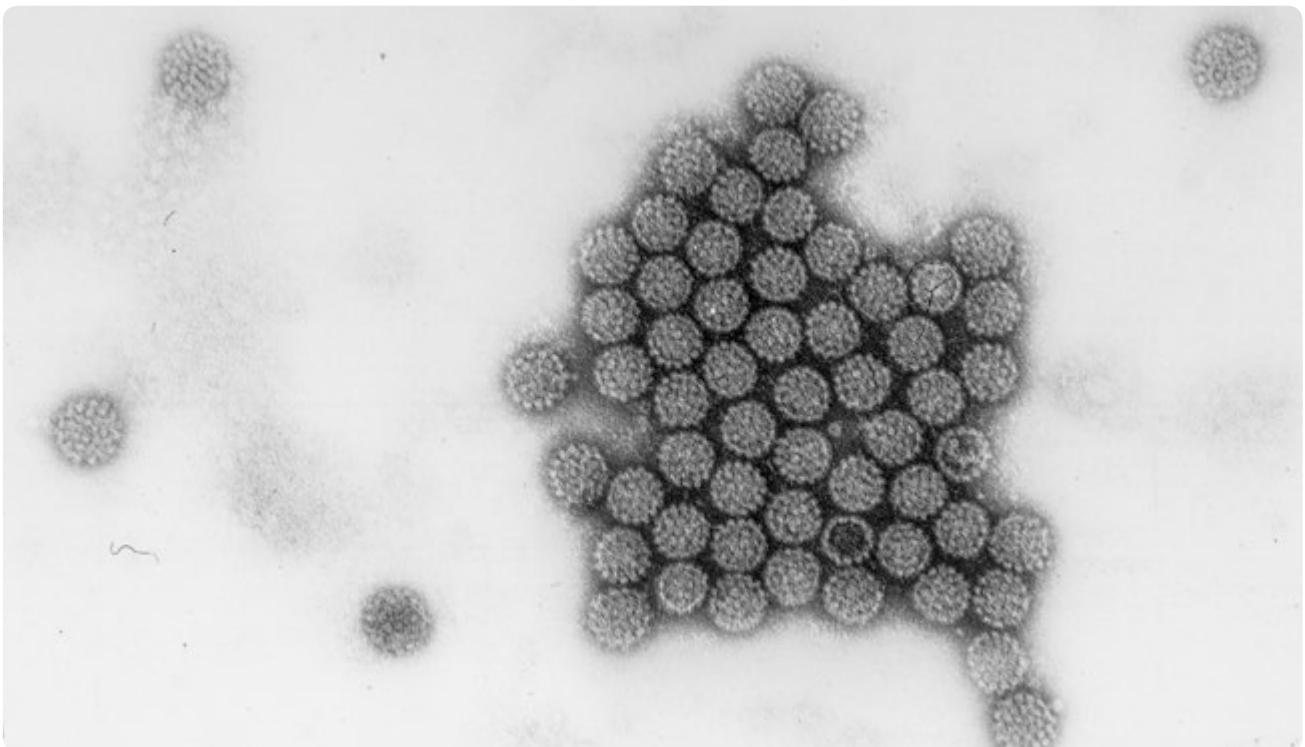


ABB. 2 Elektronenmikroskopische Aufnahme von humanen Papillomviren (©Deutsches Krebsforschungszentrum (DKFZ)/Hanswalter Zentgraf)



Foto: Norbert Müller

### 2.3 Interview mit PD Dr. Dr. Angelika Riemer, Krebsforscherin am Deutschen Krebsforschungszentrum (DKFZ) in Heidelberg

🔗 Sehr geehrte Frau Riemer, der Kampf gegen Krebs ist eines der wichtigsten Anliegen der modernen medizinischen Forschung. Sie selbst beschäftigen sich in Ihrer wissenschaftlichen Tätigkeit am DKFZ mit der Entwicklung therapeutischer Impfstoffe gegen humane Papillomviren, welche beim Menschen bestimmte Krebsarten auslösen können. Wie funktionieren diese Viren?

🔗 **Angelika Riemer (AR):** Die humanen Papillomviren, kurz HPV, umfassen eine Gruppe von über 200 verschiedenen Viren, die in Haut und Schleimhaut eindringen können. Dort kurbeln sie den Zellzyklus an, was für die virale Replikation notwendig ist, aber Wachstum auslöst. Dieses Wachstum kann sich in Form von Warzen äußern, bei manchen Virus-Typen kann dieses Wachstum allerdings die Vorstufe für eine Krebserkrankung sein.

🔗 **Sind manche Viren gefährlicher als andere?**

🔗 **AR:** Ja. Nach unserem gegenwärtigen Wissensstand verursachen einige Typen vergleichsweise harmlose Warzen, wir nennen sie „Low-Risk-Viren“. Andere Typen hingegen haben die Fähigkeit, bösartige Tumore zu verursachen. Sie werden „High-Risk-Viren“ genannt; in dieser Gruppe haben die beiden Typen HPV-16 und HPV-18 besondere Bekanntheit erlangt. Man sollte an dieser Stelle erwähnen, dass humane Papillomviren weltweit verbreitet sind und die überwiegende Mehrheit der Menschen im Laufe des Lebens mit mindestens einem „High-Risk-Virus“ in Kontakt kommt. Glücklicherweise eliminie-

ren die meisten Menschen die Infektion mittels einer effizienten Immunreaktion.

🔗 **Auf welchen Wegen werden diese Viren übertragen?**

🔗 **AR:** Die Übertragung von HPV erfolgt über Haut- bzw. Schleimhautkontakt, insbesondere beim Geschlechtsverkehr. Danach kann das Virus mitunter jahrelang unbemerkt bleiben. Die Folgen einer HPV-Infektion hängen von den erwähnten Virus-typen ab und natürlich von der jeweiligen Person selbst: Ihre individuelle Genetik, etwaige Vorerkrankungen und einwirkende Umweltfaktoren spielen zusammen und entscheiden, was nach der Infektion mit HPV geschieht.

🔗 **Wie genau können humane Papillomviren zu vermehrtem Wachstum führen?**

🔗 **AR:** Humane Papillomviren sind DNA-Viren, d. h. sie besitzen genetische Information in Form von Desoxyribonukleinsäure. Diese genetische Information ist von Proteinmolekülen umgeben, welche das sog. Capsid bilden. Bei einer Infektion docken diese Proteinmoleküle an die Oberfläche basaler menschlicher Haut- bzw. Schleimhautzellen an und die virale DNA gelangt ins Zellinnere. Dort programmiert diese DNA den Stoffwechsel der infizierten Zellen um und führt zu Wachstum, das nicht vorgesehen ist.

🔗 **Was macht dieses Wachstum so gefährlich?**

🔗 **AR:** Ungeplantes Wachstum von Zellen ist gefährlich, da die betroffenen Gewebe und Organe in ihrer Struktur und Funktion mitunter schwer beeinträchtigt werden können.



Erlauben Sie mir, an diesem Punkt kurz auszuholen und die Charakteristika der Krebserkrankung zu erklären. Am Anfang einer solchen Erkrankung steht immer ein Schaden oder eine Fehlregulierung im Erbgut einer menschlichen Zelle. Dies kann z. B. durch eine Mutation ausgelöst werden, also eine Veränderung in der körpereigenen DNA, oder eben durch virale DNA, welche in die Zelle gelangt. Die Folge dieser Vorgänge ist das erwähnte Wachstum von Zellen. Bleibt dieses lokal begrenzt und relativ kontrolliert, spricht man von gutartigen Tumoren. Kommt es jedoch zu einer Abwanderung von Zellen an andere Stellen des Körpers, wo nun ebenfalls Wachstum stattfindet, spricht man von bösartigen Tumoren. Der Prozess der Abwanderung von Zellen wird als Metastasierung bezeichnet, die konkrete Folge sind die gefürchteten Metastasen. Wachstum von Zellen ist also insbesondere dann gefährlich, wenn die betreffenden Zellen ihren ursprünglichen Ort verlassen und unkontrolliertes Wachstum an andere Orte im Körper tragen.

**🔍 Humane Papillomviren können also beides verursachen bzw. fördern, lokal begrenztes Wachstum und bösartige Tumorentwicklung...**

**📌 AR:** ... richtig, eben in Abhängigkeit vom genauen Virus-Typ und von Faktoren, die mit der infizierten Person zu tun haben. Der erste Fall entspricht der Bildung von bspw. Warzen im Genitalbereich, der zweite Fall entspricht der Entstehung von Tumoren etwa am Gebärmutterhals, am Anus, im Rachenraum oder am Penis.

**🔍 Um dies zu verhindern, gibt es schon seit längerem eine Schutzimpfung. Wie wird sie eingesetzt?**

**📌 AR:** Ich möchte hier eingangs betonen, dass Schutzimpfungen die wirksamste Möglichkeit im Kampf gegen Krankheiten darstellen, die wir kennen. Vorbeugung ist viel effizienter als Therapie! Wenn es der Wissenschaft also gelingt, gegen so schwerwiegende Erkrankungen wie Krebs Impfungen zu entwickeln, dann haben wir es mit wahren Durchbrüchen zu tun.

Gegen HPV gibt es in der Tat seit Jahren eine Schutzimpfung, die für Mädchen und Jungen vor dem Einsetzen der sexuellen Aktivität empfohlen wird. Es sind verschiedene Impfstoffe auf dem Markt, die gegen unterschiedliche HPV-Typen schützen, wobei die beiden Hochrisiko-Typen HPV-16 und HPV-18 immer inkludiert sind. Die Impfstoffe enthalten keine vollständigen Viren, sondern nur leere Virushüllen, sind somit ungefährlich und gelten als gut verträglich.

**🔍 Der Ansatz, den Sie selbst mit Ihrer Forschungsgruppe verfolgen, besteht allerdings in der Impfung von Patientinnen und Patienten, die das Virus schon in sich tragen. Wie würde eine derartige Impfung wirken?**

**📌 AR:** Die Idee dieses Ansatzes besteht darin, dem Immunsystem dabei zu helfen, infizierte Zellen zu finden. Eine derartige Zelle zeigt auf ihrer Oberfläche gewisse molekulare Merkmale, die auf die Virusinfektion hinweisen, und genau diese gilt es zu identifizieren und zu charakterisieren. Wenn wir wissen, wie

eine virusinfizierte Zelle von außen auf molekularer Ebene zu erkennen ist, können wir im nächsten Schritt versuchen, das Immunsystem darauf hinzuweisen. Die zytotoxischen T-Zellen des Immunsystems wären dann in der Lage, die virusinfizierte Zelle effizienter zu erkennen und abzutöten. Dieses Konzept heißt therapeutische Impfung, im Gegensatz zur beschriebenen Schutzimpfung.

