

EXPERTENGRUPPE 1

MATHEMATIK IM KAMPF GEGEN DIE ANTIBIOTIKAKRISE

Stelle dir einmal eine Population von Fischen in einem See vor. Die Bedingungen im See sind optimal, er bietet eine großartige Umwelt für die Fische. Nun kommt es allerdings ganz plötzlich zu einer Umweltveränderung, welches dazu führt, dass die Fische in dem See nicht mehr so gut überleben können und nach und nach sterben. Durch eine zufällige Mutation, eine Veränderung des Erbguts, können Fische hervorgehen, die besser an die neue Umwelt angepasst sind und die Fischpopulation im See vor dem Aussterben retten: Ganz nach dem biologischen Konzept "Rettung durch Evolution". Dieses Konzept zeigt an dieser Stelle einen positiven Effekt für die Fische, da diese vor dem Aussterben gerettet werden. Das gleiche Konzept kann jedoch in der Medizin auch einen negativen Effekt für den Patienten haben, etwa bei der Behandlung von bakteriellen Infektionen mit Antibiotika. Während der Behandlung mit einem Antibiotikum kann es ganz zufällig zu einer Mutation kommen, durch die die Bakterien resistent gegen die Behandlung werden. Das bedeutet, dass eine ursprünglich wirksame Menge des Medikaments nicht mehr ausreicht, um die resistenten Bakterien abzutöten. Oft muss dann das Medikament gewechselt werden.

Durch die Evolution von Resistenzen verlieren wir Behandlungsmöglichkeiten. Viele Antibiotika, die einst zu einer schnellen und effektiven Behandlung geführt haben, können heutzutage nicht mehr genutzt werden. Durch einen übermäßigen oder gar falschen Gebrauch von Antibiotika, etwa in der Tierzucht oder zuletzt in der Covid-19-Pandemie, haben wir die Ausbreitung von resistenten Keimen sogar noch begünstigt. Was können wir also unternehmen, damit uns auch weiterhin Antibiotika für die Behandlung von Infektionen zur Verfügung stehen?

Dabei kann es hilfreich sein, die Art und Weise zu überdenken, wie Antibiotika verabreicht werden. Das Ziel ist es, einen Weg zu finden die aktuell noch wirksamen Antibiotika so einzusetzen, dass es gar nicht erst zu einer Ausbreitung der resistenten Bakterien kommen kann. Damit dies gelingen kann, arbeiten Wissenschaftler\*innen wie Christin Nyhoegen vom Max-Planck-Institut für Evolutionsbiologie an der Erforschung von Modellen zur Verbesserung von Behandlungsstrategien. Christin schaut sich zum Beispiel an, was passiert, wenn mehrere Antibiotika gleichzeitig oder abwechselnd während der Behandlung gegeben werden. In diesen Fällen käme es dazu, dass die Bakterien nicht nur gegen die einzelnen Antibiotika resistent werden können, sondern auch gegen mehrere. Allgemein zeigt die Verwendung mehrerer Antibiotika während einer Behandlung einen hohen Erfolg und bietet uns eine mögliche Strategie im Kampf gegen die Antibiotikaresistenz.

Damit uns dies gelingt, müssen wir verstehen, was genau während einer Behandlung mit Antibiotika in der Bakterienpopulation passiert. Hier kommt nun (unter anderem) die Mathematik ins Spiel. Mit Hilfe sogenannter mathematischer Modelle können wir die evolutionären Prozesse während

einer Antibiotika-Behandlung nachstellen und uns anschauen, wie eine Behandlung auf die nicht-resistenten und die resistenten Bakterien wirken. Das bedeutet, ein mathematisches Modell stellt einen bestimmten Prozess (einen Teil der Realität) vereinfacht dar.

Schauen wir uns als Beispiel eine Population von Bakterien an, die wir mit einem wirksamen Antibiotikum behandeln. Wir müssen uns nun überlegen, welche Ereignisse während der Behandlung in der Bakterien Population vorkommen können. Die Bakterien können sich teilen oder sterben. Bei der Zellteilung kann es zudem zu einer Mutation kommen, die zu einer Resistenz führt. Das bedeutet, neben den Bakterien für die das Medikament wirksam ist (wir nennen dies Wildtyp (W)), müssen wir einen zweiten Typen von Bakterien anschauen (dies nennen wir Mutant (M)). Auch die Mutanten können sich teilen und absterben. Diese Ereignisse finden in bestimmten Raten statt, d.h. es gibt pro Typ eine Zellteilungsrate (die wir mit  $\lambda$  und bezeichnen) und eine Sterberate (die wir mit  $\mu$  und bezeichnen). Die Mutationswahrscheinlichkeit ist  $u$ . Fassen wir die Ereignisse noch einmal in einer Zeichnung zusammen:

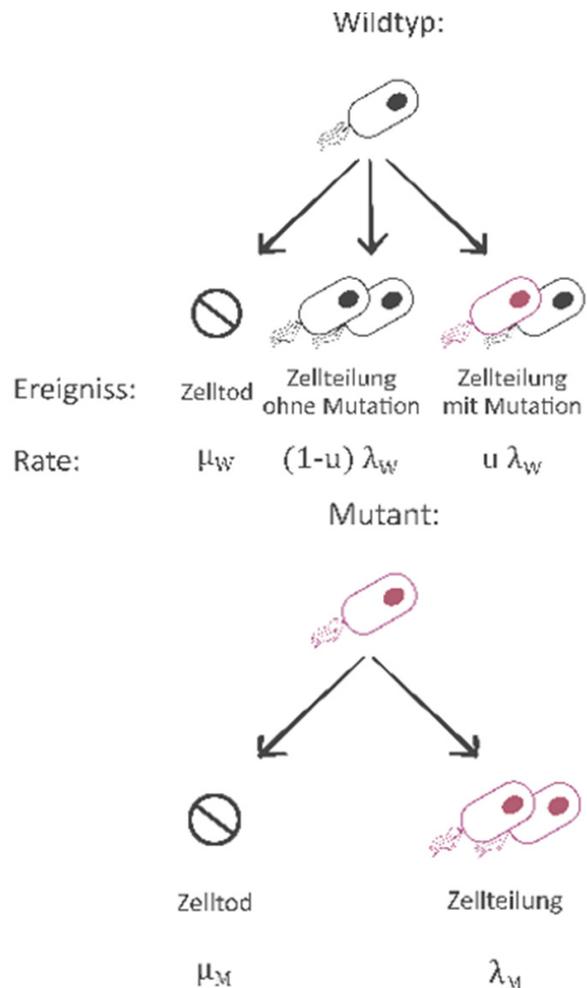
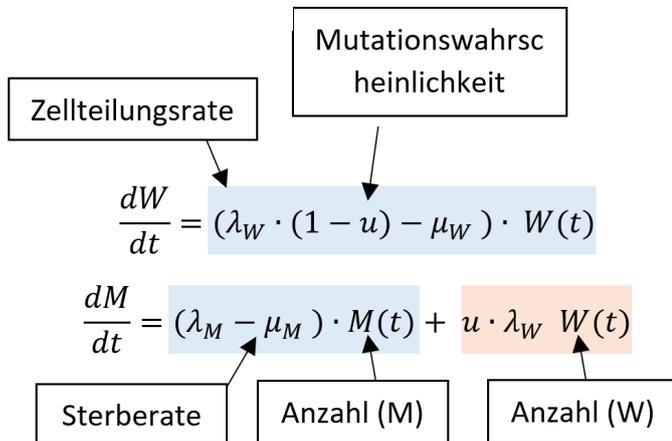


Abbildung 1. Die mathematische Darstellung der Behandlung eines Bakteriums mit Antibiotika