**🔍 Mit welchen Herausforderungen sind Sie in Ihrer Forschung gegenwärtig konfrontiert?**

**📌 AR:** Meine Forschungsgruppe und ich suchen auf der Oberfläche von virusinfizierten Zellen nach Molekülen, die auf das Virus zurückgehen. Diese Moleküle werden Epitope genannt. Eine infizierte Zelle präsentiert Peptide des Virus auf ihrer Oberfläche immer im Verbund mit körpereigenen Molekülen, sog. MHC-Molekülen. Davon hat jeder Mensch unterschiedliche, so dass jedes Individuum in verschiedener Weise in der Lage ist, Virus-Peptide zu präsentieren. Um nun eine möglichst breitflächig einsetzbare Impfung zu entwickeln, müssen wir Virus-Peptide aufspüren, die bei einem möglichst großen Kreis von Personen tatsächlich auf der Oberfläche der Zellen erscheinen können. An genau dieser Herausforderung arbeiten wir gerade.

**🔍 Das DKFZ ist ja ein besonderer Ort für HPV-Forschung, schließlich wurde es 20 Jahre lang von Harald zur Hausen geleitet, der im Jahr 2008 den Medizin-Nobelpreis für seine Arbeiten auf diesem Gebiet erhielt. Wie kamen Sie nach Heidelberg?**

**📌 AR:** Dank Harald zur Hausen selbst. Nach der Auszeichnung mit dem Nobelpreis bekam Professor zur Hausen von einem Spender eine Million Euro angeboten, um seine Forschung fortzuführen. Mit dem Geld sollte eine neue Forschungsgruppe finanziert werden und Professor zur Hausen durfte die Person für diesen Job aussuchen. Wir hatten uns einige Zeit davor bei einer Konferenz in den USA kennengelernt und seine Wahl fiel auf mich. So kam ich im Jahr 2010 hierher.

**🔍 Gerade im Zusammenhang mit Krebs ist Prävention höchst bedeutsam. Auf welchem Wege kann man ein Bewusstsein dafür Ihrer Meinung nach fördern?**

**📌 AR:** Über die Schulen! Viele Verhaltensregeln zur Prävention von Krankheiten sind grundsätzlich allgemein bekannt, doch zu ihrer Befolgung muss sich die Gesellschaft insgesamt noch weiterentwickeln. Viele Menschen denken leider nach wie vor erst dann über ihre Gesundheit nach, wenn die Beschwerden schon da sind und der Arztbesuch unvermeidlich wird. Deshalb: Das Bewusstsein über Gesundheit muss primär über die Schulen an die Leute, nicht über die Krankenhäuser!

**🔍 Als Wissenschaftlerin steht man vor der Herausforderung, stets am neuesten Stand zu sein und zu verfolgen, was andere Forscherinnen und Forscher gegenwärtig entdecken. Welche wissenschaftliche Erkenntnis in der jüngeren Vergangenheit hat Sie besonders beeindruckt?**

**📌 AR:** In jüngster Zeit hat man viel über die Wirkungsweise von Chemotherapien dazugelernt, etwa inwiefern das körpereigene

Immunsystem daran beteiligt ist: Durch die bei der Chemotherapie verabreichten Wirkstoffe kommt es ja zum Absterben von Zellen und genau dieser Zelltod scheint das Immunsystem vermehrt auf den Plan zu rufen. Auch gibt es spannende Neuerungen in der Art, wie man Impfstoffe verabreichen kann. Generell bin ich immer wieder von den Fortschritten auf dem Gebiet der Immuntherapie beeindruckt. Als ganz junge Forscherin wurde ich auf einem wissenschaftlichen Kongress einmal als Träumerin bezeichnet, als ich mich für dieses Feld interessierte. Heute gibt es gerade hier so vielversprechende Ergebnisse, dass die Träume von gestern vielfach schon Realität sind.

**❓ Die Krebsforschung wird ja durch Entwicklungen in allen wissenschaftlichen Disziplinen beeinflusst. In jüngster Zeit ist in den Lebenswissenschaften viel von Schlagworten wie CRISPR/Cas9, Mikrobiom und Epigenetik die Rede. Wie beurteilen Sie deren Bedeutung für die Krebsforschung?**

**! AR:** Das angesprochene CRISPR/Cas9 krepelt gerade alles um. Es handelt sich dabei um ein Werkzeug, um präzise Veränderungen an der DNA durchzuführen. Damit kann man es bei unzähligen Fragestellungen einsetzen und das passiert bereits weltweit.

Das Mikrobiom ist auch stark im Kommen. Wir beginnen erst zu entdecken, welche Rolle die in uns und auf uns lebenden Mikroorganismen für den menschlichen Körper spielen. Auch für den Wissenschaftsbetrieb selbst spielen Erkenntnisse aus der Mikrobiom-Forschung eine Rolle: Viele Experimente werden ja in Mäusen gemacht, die in steriler Umgebung leben. Diese weisen in Hinblick auf ihr Mikrobiom natürlich erhebliche Unterschiede zu Mäusen auf, die man z. B. in Ställen antreffen kann. Erst kürzlich wurde in einer Studie gezeigt, dass Ergebnisse, die in Mäusen in nicht-sterilen Lebensbedingungen gewonnen wurden, viel eher auf reale Populationen umzulegen sind. Das ist auch mit Blick auf uns Menschen interessant, denn wir leben nun mal nicht in einer sterilen Umgebung. Aus diesem Bereich werden wir sicher viel hören in nächster Zeit.

Und die Epigenetik spielt für die Krebsforschung natürlich eine Rolle, weil Veränderungen auf der Kontrollebene der DNA das Verhalten einer Zelle beeinflussen. Hier am DKFZ gibt es Gruppen, die ihren Forschungsschwerpunkt auf epigenetische Fragestellungen gelegt haben.

**❓ Gibt es Vorgänge in der Wissenschaft, die Sie beunruhigen?**

**! AR:** Ich denke, viele wissenschaftliche Erkenntnisse rufen zunächst Beunruhigung hervor, der Mensch ist Neuem gegenüber automatisch skeptisch. Natürlich mache auch ich mir Gedanken über mögliche Auswirkungen, wenn ich von neuen Erkenntnissen höre. Ich halte es allgemein für wichtig, dass es zu wissenschaftlichen Erkenntnissen immer frühzeitig eine ethische Diskussion über Anwendungen und Auswirkungen gibt. Das ist hilfreich, um mögliche Missbräuche oder Fehlentwicklungen noch im Vorfeld abzufangen. Bei der vorhin angesprochenen CRISPR/Cas9-Technologie ist das gerade intensiv im Gange.

**❓ Die Arbeit der Forscherin bzw. des Forschers hat viel mit Kreativität zu tun und vor allem mit ständig neuen Einfällen. Wie kommen Sie auf neue Ideen?**

**! AR:** Es ist sicherlich sehr wichtig, genug Pausen zu machen und sich immer wieder aus dem Tagesgeschehen herauszunehmen. Ich selbst versuche, regelmäßig Zeit im Freien zu verbringen und mir Auszeiten zu gönnen. Ein Fixpunkt in meinem Wochenplan ist außerdem das Singen in einem Chor. Gleichzeitig muss man in der Forschung natürlich versuchen, im eigenen Wissenschaftsgebiet immer auf dem neuesten Stand zu sein und viel zu lesen. Wo, wann und ob dann tatsächlich neue Ideen kommen, kann man aber nicht planen.

**❓ Und wie motivieren Sie sich für den Beruf der Forscherin? Er hat viel mit Druck und Konkurrenz zu tun.**

**! AR:** Es gibt Menschen, die sich die Frage stellen, wozu sie täglich in die Arbeit fahren und wofür diese gut ist. Für alle, die in der Krebsforschung arbeiten, stellt sich diese Frage nicht, wir haben klare Ziele mit großem Nutzen vor Augen. Druck und Konkurrenz machen das Leben in der Forschung natürlich hart, aber für mich überwiegen klar die Vorteile: Ich kann meinen eigenen Interessen folgen und selbstbestimmt arbeiten, erlebe in meinem Alltag ständig Neues. Ich würde den Beruf der Forscherin gegen nichts tauschen wollen!

Das Interview wurde von Bernhard Stehrer am DKFZ im Rahmen des Projektes Teachers + Scientists geführt.



Foto: Norbert Müller

#### Zur Person:

**Angelika Riemer** [\*1976] studierte in Wien, Melbourne und Bristol und promovierte in Medizin und Molekularer Biologie. Im Jahr 2007 habilitierte sie im Fach Immunologie, von 2008 bis 2009 forschte sie am Dana-Farber Cancer Institute / Harvard Medical School in Boston, USA, und leitet seit 2010 die Nachwuchsgruppe Immuntherapie und Immunprävention am Deutschen Krebsforschungszentrum in Heidelberg. Riemer ist Fachärztin für Immunologie sowie für Dermatologie und Venerologie.

### Zum Deutschen Krebsforschungszentrum:

Das Deutsche Krebsforschungszentrum (DKFZ) mit Sitz in Heidelberg ist die größte biomedizinische Forschungseinrichtung Deutschlands und Mitglied in der Helmholtz-Gemeinschaft deutscher Forschungszentren. Heute arbeiten rund 2.800 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter – darunter 1.200 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler – in über 90 Abteilungen und Arbeitsgruppen an Fragen der Entstehung, Therapie und Prävention von Krebs. Im Jahr 2008 erhielt der langjährige Leiter des DKFZ, Harald zur Hausen, den Medizin-Nobelpreis für seine bahnbrechenden Arbeiten auf dem Gebiet der HPV-Forschung.

### Arbeitsaufträge:

1. Lesen Sie das Interview und fassen Sie die zentralen Aussagen der Wissenschaftlerin zusammen.
2. Formulieren Sie weitere mögliche Fragen an die Wissenschaftlerin. Versuchen Sie in der Gruppe und mithilfe verschiedener Quellen, Antworten auf Ihre Fragen zu finden.

### 3 | Fazit

Das Immunsystem ist zweifellos eines der faszinierendsten Themen der Humanbiologie. Der Zugang dazu ist allerdings insofern beeinträchtigt, als dass experimentelles Arbeiten mit Schülerinnen und Schülern in diesem Bereich schwerfällt. Zur für Schulstunden so bedeutsamen Variation von Medien und Lernunterlagen kann etwa Material, das unmittelbar Wissenschaftlerinnen bzw. Wissenschaftler zu Wort kommen lässt, beitragen. Die exemplarische Bereitstellung solchen Materials – in Textform und Videoform<sup>[7]</sup> – war mitunter Ziel der vorliegenden Kooperation zwischen Lehrer und Wissenschaftlerin.

### 4 | Glossar

#### → Adaptives Immunsystem

Teil des Immunsystems, das auf B- und T-Zellen beruht und sich durch hohe Spezifität und Fähigkeit zur Gedächtnisbildung auszeichnet.

#### → Adjuvans

Hilfsstoff, der als Bestandteil von Impfstoffen die Immunreaktion – spezifisch ausgelöst durch ein Antigen – verstärkt. Entspricht dem Gefahrensignal bei Infektionen.

#### → Angeborenes Immunsystem

Teil des Immunsystems, das unmittelbar nach Erkennung eines Pathogens aktiv wird und dieses auf Grundlage weit verbreiteter Merkmale erkennt. Beruht maßgeblich auf Phagozyten, NK-Zellen und dem Komplementsystem. Hat im Gegensatz zum adaptiven Immunsystem keine Gedächtnisleistung.

#### → Antigen

Molekül, das eine Immunreaktion hervorrufen kann.

#### → Antigenpräsentation

Präsentation von Teilen von Antigenen (→ Epitopen) im Verbund mit MHC-Molekülen als „Peptid-MHC-Komplex“ an der Oberfläche von Zellen. Kann von spezialisierten antigenpräsentierenden Zellen (mit MHC-Klasse-II) oder anderen Körperzellen (mit MHC-Klasse-I) erfolgen. Ziel ist insbesondere die Aktivierung von T-Zellen.

#### → Antikörper

Protein, das von aktivierten B-Zellen produziert wird. Y-Form, mit zwei Bindungsstellen für Erreger bzw. Toxine. Auch Immunglobulin genannt.

#### → B-Zellen

Kurz für B-Lymphozyten, Untergruppe der weißen Blutzellen (Leukozyten). Effektorzellen des adaptiven Immunsystems, Produzenten von Antikörpern.

#### → Dendritische Zellen

Zellen des angeborenen Immunsystems, zur Antigenpräsentation befähigt. Große Bedeutung im Zusammenspiel von angeborenem und adaptivem Immunsystem.

#### → Epitop

Bereich eines Antigens, an den ein Antikörper unmittelbar bindet oder der (im Komplex mit einem MHC-Molekül) von einem T-Zell-Rezeptor erkannt wird.

#### → Humane Papillomviren

Gruppe von DNA-Viren, die über Haut- bzw. Schleimhautkontakt übertragen werden und beim Menschen Warzenbildung, aber auch Krebsentstehung auslösen können.

#### → Komplementsystem

System von im Blut gelösten Enzymen. Teil des angeborenen Immunsystems.

#### → Makrophagen

Zellen des angeborenen Immunsystems, zur Phagozytose und Antigenpräsentation befähigt.

#### → MHC (Haupthistokompatibilitätskomplex, Major Histocompatibility Complex)

Gruppe von Genen, die für Oberflächenproteine mit zentraler Bedeutung im Immunsystem codieren. Mit diesen werden körperfremde Antigene präsentiert. Unterteilt in zwei Klassen: MHC-Klasse-I und MHC-Klasse-II. Beim Menschen auch HLA (Human Leukocyte Antigen) genannt.

#### → NK-Zellen

Kurz für natürliche Killerzellen, Untergruppe der Lymphozyten. Teil des angeborenen Immunsystems. Primär gegen virusinfizierte Zellen und Krebszellen gerichtet.

→ **Pathogen**

Krankheitserreger (z. B. Bakterien, Viren).

→ **Phagozytose**

Aufnahme und Verdau von Zellen oder Zellbruchstücken, Bakterien oder Viren durch spezialisierte Zellen.

→ **Schutzimpfung**

Medizinische Maßnahme mit dem Ziel, vor Kontakt mit einem Krankheitserreger das Immunsystem auf diesen vorzubereiten, um im Falle eines tatsächlichen Kontakts rasch eine Immunantwort aufbauen zu können. Nutzt die Fähigkeit des immunologischen Gedächtnisses des adaptiven Immunsystems.

→ **Therapeutische Impfung**

Medizinische Maßnahme mit dem Ziel, bei Vorhandensein eines Krankheitserregers oder von entarteten Zellen, das Immunsystem auf diese hinzuweisen, um eine effiziente Immunantwort auszulösen und befallene Zellen zu eliminieren.

→ **T-Zellen**

Kurz für T-Lymphozyten, Untergruppe der weißen Blutzellen (Leukozyten). Effektorzellen des adaptiven Immunsystems. Nach Funktion in Gruppen unterteilt, z. B. in T-Helferzellen (Koordination der Immunantwort) und zytotoxische T-Zellen (Abtöten virusinfizierter Zellen oder Krebszellen).

**Quellen**

- [1] Campbell, N. A. & Reece, J. B. (2011): Biologie, 8. Auflage. München: Pearson Education Deutschland.
- [2] Schmetzer, O. (2015): BASICS Immunologie, 3. Auflage. München: Urban & Fischer.
- [3] Alle Zusatzmaterialien finden Sie unter [www.science-on-stage.de/teachers-scientists\\_materialien](http://www.science-on-stage.de/teachers-scientists_materialien).
- [4] Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Morgan, D., Raff, M., Roberts, K. & Walter, P. (2015): Molecular Biology of THE CELL, 6. Auflage. New York: Garland Science.
- [5] Hanahan, D. & Weinberg, R. A. (2011): Hallmarks of Cancer: The Next Generation. In: Cell [144], 646-674.
- [6] Krebsinformationsdienst des Deutschen Krebsforschungszentrums: [www.krebsinformationsdienst.de](http://www.krebsinformationsdienst.de) (aufgerufen am 01.01.2017)
- [7] Die Videos finden Sie unter [www.science-on-stage.de/teachers-scientists\\_materialien](http://www.science-on-stage.de/teachers-scientists_materialien).

**Hilfreiche Links und weiterführende Literatur****Immuntherapie und Immunprävention**

- Forschungsgruppe Angelika Riemer am Deutschen Krebsforschungszentrum: [www.dkfz.de/de/immuntherapie-immunpraevention/index.php](http://www.dkfz.de/de/immuntherapie-immunpraevention/index.php)

**Harald zur Hausen**

- Deutsches Krebsforschungszentrum: [www.dkfz.de](http://www.dkfz.de)
- Offizielle Informationen zum Nobelpreis: [www.nobelprize.org](http://www.nobelprize.org)

- Zur Hausen, Harald & Reuter, Katja (2010): Gegen Krebs. Die Geschichte einer provokativen Idee. Reinbek: Rowohlt.

**HPV-Impfung**

- Krebsinformationsdienst des Deutschen Krebsforschungszentrums: [www.krebsinformationsdienst.de/vorbeugung/risiken/hpv.php](http://www.krebsinformationsdienst.de/vorbeugung/risiken/hpv.php)

**Viren und Krebs**

- Mölling, Karin (2015): Supermacht des Lebens. Reisen in die erstaunliche Welt der Viren. München: C.H.Beck.

**DNA-Reparatur**

- Fischer, Lars (2015): DNA-Reparatur: Weißer Ritter gegen Krebs und Altern. Online auf [www.spektrum.de](http://www.spektrum.de)

**CRISPR/Cas9**

- Findekle, Antje (2016): CRISPR/Cas9. Erbgut auf dem Schneidisch. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft.
- Schroeder, Renée (2016): Die Erfindung des Menschen. Wie wir die Evolution überlisten. Salzburg/Wien: Residenz.

**Mikrobiom**

- Merkelt, Judith (2016): Mikrobiom. Was unsere Bakterien über uns verraten. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft.

**Modellorganismen**

- GENOMXPRESS SCHOLAE 1 (2010), S. 43-46. Online auf [www.glaesernes-labor.de](http://www.glaesernes-labor.de)

**Epigenetik**

- Eils, Roland (2015): [systembiologie.de](http://systembiologie.de) scholae (Schulausgabe), S. 27–31. Online auf [www.systembiologie.de](http://www.systembiologie.de)
- Findekle, Antje (2014): Epigenetik. Wie die Umwelt unser Erbgut beeinflusst. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft.
- Arbeitsgruppen mit epigenetischen Fragestellungen am Deutschen Krebsforschungszentrum: [www.dkfz.de/de/epigenetik/](http://www.dkfz.de/de/epigenetik/)

**Forschungsförderung in Deutschland**

- Siehe [www.research-in-germany.org](http://www.research-in-germany.org)

**Kontakt**→ **Bernhard Stehrer**

[bernhard.stehrer@ursprung.at](mailto:bernhard.stehrer@ursprung.at)  
HBLA Ursprung · Ursprungstraße 4 · A-5161 Elixhausen  
[www.ursprung.at](http://www.ursprung.at)

→ **PD Dr. Dr. Angelika Riemer**

[a.riemer@dkfz.de](mailto:a.riemer@dkfz.de)  
Deutsches Krebsforschungszentrum (DKFZ)  
Immuntherapie und -prävention (F130)  
Im Neuenheimer Feld 280 · D-69120 Heidelberg  
[www.dkfz.de/de/immuntherapie-immunpraevention](http://www.dkfz.de/de/immuntherapie-immunpraevention)



# Kooperation Osnabrück



## STECKBRIEF

### → Schule:

Ursulaschule



### → Lehrkraft:

Dr. Andreas Degenhard

### → Forschungseinrichtung:

Hochschule Osnabrück, Fakultät für  
Ingenieurwissenschaften und Informatik



HOCHSCHULE OSNABRÜCK  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

### → Forschende:

Prof. Dr. Heinz-Josef Eikerling,  
Prof. Dr. Michael Uelschen

### → Themen:

Objektorientierte Programmierung

### → Involvierte Unterrichtsfächer:

Informatik (mit Bezug zur Biologie)

## INTERVIEW

### → Teachers + Scientists ist für uns ...

... die Möglichkeit, unsere Zusammenarbeit mit der Hochschule in einen größeren Rahmen einzubetten, um interessierte Lehrkräfte zu erreichen.