Wir wollen nun Funktionen mit Hilfe einer Differentialgleichung (d) aufstellen, die die Anzahl der Bakterien eines Typs über den Zeitverlauf beschreiben. Nennen wir diese für die Anzahl der Wildtypen und für die Anzahl der Mutanten. Wir leiten diese über sogenannte Differentialgleichungen her. Dies sind die Ableitung der Funktionen () und beschreiben wie schnell sich die Populationsgröße verändert:



Die blauen Kästen beschreiben wie schnell die Bakterien eines Typs wachsen (also wie viele neue Bakterien des gleichen Typs durch Zellteilung entstehen und wie viele absterben). Der orange Kasten beschreibt wie viele Bakterien vom Wildtyp ( $W$ ) während der Zellteilung mutieren und dadurch die Anzahl der Mutanten erhöhen. Diese Differentialgleichungen müssten nun gelöst werden, um die Funktionen und zu erhalten.

Je nachdem, wie wir nun die Werte für die jeweiligen Raten auswählen, können wir verschiedene Szenarien durchspielen: Was wäre zum Beispiel, wenn das Antibiotikum einen Einfluss auf die Teilungs- statt auf die Todesrate hätte? Wie hoch müsste die Todesrate (im Vergleich zur Teilungsrate) sein, damit die Wildtypen so schnell aussterben, dass gar keine Mutanten mehr entstehen können?

Mit Hilfe dieser Modelle können somit Behandlungsstrategien etwa bei Antibiotika wirksamer und effizienter geplant und umgesetzt werden.

## AUFGABEN

- 1 Beschreibe in eigenen Worten, was eine Resistenz ist.
- 2 Wie müssten die Sterberaten des Wildtypen und des Mutanten im Vergleich zu den Teilungsraten aussehen, damit die Behandlung eine für den Wildtypen wirksame und für den Mutanten unwirksame Behandlung darstellt?
- 3 Recherchiere im Internet, wo man außerhalb dieses beschriebenen Beispiels in der Forschung noch Mathematik in der biologischen Anwendung benötigt (hier findest du Beispiele von Absolventen des Mathematik Studiengangs der Uni Lübeck: <https://www.youtube.com/@matheleben>)  
[Diese sind aber nicht alle zu biologischen Anwendungen]

Oder (Alternative zur Aufgabe 3): Nimm Stellung dazu, warum eine Behandlung mit mehreren Antibiotika erfolgreicher gegen die Resistenzbildung von Bakterien sein kann.

## EXPERTENGRUPPE 2

# GESCHLECHT, LEBENSSTRATEGIE UND IMMUNANTWORT

Seit über 1.2 Milliarden Jahren beschäftigt sich das Tierreich mit elementaren und vielfältigen Fragen von Sex (biologisches Geschlecht) und Gender (soziales Geschlecht). Dabei meint das biologische Geschlecht eine Einteilung von individuellen Lebensweisen nach der Produktion von Keimzellen (Spermien und Eier) ungleicher Größe und Aussehens (Anisogamie). Ein evolutionärer Prozess der Anisogamie ist somit die unterschiedliche Erscheinungsform und die Verhaltensweise von einem Merkmal männlicher und weiblicher Individuen der gleichen Art. Sie wird auch sexueller Dimorphismus genannt. Dieser Unterscheid kann dauerhaft oder zeitweise auftreten (siehe Abb 1). Der sexuelle Dimorphismus ist ebenfalls für die Evolutionsbiologie von Interesse. Als mögliche Erklärung dieses Phänomens deuten sich unterschiedliche Lebensstrategien und ein Ressourcen- Verteilungs- Konflikt an: Sowohl Männchen als auch Weibchen sind darauf aus, viele Nachkommen zu erzeugen. Weibchen verfolgen dies durch die Stärkung ihres Immunsystems (sexueller Immun- Dimorphismus) und die raus resultierende längere Lebenserwartung. Männchen investieren mehr in die Ornamente<sup>1</sup> und hoffen auf viele Verpaarungen, leben jedoch im Mittel auch kürzer als die Weibchen und haben ein weniger stark ausgeprägtes Immunsystem. Es zeigen sich ebenfalls Unterschiede beim Thema Brutpflege. Weibchen investieren oft mehr Ressourcen in die Brutpflege und Immunantwort, weil dieses mit einem längeren Leben zusammenhängt und auch die Anzahl der Nachkommen meist steigert. Jedoch können die Geschlechterrollen im Tier-