### → Ich mache bei Teachers + Scientists mit, weil ...

... der Unterricht dadurch wichtige Impulse hinsichtlich Interdisziplinarität und Aktualität erhält.

### → Planen Sie eine Fortsetzung der Kooperation nach Projektende?

Auf jeden Fall.

# Fressen und gefressen werden – Vertiefung und Erweiterung von grundlegenden objektorientierten Konzepten in der Informatik anhand von Räuber-Beute-Populationen

Dr. Andreas Degenhard · Prof. Dr. Heinz-Josef Eikerling · Prof. Dr. Michael Uelschen




 **SCHLAGWÖRTER:** Objektorientierte Programmierung, Räuber-Beute-Population, Lotka-Volterra, Computersimulation

 **UNTERRICHTSFACH:** Informatik (mit Bezug zur Biologie)

 **ALTERSGRUPPE DER SCHÜLERINNEN UND SCHÜLER:**  
Ab Klasse 11/12

 **VERWENDETE MATERIALIEN:** Softwareentwicklungsumgebung Greenfoot, Open-Source-Softwarebibliotheken

 **ERFORDERLICHE VORKENNTNISSE:** Grundkenntnisse in der imperativen Programmierung, wie z. B. Wiederholungs- und Auswahlanweisungen; grundlegende Vertrautheit mit der Lernumgebung Greenfoot und den grundlegenden Konzepten der OOP, wie beispielsweise Klassen, Objekte, Attribute, Methoden und Vererbung, sowie die Listenstruktur als abstrakter Datentyp

## 1 | Einführung

Zur Einführung der objektorientierten Programmierung (OOP) und eines damit verbundenen objektorientierten Denkens stehen eine Vielzahl an Hilfsmitteln für den schulischen Unterricht zur Verfügung, beispielsweise im Bereich der Lehr- und Lernsoftware. Sollen die erlernten Konzepte der OOP dann konkret an Anwendungsbeispielen eingeübt und darüber hinaus erweitert werden, sind besonders solche Szenarien geeignet, die die Verwendung einer objektorientierten Vorgehensweise/Modellierung sinnvoll erscheinen lassen. Zudem sollte die Aufgabenstellung hinsichtlich der Komplexität überschaubar sein, sodass sich Schülerinnen und Schüler durch Aussicht auf Erfolgserlebnisse bei dem Vorhaben angesprochen fühlen. Eine Möglichkeit dies zu realisieren, stellen Problem- und Aufgabenstellungen dar, die eine schrittweise Hinzunahme weiterer Klassen/Objekte oder deren Erweiterung durch geeignete Methoden ermöglichen.

Die hier beschriebene Implementierung einer Simulation kann für eine Vertiefung gelernter Konzepte der OOP verwendet werden. Die Simulation orientiert sich an grundlegenden biologischen Prinzipien von Populationen, die sinnvoll und einsichtig sind und einen anschaulichen Zugang zur OOP ermöglichen. Darüber hinaus kann das Verhalten der Objekte, in diesem Fall also der einzelnen Tiere in den Populationen, auch spielerisch betrachtet werden, wobei das Aussterben einer Population durch das Einstellen der unterschiedlichen Parameter der Simulation vermieden werden soll. Konkret wird die schrittweise Implementation einer Räuber-Beute-Population vorgestellt, wobei die Schülerinnen und Schüler möglicherweise überwiegend selbstständig, unterstützt durch das beigefügte Material<sup>[1]</sup>, die Simulation programmtechnisch umsetzen können. Der Grundaufbau der Simulation lässt sich auf vielschichtige Weise ergänzen und erweitern und bietet damit verschiedene Differenzierungsmöglichkeiten. Dabei wird zunächst eine Umsetzung mithilfe der Lernsoftware Greenfoot<sup>[2]</sup> beschrieben. Anschließend wird erläutert, wie sich das Projekt als Applikation auf mobilen Geräten realisieren lässt.

## 2 | Motivation und Information für Lehrkräfte

In den letzten Jahren hat Objektorientierung, nicht zuletzt mit dem verstärkten Aufkommen objektorientierter Sprachen wie JAVA, C++ oder C#, an Bedeutung gewonnen.<sup>[3]</sup> Die Konzepte der objektorientierten Programmierung sind in vielen Bereichen der professionellen Softwareentwicklung fest verankert. Auch im Unterricht für das Fach Informatik werden neben Grundlagen der imperativen Programmierung häufig auch Konzepte der OOP erarbeitet. Die Idee der Objektorientierung ist es, die Architektur der Software an der Wirklichkeit auszurichten, indem diese durch das Zusammenspiel kooperierender Objekte beschrieben wird.

Biologische Algorithmen und Simulationen zeigen einerseits interessante Zusammenhänge zwischen biologischen Prinzipien und algorithmischen Implementierungen auf, andererseits

kann sich hier die Gelegenheit bieten, auf bereits vorhandenes Vorwissen der Schülerinnen und Schüler fachübergreifend zurückzugreifen. Beispielsweise werden im Fach Biologie Phänomene sowohl auf der Ebene eines einzelnen Organismus als auch in Bezug auf ganze Populationen (Evolutionsprozesse) betrachtet. Zu den zuletzt genannten gehören insbesondere auch verschiedene Räuber-Beute-Beziehungen.

Eine mögliche Beschreibung einer Räuber-Beute-Beziehung stellt das Modell von Lotka-Volterra dar, wobei ein Einstieg über beobachtete Populationsverläufe mit Oszillationen erfolgen kann.<sup>[4]</sup> Entscheidend ist dabei die Beobachtung, dass der annähernd periodische Verlauf der Anzahlen von Räubern zeitlich versetzt zu denen der Beute ist. Das Maximum bezüglich der Anzahl der Räuber wird daher erst erreicht, nachdem sich die Anzahl der Beutetiere wieder reduziert. Eine mathematische Beschreibung der daraus resultierenden Erkenntnisse basiert auf einem Satz von Regeln, welche die Grundlage für weitere Berechnungen und Simulationen darstellen. Die mathematischen Lösungen lassen sich sowohl mit den realen Daten vergleichen, als auch mit den Ergebnissen geeigneter Computersimulationen.

Eine Computersimulation, welche die Räuber-Beute-Beziehung anschaulich macht, ist die Simulation Wator von Alexander K. Dewdney und David Wiseman.<sup>[5]</sup> Dieses Modell basiert auf sehr anschaulichen und einfachen Regeln und dient hier als Grundlage für die Vertiefung der OOP mithilfe von biologisch motivierten Computersimulationen. Obgleich die Beschreibung des Wator-Modells auf nur wenigen wesentlichen Regeln basiert, finden sich in der Literatur gelegentlich geringfügige Abweichungen bei den genauen Formulierungen.<sup>[6]</sup>

Neben dem Wator-Modell wurden bereits andere Räuber-Beute-Szenarien in Greenfoot implementiert.<sup>[7]</sup> Unterschiede bestehen dabei in der Wahl eines begrenzten Territoriums, den vorgegebenen Regeln oder auch dem konkreten Vorgehen beim Erstellen der Simulation.

## 3 | Schrittweise Umsetzung mithilfe der Lernsoftware Greenfoot

Eine mögliche Umsetzung des Wator-Modells als Computersimulation bietet sich mithilfe der Lernsoftware Greenfoot an.<sup>[8]</sup> Diese stellt eine Entwicklungsumgebung zusammen mit einer grafischen Oberfläche bereit, welche sowohl den Simulationsverlauf als auch die Beziehung der beitragenden Klassen/Objekte darstellt.

Die schrittweise Implementierung des Wator-Modells als Simulation in Greenfoot beginnt mit einem Grundaufbau, welcher die zwei wesentlichen (Ober-)Klassen *Ocean* und *Animal* enthält. Diese Oberklassen leiten sich direkt von den in Greenfoot automatisch implementierten Klassen *World* und *Actor* ab. In der Abb. 1 ist dieser Zusammenhang am rechten Bildrand grafisch dargestellt.

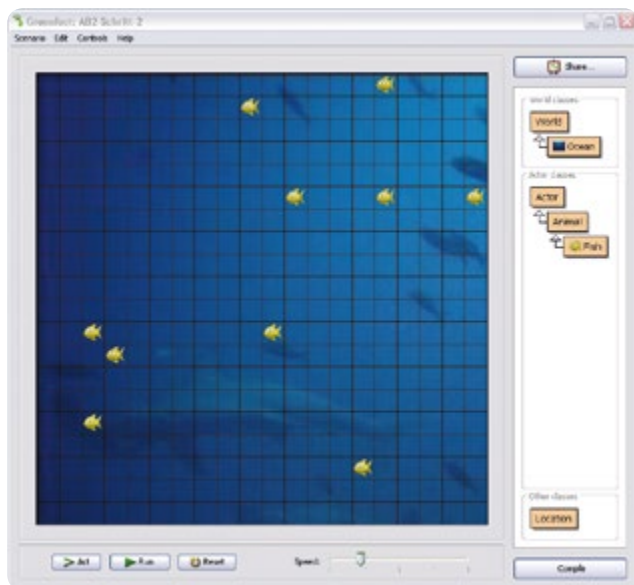


ABB. 1 Der Einstieg in die schrittweise Entwicklung der Simulation erfolgt über die Erstellung eines Ozeans, der zunächst lediglich Objekte vom Typ ‚Fisch‘ enthält.

Im Fall der hier zu implementierenden Simulation ist die Simulationswelt ein Ozean und die Akteure, die Objekte in dieser Welt, sind Tiere. Ein erstes Etappenziel auf dem Weg zu der Implementierung einer sinnvollen Simulation von Wator besteht darin, dass sich eine feste Anzahl von Beutefischen, im Weiteren Fische genannt, zufällig weiterbewegt (siehe Abb. 1). Um den Ozean als unbegrenztes Territorium zu simulieren, bietet sich die Verwendung toroidaler Randbedingungen an den Kanten der zweidimensionalen Simulationsfläche an. Dabei wird diese so gekrümmt, dass sich die gegenüberliegenden Kanten berühren, wie dies in Abb. 2 dargestellt ist.

Anschließend soll sichergestellt werden, dass sich immer nur ein Fisch auf einem Simulationsplatz (kurz Zelle) aufhalten kann. Daran schließt sich die Erzeugung von Jägerfischen (kurz Haie) an, die ebenfalls von der Klasse *Animal* abgeleitet werden.

Obwohl die Haie ähnliche Eigenschaften wie die (Beute-)Fische besitzen, soll die Klasse der Haie später so erweitert werden, dass Fische von Haien gefressen werden können. Während für die Fische immer ausreichend Nahrung im Ozean zur Verfügung steht, benötigen die Haie andere Fische, um zu überleben. Mithilfe geeigneter Simulationsparameter kann abschließend das Langzeitverhalten der Populationen grafisch ausgewertet und mit dem Modell von Lotka-Volterra verglichen werden.

### 3.1 Arbeitsmaterial I

Das online verfügbare 'Arbeitsmaterial I'<sup>[1]</sup> dient als konkrete Hilfestellung bei der Erstellung der beschriebenen Simulation. Die Arbeitsblätter enthalten Aufgabenstellungen, die aufeinander aufbauen und die Simulation schrittweise erweitern, sodass nach jeder Aufgabe ein neues lauffähiges Programm entsteht. Zu den Arbeitsblättern sind mögliche Lösungen vorhanden.<sup>[1]</sup> Diese können Schülerinnen und Schülern zur Verfügung ge-

stellt werden, denen es nicht gelungen ist, eigene Lösungen zu erstellen. Dies ist didaktisch sinnvoll, um im Unterricht gegebenenfalls zu demselben Ausgangsniveau zurückzufinden, so dass alle mit der gleichen Aufgabenstellung fortfahren können.

Die Arbeitsblätter 1 und 2 enthalten sehr detaillierte Arbeitsaufträge, die i. d. R. ohne Hilfe der Lehrkraft selbstständig bearbeitet werden können. Durch diese schrittweise Implementation der Simulation sollen sich die Schülerinnen und Schüler mit deren Klassen vertraut machen und die erste grundlegende Entwicklungsstufe selbstständig umsetzen. Die Arbeitsblätter 3 und 4 umfassen ebenfalls Arbeitsaufträge in Form konkreter Aufgabenstellungen, wobei jedoch keine schrittweise Implementation beschrieben wird. Daher dienen diese Arbeitsblätter zwar als Anleitung für die Weiterentwicklung der Simulation, die konkrete Umsetzung im Unterricht ist damit aber nicht vorgegeben. Bei dem Arbeitsblatt 5 wird davon ausgegangen, dass den Schülerinnen und Schülern das Programm als Lösung zur Verfügung gestellt wird und sie die Möglichkeit haben, verschiedene Simulationsabläufe zu analysieren. Dabei können besonders interessierte Schülerinnen und Schüler auch Einblick in die Erweiterungen der verschiedenen Klassen bekommen, da die Lösung auf den bisherigen Implementierungen basiert.

Die vorhandenen Lösungen stellen lediglich eine mögliche Umsetzung dar, da das Wator-Modell programmtechnisch unterschiedlich implementiert werden kann. Zudem erhebt das Lösungsmaterial keinen Anspruch auf eine idealisiert didaktisch-methodische Umsetzung. Zumeist wird versucht, mit grundlegenden Kenntnissen in der Programmiersprache Java auszukommen. Erweiterte Konstrukte von Java werden verwendet, wenn dadurch das algorithmische Denken unterstützt und einfach gehalten werden soll. Dazu gehört z. B. die Verwendung eines Iterators im Umgang mit dem abstrakten Datentyp einer Liste.

Um lange Namen wie Beutefisch und Räuberfisch zu vermeiden, wird auf eine Oberklasse mit dem Bezeichner ‚Fisch‘ verzichtet. Somit stammen die Klassen ‚Fisch‘ und ‚Hai‘ direkt von einer Klasse *Animal* ab. Obgleich diese beiden Klassen deutsche Bezeichnungen tragen, wurden sämtliche Methoden in allen Klassen in Englisch benannt, um weitere Durchmischungen zu vermeiden. Greenfoot stellt viele Methoden wie beispielsweise ‚addObject()‘ und ‚getObjectsAt()‘ bereit, auf die in der Erstellung der Simulation zurückgegriffen wird. Dabei wird vorausgesetzt, dass die Schülerinnen und Schüler deren Beschreibung in den zahlreich vorhandenen Online-Dokumentationen nachlesen können.

## 4 | Wator als Android-App

Smartphones und Tablets sind aus dem Alltag der Schülerinnen und Schüler nicht mehr wegzudenken. Applikationen (kurz Apps) sind Programme, die unter den verschiedenen Betriebssystemen unterschiedliche Dienste zur Verfügung stellen.



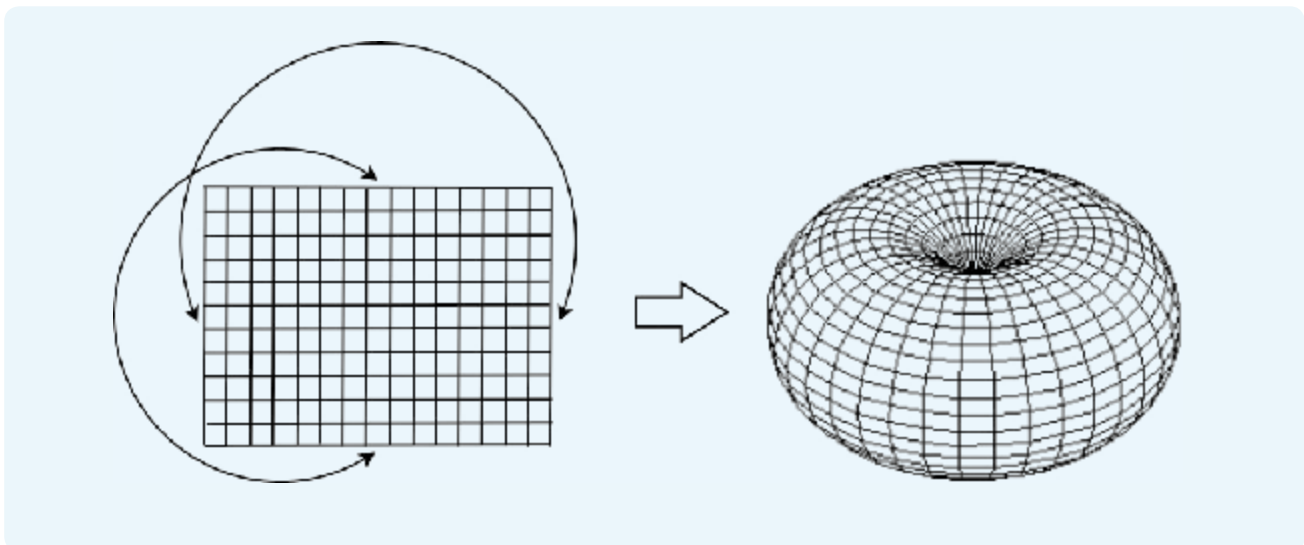


ABB. 2 Visualisierung toroidaler Randbedingungen für eine zweidimensionale Simulationsfläche

Mittlerweile gibt es auch Apps, die eine komplette Entwicklungsumgebung zum Programmieren anderer Apps anbieten. Es ist somit möglich, den grundlegenden Begriff des Objekts in der Informatik allein durch die mobile Kommunikationstechnologie als Unterrichtsmedium zu vermitteln. Dabei werden Anwendungen direkt am Smartphone oder Tablet entwickelt und als App ausgeführt, sodass Schülerinnen und Schüler das Programmieren als Teil ihrer Lebenswelt verstehen können. Dies wird durch die Kombination von den zuvor schrittweise gegliederten Entwicklungsstufen und den mittlerweile sehr leistungsfähigen mobilen Kommunikationsgeräten ermöglicht.

Im Hinblick auf die Überführung der Wator-Simulation in eine App gibt es verschiedene Möglichkeiten. Nachfolgend werden daher zwei unterschiedliche Herangehensweisen vorgestellt.

#### 4.1 Überführung von Greenfoot in eine Android-App

Zuvor wurde bereits die Möglichkeit beschrieben, mit der Lernsoftware Greenfoot entsprechende objektorientierte Programme zu erstellen. Diese können jedoch nicht am Smartphone oder Tablet selbst entwickelt bzw. verändert werden.

Die daher hier eingesetzte Softwarebibliothek ‚JDroidLib‘<sup>[9]</sup> basiert aber auf den grundlegenden Konzepten und Programmier-techniken von Greenfoot, sodass sich das Wissen von einem System zum anderen transferieren lässt.

##### 4.1.1 Voraussetzungen zur Erstellung einer Wator-App

Auf einem Smartphone oder Tablet müssen die Anwendungen (Apps) ‚AIDE – Android IDE‘<sup>[10]</sup> und ‚ProjectBuilder for AIDE‘ installiert werden, was nur wenige Minuten dauert. Die ‚AIDE – Android IDE‘ ist eine Entwicklungsumgebung, die es ermöglicht, Android-Apps direkt auf dem Smartphone oder Tablet zu installieren und zu bearbeiten. Der ‚ProjectBuilder for AIDE‘ ist ein Werkzeug, das bei der Erstellung von Android-Apps hilft. Die

Verwendung eines solchen Werkzeugs ist sinnvoll, da der Ausgangspunkt einer Android-App nicht durch eine übliche main-Methode gebildet wird, sondern durch spezielle Activity- oder Manifest-Dateien bereitgestellt werden muss. Da diese Dateien aber eigentlich Aspekte des Layouts betreffen, ist es im Hinblick auf einen sinnvollen didaktischen Zugang angemessen, diese mit dem ‚ProjectBuilder for AIDE‘ automatisch generieren zu lassen, sodass sich die Erstellung der Android-App nur auf die Implementierung der Simulation beschränkt.