reich nicht immer eindeutig in "weiblich und männlich" eingeordnet werden. Es besteht vielmehr ein Gradient, indem z.B. Weibchen in den meisten Fällen die Nachkommen austragen (z.B. Wölfe oder Pfauen), genauso wie auch Männchen (z.B. bei Seepferdchen oder Seenadeln). In der einzigartigen Evolution der männlichen Schwangerschaft bei Seenadeln und Seepferdchen kann somit die Koevolution von Immunantwort und Lebensstrategie weiter untersucht werden. An dieser Stelle können das biologische Geschlecht und Geschlechterrollen unabhängig voneinander unterschieden werden. Damit befassen sich u. a. die Wissenschaftlerin Prof. Dr. Olivia Roth und ihre Arbeitsgruppe an der Kieler Universität im Bereich der marinen Evolutionsbiologie. Eine aktuelle Forschungsfrage ist daher, ob das Geschlecht (Eier vs. Spermien) oder die Geschlechterrolle (Brutpflege) die Investition in die Immunantwort bestimmt. Die Frage nach Sex oder Gender? Die ersten Erkenntnisse dazu werden im Vortrag zum Darwintag dargestellt.

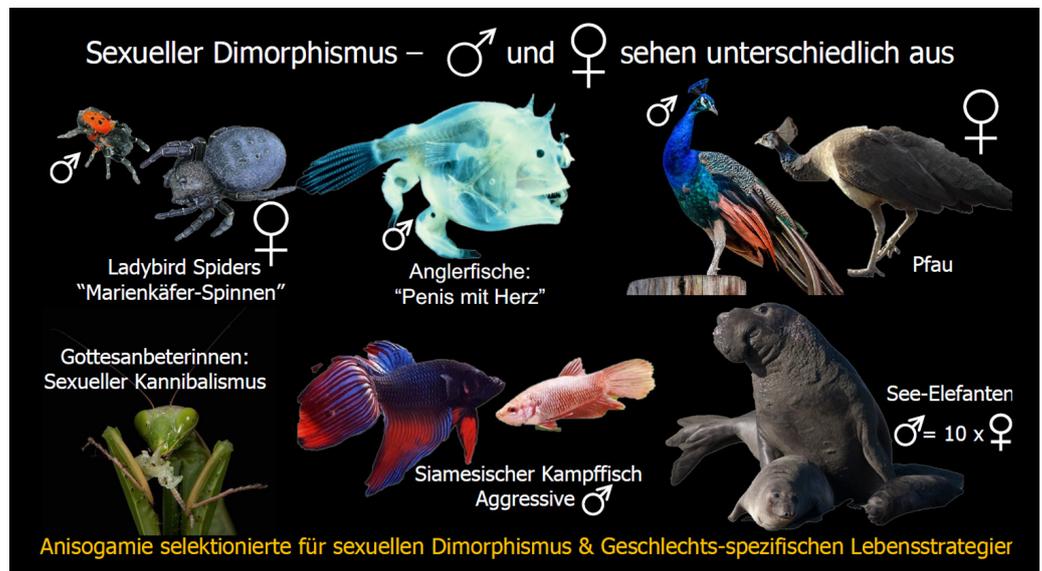


Abbildung 1: Beispiele für sexuellen Dimorphismus

## AUFGABEN

- 1 Beschreibe in eigenen Worten, was sexueller Dimorphismus ist.
- 2 Erläutere, warum sich das Konzept des sexuellen Dimorphismus evolutionär durchgesetzt haben könnte.
- 3 Überlege dir eine mögliche Antwort auf die Forschungsfrage zur Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Olivia Roth „Bestimmt das Geschlecht oder die Geschlechterrolle die Investition in die Immunantwort?“

1 Als **Ornamente** werden sexuell selektierte Körpermerkmale bezeichnet, die bei der Paarungskonkurrenz anderer Männchen eine Rolle spielen können (siehe Abbildung 1 mit Beispielen).