Um die Simulation grafisch darzustellen, steht die didaktisch konzipierte und für Schulen frei verfügbare Java-Klassenbibliothek ‚JDroidLib‘ zur Verfügung. Diese ermöglicht aufgrund der vorhandenen Methoden eine besonders intuitive Programmierung und wird ebenfalls vom ‚ProjectBuilder for AIDE‘ automatisch mit in das Android Projekt integriert. Für die Java-Klassenbibliothek ‚JDroidLib‘ gibt es zudem eine nahezu analoge Java-Klassenbibliothek ‚JGameGrid‘<sup>[11]</sup> für die Verwendung an PCs. Dadurch können Programme auch zunächst am PC in einer Vorstufe entwickelt und später auf das Smartphone oder Tablet übertragen und dort weiterentwickelt werden.

Um die Erstellung einer App didaktisch sinnvoll umzusetzen, wird empfohlen, dass sich die Schülerinnen und Schüler eine entsprechende Vorlage der (Haupt-)Klasse ‚WasserWelt‘ auf das Smartphone bzw. Tablet downloaden, die sehr eindrucksvoll demonstriert, wie einfach sich die Wasserwelt auf dem Android-Gerät grafisch darstellen lässt. Diese Klasse ist der entsprechenden Klasse in der Greenfoot-Umgebung sehr ähnlich und enthält die Methode `main()` mit dem Aufruf des Standardkonstruktors, der in sehr übersichtlicher Weise das Aussehen der Oberfläche zur grafischen Visualisierung festlegt.

##### 4.1.2 Erzeugen von Objekten

Nachdem die grafische Oberfläche der Wasserwelt auf dem Android-Gerät angezeigt wurde, kann die erste konkrete Aufgabe darin bestehen, einen einzelnen Fisch als Objekt zu er-

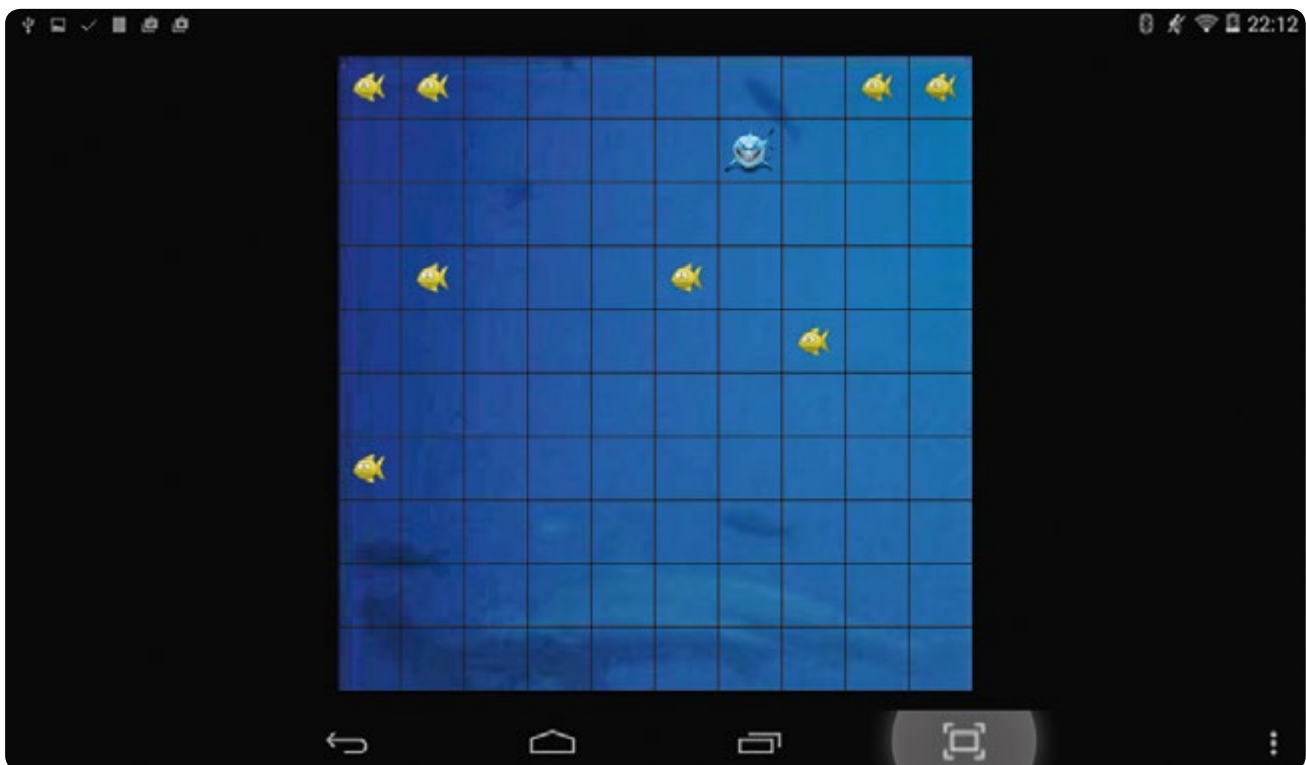


ABB. 3 Wasserwelt Android

zeugen und diesen in der Wasserwelt als zweidimensionale Simulationsebene darzustellen. Dazu müssen die Schülerinnen und Schüler zunächst eine weitere Klasse für die Fische (Fisch.java) selbstständig implementieren. Diese besteht nur aus zwei Methoden, dem Konstruktor und der Methode `act()`. Analog kann anschließend eine entsprechende Klasse für die Haie (Hai.java) implementiert werden. Während der jeweilige Konstruktor auf ein Bild, das ein entsprechendes Objekt darstellt, verweist, ist die Methode `act()` am Anfang vollständig leer, da (im Sinne der OOP) noch kein Verhalten für die Fische und die Haie festgelegt wurde. Konkret kann dann mit einer einzigen Programmzeile im Konstruktor der Klasse ‚WasserWelt‘ ein Objekt vom Typ ‚Fisch‘ oder ‚Hai‘ erzeugt und an einem zufälligen Ort in der Wasserwelt abgebildet werden (siehe Abb. 3).

```
addActor(new Fisch(), getRandomEmptyLocation());
```

oder entsprechend der Erzeugung eines Hais:

```
addActor(new Hai(), getRandomEmptyLocation());
```

Dabei ist es auch möglich, dass die Schülerinnen und Schüler selbstständig, ohne Vorgabe dieser Programmzeilen, vorgehen und verschiedene Möglichkeiten zum Erzeugen von Objekten mithilfe einer Übersicht vorhandener Methoden testen.

So erfahren die Schülerinnen und Schüler den Umgang mit Bibliotheken und begreifen die sinnvolle Nutzung bereits zur Verfügung stehender Methoden für die Entwicklung von Anwendungen.

#### 4.1.3 Bewegung von Objekten

Im nächsten Schritt wird eine vorgegebene Anzahl solcher Objekte mit einer Wiederholungsanweisung erzeugt. Eine erste Bewegung der Objekte besteht im Hinblick auf die Simulation in einem Wechsel auf ein zufällig ausgewähltes Nachbarfeld, das ebenfalls in einfacher Weise in der Methode `act()` implementiert werden kann:

```
// Hai schwimmt zufaellig ein Feld weiter
r = Math.random();
if (r>0.75) turn(90);
else if (r>0.5) turn(180);
else if (r>0.25) turn(270);
move(1);
```

Spätestens hier sollte klar werden, dass dem Rand der Wasserwelt eine besondere Bedeutung zukommt. Dabei muss ein Randfeld im Programm zunächst erkannt und anschließend gesondert behandelt werden. Ein einfacher Umgang mit Randfeldern besteht darin, einen Schritt auf ein nicht vorhandenes Feld einfach nicht auszuführen und daraufhin den nächsten zufällig ausgewählten Schritt zu betrachten. Im eigentlichen Modell soll der Ozean jedoch über einen Torus als „unendlich ausgedehnt“ simuliert werden, sodass das Objekt wieder passend an der gegenüberliegenden Seite in die Wasserwelt aufgenommen werden kann (siehe Abb. 2). Auch diese Art von Randbedingung lässt sich sehr einfach implementieren, indem bei einem Wechsel auf ein äußeres Randfeld sofort auf die gegenüberliegende Seite gewechselt wird. Dies stellt insofern keine Einschränkung dar, da die dargestellte Fläche beliebig dimensioniert werden kann.

#### 4.1.4 Interaktion zwischen Objekten

Nachdem ermöglicht wurde, dass sich sowohl Fische als auch Haie beliebig über die Fläche bewegen können, sollen sich die Schülerinnen und Schüler der Umsetzung erster Interaktionen zuwenden, wobei zunächst der Unterschied zwischen Objekten vom Typ ‚Fisch‘ und ‚Hai‘ vernachlässigt werden kann und nur eine Doppelbesetzung eines Feldes vermieden werden soll. Sinnvollerweise wird dieses Verhalten wiederum in der Methode `act()` implementiert. Im Anschluss hieran kann die Klasse ‚Fisch‘ so bestehen bleiben, bei der Klasse ‚Hai‘ muss jedoch unterschieden werden, ob ein Nachbarfeld von einem normalen Fisch oder von einem Hai besetzt ist. Falls das Nachbarfeld eines Hais von einem normalen Fisch besetzt ist, kann der Hai dieses Feld besetzen. Dabei müssen die Schülerinnen und Schüler erkennen, dass die geforderte Überprüfung davon abhängt, ob das auf dem Nachbarfeld befindliche Objekt vom Typ ‚Hai‘ ist. Da zuvor auf den allgemeinen Objekttyp ‚Actor‘ geprüft werden konnte, wird auf eindrucksvolle Weise klar, dass die Klasse ‚Hai‘ den Typ ‚Actor‘ im Sinn einer Vererbung in der OOP weiter spezifiziert.

Nach der Umsetzung verschiedener Aktionen in der Methode `act()` für die unterschiedlichen Objekte, besteht das weitere Vorgehen darin, über selbst zu definierende Attribute und Methoden die zuvor festgelegten Anforderungen an die Simulation umzusetzen. In einem ersten Schritt kann geprüft werden, ob sich auf einem Feld mit einem Hai auch ein Objekt vom Typ ‚Fisch‘ befindet. Die möglicherweise damit verbundene Vernichtung dieses Objekts vom Typ ‚Fisch‘ kann durch eine Methode `tryToEat()` erfolgen, die im Wesentlichen aus den beiden folgenden Programmzeilen besteht:

```
Actor actor = gameGrid.getOneActorAt(getLocation(),
Fisch.class);
if (actor != null) actor.removeSelf();
```

Falls sich also an der aktuellen Position ein Fisch befindet, wird dieses Objekt über die Variable `actor` referenziert und kann dann in der zweiten Zeile entsprechend gelöscht werden.

#### 4.1.5 Automatisches Generieren von neuen Objekten

An dieser Stelle muss deutlich werden, dass der Ausgang der Simulation darin besteht, dass am Ende keine Fische mehr existieren. Durch den Rückgriff auf die Vorüberlegungen zur Simulation wird klar, dass diesem Problem durch die Geburt von neuen Fischen entgegengewirkt werden kann. Um eine Geburt zu implementieren, müssen sowohl eine Konstante für die Laichzeit als auch eine Variable für das Lebensalter berücksichtigt werden, wodurch insbesondere das Voranschreiten der Zeit bei der Simulation verdeutlicht wird. Die Geburt eines normalen Fisches kann besonders einfach umgesetzt werden, wenn für einen Fisch beim Verlassen des aktuellen Feldes geprüft wird, ob das Alter die Laichzeit bereits erreicht hat. In diesem Fall kann auf dem aktuellen Feld ein neues Objekt vom Typ ‚Fisch‘ erzeugt werden:

```
if (this.alter >= WasserWelt.LaichZeitFisch)
{
    gameGrid.addActor(new Fisch(),
    new Location(this.getX(), this.getY()));
    this.alter = 0;
}
```

Nachdem auf dem aktuellen Feld ein Nachkomme erzeugt wurde, beginnt für beide Objekte das Alter bei null, um den Zeitraum der Laichzeit wieder abzuwarten.

#### 4.1.6 Simulation

Die Simulation ist durch das beschriebene Vorgehen noch nicht vollständig implementiert, denn Haie sollen sich auch vermehren oder sterben können. Dennoch reicht es zunächst aus, um die Situation anhand einer nicht ganz vollständigen Simulation schon einmal zu analysieren. Startet die Simulation auf einer Oberfläche mit  $10 \times 10 = 100$  Zellen, nur wenigen Fischen und einer deutlich größeren Anzahl an Haien, so sterben die Fische mit einer hohen Wahrscheinlichkeit aus, da sie sich nicht vermehren können, bevor sie von einem Hai entdeckt werden. Dies verhält sich jedoch anders, wenn die Oberfläche vergrößert oder die Laichzeit verkürzt wird. Entscheidend ist hier, dass die Schülerinnen und Schüler verstehen, dass eine Simulation von der geeigneten Wahl der Parameter abhängt. Das Erkunden geeigneter Parameter kann somit als ein Spiel verstanden werden, wobei es darauf ankommt, dass die Population der Haie und Fische möglichst stabil gehalten wird. Dabei gibt es verschiedene Einstellungsmöglichkeiten. Eine hier mögliche Wahl für geeignete Startparameter ist z. B. die Kombination aus zwölf Fischen, drei Haien und einer Laichzeit von 18 bei einer  $10 \times 10$  Oberfläche. Oft kann man während einer Simulation auch beobachten, dass es zu periodischen Schwankungen der Population der Fische kommt, womit sich der Kreis zu dem anfangs vorgestellten Lotka-Volterra-Modell schließt. Dadurch wird den Schülerinnen und Schülern an dieser Stelle deutlich, dass ein Computerprogramm zu demselben Resultat gelangt wie eine mathematische Analyse.

## 4.2 Generierung einer Android-App aus einer JGameGrid-Anwendung

In dem zuvor dargestellten Ansatz wird die Entwicklung einer Anwendung und anschließend einer mobilen App basierend auf der Software Greenfoot vorgenommen. Im Folgenden soll ein alternativer Ansatz beschrieben werden, der in die Programmierung unter Java einführt. Dabei wird Wator zunächst als Desktop-Anwendung erstellt und in einem zweiten Schritt auf mobilen Geräten mit dem Android-Betriebssystem lauffähig gemacht.

Voraussetzungen sind grundlegende Kenntnisse in:

- Programmierung in C++
- Objektorientierter Programmierung
- Umgang mit Entwicklungsumgebungen, idealerweise Netbeans<sup>[12]</sup>

Der Kurs gliedert sich in zwei Lerneinheiten mit je vier Unterrichtsstunden:

- In der ersten Einheit wird in den Umgang mit der Programmiersprache Java unter dem Netbeans-IDE anhand des Wator-Beispiels eingeführt. Für die Implementierung wird die Bibliothek ‚JGameGrid‘ verwendet.
- Im zweiten Teil wird die Desktop-Anwendung durch Einsatz eines Generators in eine lauffähige App konvertiert. Das resultierende Projekt verwendet die Bibliothek ‚JDroidLib‘<sup>[9]</sup> und kann in die ‚AIDE‘ App auf einem mobilen Gerät geladen und dort editiert werden.

Beide Teile sollten den Schülerinnen und Schülern in Form einer Arbeitsmappe zur Verfügung gestellt werden und sind in Schritte unterteilt, die einfach nachvollzogen werden können. Sämtliches Material hierzu steht zum Download als ‚Arbeitsmaterial II‘ bereit.<sup>[1]</sup>

### 5 | Fazit und Ausblick

Dieses Projekt zeigt, dass mithilfe der objektorientierten Programmierung die Simulation biologischer Populationsdynamiken im Informatikunterricht an Schulen möglich ist. Dazu wurden insgesamt drei Varianten einer möglichen Implementation näher beschrieben: eine schrittweise Umsetzung innerhalb der Lernumgebung Greenfoot, ein Vergleich mit dem Modell von Lotka-Volterra und die Erstellung der Wator-Simulation als mobile Applikation.

Durch entsprechende Materialien, die Arbeitsaufträge bzw. Anleitungen zu einer konkreten Umsetzung enthalten, gepaart mit gezielten Informationen durch die Lehrkraft, können Schülerinnen und Schüler objektorientiertes Denken sinnvoll vertiefen. Darüber hinaus zeigen Zwischenergebnisse bei dem Aufbau der vollständigen Simulation eine immer detailliertere Annäherung an das bekannte biologische Verhalten.

Die beschriebene Simulation beinhaltet überwiegend grundlegende Konzepte der objektorientierten Programmierung. Zudem ist der Grad der Komplexität so gewählt, dass die Implementierung für Schülerinnen und Schüler durchaus überschaubar bleibt. In vertiefenden Projektkursen oder Seminararbeiten können gegebenenfalls anspruchsvollere Simulationen implementiert werden, wie beispielsweise eine kollektive Intelligenz [Schwarmverhalten] oder ein Ameisenalgorithmus.

### Quellen

- <sup>[1]</sup> Alle Zusatzmaterialien finden Sie unter [www.science-on-stage.de/teachers-scientists\\_materialien](http://www.science-on-stage.de/teachers-scientists_materialien)
- <sup>[2]</sup> Greenfoot: [www.greenfoot.org](http://www.greenfoot.org) (abgerufen am 12.01.2017)
- <sup>[3]</sup> Bernhard Lahres, Gregor Rayman, Stefan Strich, Objektorientierte Programmierung, Rheinwerk Computing (2015)
- <sup>[4]</sup> Christoph Ableitinger, Biomathematische Modelle im Unterricht – Fachwissenschaftliche und didaktische Grundlagen mit Unterrichtsmaterialien, S. 143, Vieweg und Teubner (2010)
- <sup>[5]</sup> A.K. Dewdney, Computer Recreations, Scientific American 251, S. 14-22 (1984)
- <sup>[6]</sup> [www.beltoforion.de](http://www.beltoforion.de) (abgerufen am 12.01.2017)
- <sup>[7]</sup> [www.ralphenne.de/informatik/greenfoot/05HaseFuchs.pdf](http://www.ralphenne.de/informatik/greenfoot/05HaseFuchs.pdf) (abgerufen am 12.01.2017)
- <sup>[8]</sup> Michael Kölling, Einführung in Java mit Greenfoot, Pearson Studium (2010)
- <sup>[9]</sup> JDroid: <http://www.jdroid.ch> (abgerufen am 12.01.2017)
- <sup>[10]</sup> AIDE: <http://www.android-ide.com>
- <sup>[11]</sup> Klassenbibliothek JGameGrid: <http://www.java-online.ch/gamegrid/uebersichtMethoden.inc.php> (abgerufen am 12.01.2017)
- <sup>[12]</sup> Netbeans IDE: <https://netbeans.org/> (abgerufen am 12.01.2017)

### Kontakt

Bei Fragen zur Simulation in Greenfoot:

- **Dr. Andreas Degenhard**  
[adegenha@t-online.de](mailto:adegenha@t-online.de)

Bei Fragen zur Überführung in eine Android-App:

- **Prof. Dr. Heinz-Josef Eikerling**  
[H.Eikerling@hs-osnabrueck.de](mailto:H.Eikerling@hs-osnabrueck.de)
- **Prof. Dr. Michael Uelschen**  
[m.uelschen@hs-osnabrueck.de](mailto:m.uelschen@hs-osnabrueck.de)