EXPERTENGRUPPE 3

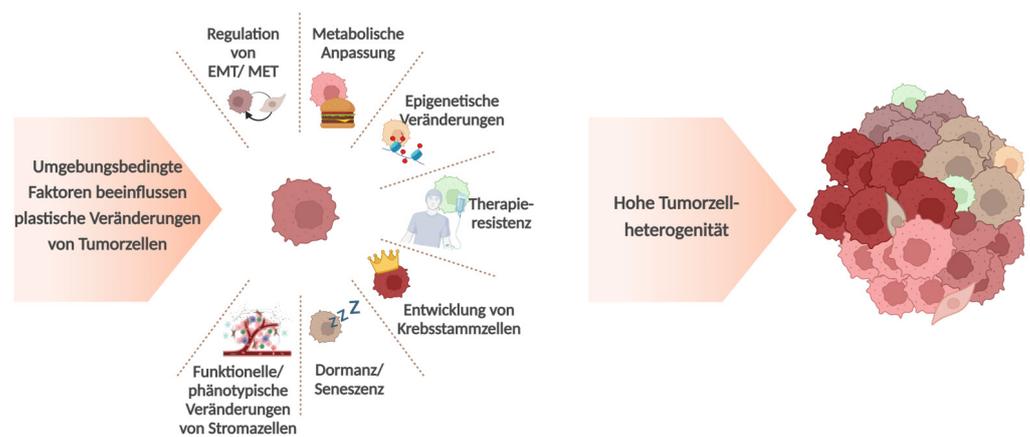
# BAUCHSPEICHELDRÜSENKREBS – FATALE DIAGNOSE, FASZINIERENDE (BEDEUTSAME) FORSCHUNG

Expertengruppe 3: Lautet die Diagnose bei einem Menschen Bauchspeicheldrüsenkrebs (Pankreaskarzinom), so führt diese Krankheit häufig zum schnellen Tod. In Deutschland waren im Jahr 2022 etwa 21.000 Menschen von Bauchspeicheldrüsenkrebs betroffen und aufgrund der insgesamt ungünstigen Prognose sterben auch fast ebenso viele Personen an dieser Erkrankung. Mit einem Anteil von 8,7% (Frauen) bzw. 7,4%(Männer) ist es bei beiden Geschlechtern die vierthäufigste Krebstodesursache. Die Zahl an Neuerkrankungen und Sterbefällen stieg in den letzten Jahren kontinuierlich an, auch aufgrund der immer älter werdenden Bevölkerung und allgemeinen Risikofaktoren. Zu den Risikofaktoren zählen u.a. Rauchen, starkes Übergewicht, hoher Alkoholkonsum, Langzeitdiabetes oder familiäre Vorerkrankungen. Zudem verursachen bösartige Neubildungen der Bauchspeicheldrüse in den frühen Entwicklungsstadien oft keine oder nur unspezifische Symptome, sodass der Tumor häufig erst spät erkannt wird. Die relative 5-Jahres-Überlebensrate<sup>1</sup> ist dementsprechend ausgesprochen ungünstig und liegt in Deutschland für Frauen und Männer bei unter 10 %. Das bedeutet, bei 100 Personen überleben nicht einmal 10 Personen die Erkrankung Pankreaskarzinom. Somit weist das Pankreaskarzinom eine der niedrigsten Überlebensraten unter allen Krebserkrankungen auf.