### 14 LEHRKRÄFTE, 12 FORSCHENDE

## Teilnehmerinnen und Teilnehmer

Name	Institution	Regionale Kooperation
Avenwedde, Josef	MINT-Technikum Verl, Hochschule Bielefeld	Bielefeld
Bengtsson, Dr. Luiza	Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin (MDC)	Berlin
Biedermann, Kirsten	Widukind-Gymnasium Enger	Bielefeld
Bertram, Katrin	Georg-Büchner-Gymnasium Berlin	Berlin
Deerberg, Jennifer	Einhard-Gymnasium Aachen	Aachen
Degenhard, Dr. Andreas	Ursulaschule Osnabrück	Osnabrück
Eggermann, Dr. Katja	Universitätsklinikum der RWTH Aachen	Aachen
Eggermann, Prof. Dr. Thomas	Universitätsklinikum der RWTH Aachen	Aachen
Eikerling, Prof. Dr. Heinz-Josef	Hochschule Osnabrück	Osnabrück
Fenz, Helga	Robert-Havemann-Gymnasium Berlin	Berlin, Hauptkoordinatorin
Karus, Christian	Andreas-Vesalius-Gymnasium Wesel	Koordinator
Kusserow, Sven	OSZ Gesundheit I Berlin	Berlin
Liebelt, Stefanie	Georg-Büchner-Gymnasium Berlin	Berlin
Lundschien, Thomas	Andreas-Gymnasium Berlin	Berlin
Mehta, Stefanie	Einhard-Gymnasium Aachen	Aachen
Nimptsch, Dr. Katharina	Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin (MDC)	Berlin
Pischon, Prof. Dr. Tobias	Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin (MDC)	Berlin
Podlowski, Dr. Svenia	Georg-Büchner-Gymnasium Berlin	Berlin
Riemer, PD Dr. Dr. Angelika	Deutsches Krebsforschungszentrum (DKFZ)	Heidelberg
Sawatzky, Thomas	Gesamtschule Hüllhorst Bielefeld	Bielefeld
Schwarz, Prof. Dr. Dominik	Universität Bielefeld	Bielefeld
Steinbrecher, Dr. Astrid	Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin (MDC)	Berlin
Steinlein, Dr. Tom	Universität Bielefeld	Bielefeld, Koordinator
Stehrer, Bernhard	Höhere Bundeslehranstalt für Landwirtschaft Ursprung, Österreich	Heidelberg
Uelschen, Prof. Dr. Michael	Hochschule Osnabrück	Osnabrück
Wittland, Melanie	Gymnasium Heepen	Bielefeld

# Jugend forscht – Wir fördern Talente

Jugend forscht ist Deutschlands bekanntester Nachwuchswettbewerb. Ziel der gemeinsamen Initiative von Bundesregierung, stern, Wirtschaft, Wissenschaft und Schulen ist es, Jugendliche langfristig für Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik (MINT) zu begeistern, Talente zu fördern und über den Wettbewerb hinaus in ihrer beruflichen Orientierung zu unterstützen.

Teilnehmen können junge Menschen bis zum Alter von 21 Jahren. Jüngere Schülerinnen und Schüler, die mitmachen wollen, müssen im Anmeldejahr mindestens die 4. Klasse besuchen. Die Wettbewerbsteilnehmenden suchen sich selbst eine interessante Fragestellung, die sie mit naturwissenschaftlichen, technischen oder mathematischen Methoden bearbeiten. Den Gewinnerinnen und Gewinnern winken hochwertige Geld- und Sachpreise sowie Praktika, Studienaufenthalte und die Teilnahme an internationalen Wettbewerben.



Pro Jahr führt Jugend forscht bundesweit über 110 Wettbewerbe durch. Seit der Gründung 1965 haben sich über eine Viertelmillion junge Menschen am Wettbewerb beteiligt. Die Mehrzahl der erfolgreichen Teilnehmenden bleibt ihren Fächern in Ausbildung und Studium treu. Viele sind anschließend als Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an Hochschulen und Forschungseinrichtungen oder als Führungskräfte in Unternehmen tätig.

Wichtige Voraussetzung für diese einzigartige Erfolgsbilanz ist die Organisation des Wettbewerbs als gesellschaftlich breit verankertes Netzwerk: Förderer der Initiative sind Bundesregierung, stern und Wirtschaft – die Kultusministerien und Schulen unterstützen Jugend forscht maßgeblich. Der Träger des Wettbewerbs ist der gemeinnützige Verein Stiftung Jugend forscht e. V. mit der Bundesministerin für Bildung und Forschung als Kuratoriumsvorsitzende. Schirmherr des Wettbewerbs ist der Bundespräsident. Rund 250 Partner aus Wirtschaft und Wissenschaft richten die Wettbewerbe aus, stiften Preise und fördern weitere Aktivitäten.

Beispielhaft ist bei Jugend forscht auch die Bereitschaft vieler Menschen, den Wettbewerb ehrenamtlich zu unterstützen. Über 5.000 Lehrkräfte engagieren sich jedes Jahr als Projektbetreuerinnen und -betreuer und Wettbewerbsleiterinnen und -leiter. Mehr als 3.000 Fach- und Hochschullehrkräfte sowie Expertinnen und Experten aus der Wirtschaft bewerten die Arbeiten. Ihre freiwillige Mitarbeit ist ein wesentlicher Eckpfeiler des Wettbewerbs, der eine Beteiligung von über 12.000 Jungforscherinnen und -forschern pro Runde erst möglich macht. Es sind vor allem Lehrkräfte und betriebliche Auszubildende, die als Projektbetreuerinnen und -betreuer den Jugendlichen durch ihr vorbildliches Engagement die Gelegenheit geben, ihre Talente bei der Arbeit an einem Jugend forscht Projekt gezielt zu entwickeln.

#### Kontakt:

Stiftung Jugend forscht e. V.  
Baumwall 5 · 20459 Hamburg  
Telefon +49 40 374709-0  
info@jugend-forscht.de  
www.jugend-foscht.de

# Science on Stage Deutschland e. V. – Frische Ideen für den MINT-Unterricht

Als größtes europäisches Netzwerk von MINT-Lehrkräften bietet Science on Stage Lehrkräften aus 30 Ländern auf Bildungsfestivals, in Workshops und Fortbildungen eine Bühne für den Austausch frischer Ideen und Anregungen für den Unterricht.

## Unsere Ziele:

- engagierte Lehrkräfte europaweit vernetzen
- außergewöhnliche Unterrichtsideen entdecken und verbreiten
- mehr Schülerinnen und Schüler für Ingenieur- und Naturwissenschaften begeistern

Die gemeinnützige Initiative besteht seit 2003 und erreicht von der Grundschule bis zur Oberstufe europaweit 100.000 Lehrkräfte.

Profitieren auch Sie vom umfangreichen Know-how Ihrer Kolleginnen und Kollegen und nutzen Sie unsere Unterrichtsmaterialien, die von Lehrkräften für Lehrkräfte entwickelt wurden. Sie können die Materialien unter [www.science-on-stage.de](http://www.science-on-stage.de) herunterladen oder bei Science on Stage bestellen. Holen Sie sich neuen Schwung für den Alltag nach Hause!

## Die Broschüren sind kostenlos erhältlich!

Bestellung per E-Mail an [info@science-on-stage.de](mailto:info@science-on-stage.de) oder PDF-Download unter [www.science-on-stage.de/unterrichtsmaterialien](http://www.science-on-stage.de/unterrichtsmaterialien).



### Alles im grünen Bereich

- Unterrichtskonzepte zu Fotosynthese und Biogas
- Versuche und Arbeitsblätter für Biologie und Chemie
- Hinweise zur Berufsorientierung



### iStage 3 – Fußball im MINT-Unterricht

- Materialien rund um das Thema Fußball, z. B.:
- Wie muss der ideale Rasen beschaffen sein?
  - Wie hoch ist die Tor-Wahrscheinlichkeit bei einem Elfmeter?
  - Welche Rolle spielt der Luftdruck in einem Ball?



### iStage 2 – Smartphones im naturwissenschaftlichen Unterricht

- Von der Messung der Beschleunigung einer Achterbahn bis zur Frage wie laut Vögel in der Großstadt zwitschern: Smartphones bieten zahlreiche Möglichkeiten, den Unterricht packend und alltagsnah zu gestalten.



### iStage 1 – Unterrichtsmaterialien für Informations- und Kommunikationstechnologien in den Naturwissenschaften

- Biologie und Gesundheit
- Unsere Umwelt
- Vom Fahrrad zum Weltraum

## Blieben Sie auf dem Laufenden mit unserem Newsletter!

[www.science-on-stage.de/newsletter](http://www.science-on-stage.de/newsletter)

## Kontakt, Bestellung, Mitgliedschaft:

Science on Stage Deutschland e. V.

Poststraße 4/5 · 10178 Berlin

Telefon +49 30 400067-40

✉ [info@science-on-stage.de](mailto:info@science-on-stage.de)

📘 [facebook.com/scienceonstagedeutschland](https://facebook.com/scienceonstagedeutschland)

🐦 [twitter.com/sons\\_d](https://twitter.com/sons_d)

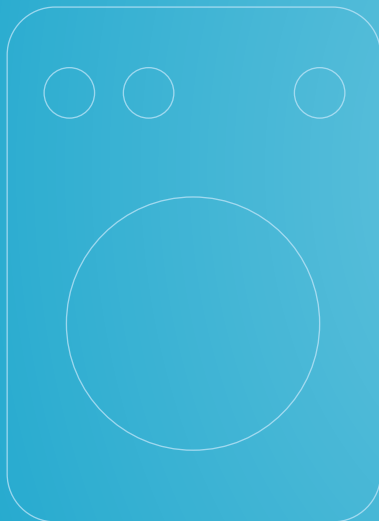
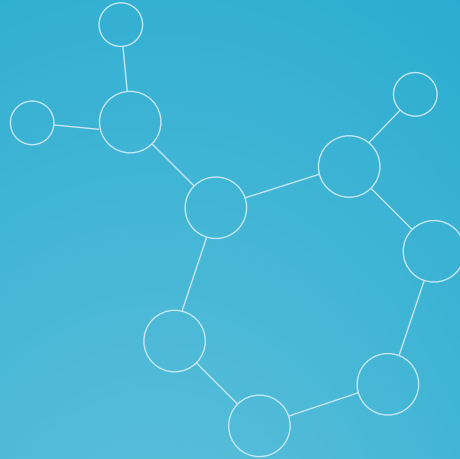
[www.science-on-stage.de](http://www.science-on-stage.de)

SCIENCE ON STAGE  
DEUTSCHLAND  
THE EUROPEAN NETWORK FOR SCIENCE TEACHERS

HAUPTFÖRDERER VON  
SCIENCE ON STAGE DEUTSCHLAND

think  
ING.

Die Initiative für  
Ingenieurnachwuchs



[www.teachers-and-scientists.de](http://www.teachers-and-scientists.de)

Ein Projekt von Science on Stage Deutschland e. V.

in Kooperation mit der Stiftung Jugend forscht e. V.