Funktionen: Zum einen produziert sie Verdauungssäfte, die für die Aufschlüsselung und Zerkleinerung der Nahrung im Darm notwendig sind. Zum anderen bildet sie die Hormone Insulin und Glukagon, die den Blutzuckerspiegel regulieren. Kommt es nun zu einem unkontrollierten Wachstum von veränderten Körperzellen z.B. in der Pankreas, entsteht ein Tumor<sup>2</sup>. Diesen Tumor im Allgemeinen kannst du dir wie eine Wunde vorstellen, die sich nicht wieder verschließt. Bestimmt hast du dich schon einmal geschnitten oder verbrannt und es dauert einige Zeit, aber der Körper schafft es die Wunde zu verschließen. Dies geschieht durch körpereigene Reaktionen wie die Rekrutierung von neuen Zellen oder dem erhöhten Einsatz von Immunzellen, um abgestorbene oder verletzte Zellen zu beseitigen. Diese körpereigenen Reaktionen in der Wunde sind auch beim Tumor vorhanden: Der Körper sendet ein Signal zum Tumorverschluss bzw. zur Tumorbeseitigung durch u.a. Immunzellen. Jedoch kommt es zur Blockade, weil Tumorzellen und das umgebende schützende Gewebe des Tumors (Tumorstroma) umprogrammiert werden. Das Umprogrammieren von körpereigenen Immunzellen und den Tumorstroma bildenden Zellen bedeutet, dass der Tumor Signale, in Form von unterschiedlichsten Botenstoffen, sendet. Diese sorgen dafür, dass die Zellen, die den Tumor eigentlich bekämpfen sollten, ihre Funktion verändern und somit zu tumorfördernden Zellen werden. Dadurch kann dem Tumorwachstum nicht mehr entgegengewirkt werden und die

Dank der Tumorforschung beim Pankreaskarzinom verstehen wir die Tumorzellvielfalt und ihre Bedeutung in der Entstehung dieser Erkrankung zunehmend besser und schaffen damit die Grundlage, neuartige Therapie-strategien zu entwickeln, die helfen, die Prognose dieser Krebserkrankung zu verbessern. Eine Wissenschaftlerin, die an diesem Thema forscht, ist Dr. Lisa Marie Philipp vom Universitätsklinikum Schleswig-Holstein in Kiel (Arbeitsgruppe für experimentelle Tumorforschung). Am Darwin-tag wird sie einige ihrer Forschungserkenntnisse vorstellen und erläutern, wie sie zu ihrer Arbeit in der Krebsforschung gekommen ist.

Die Pankreas übernimmt im Körper zwei lebenswichtige



**Abbildung 1. Der Zusammenhang von Tumorzellplastizität und Tumorerheterogenität beim Pankreaskarzinom.** Unterschiedlichste umgebungsbedingte Faktoren können dafür sorgen, dass Tumorzellen plastische Veränderungen durchlaufen. Jedoch verändern sich die Tumorzellen nicht alle auf dieselbe Weise, sondern immer unterschiedlich. Dies führt dazu, dass Tumore nicht nur aus einer Zellart bestehen, sondern aus vielen Zellen mit diversen unterschiedlichen Eigenschaften. (EMT=Epitheliale-Mesenchymale-Transition)

1 Damit ist gemeint, wer mit der Diagnose Pankreaskarzinom nach fünf Jahren noch überlebt hat.  
 2 Gutartige (benigne) Tumorzellen grenzen sich klar von den gesunden Zellen ab, während bösartige (maligne) Tumorzellen in das umliegende Gewebe einwachsen (Infiltration) und es zerstören (Destruction). In diesem Arbeitsblatt wird vor allem auf bösartige Tumore eingegangen.

ankommenden neuen Zellen unterstützen den Tumor vielmehr, als dass sie diesen bekämpfen.

Ein Pankreaskarzinom verfügt über eine große zelluläre Vielfalt. Diese besteht aus Krebsstammzellen, die essentielle Eigenschaften (ähnlich den körpereigenen Stammzellen) besitzen, wie die Selbsterneuerung oder Differenzierung in verschiedene andere Zellen. Dazu kommt eine Vielzahl an Immunzellen und das neuartige Gewebe um den Tumor, das Tumorstroma. Das Tumorstroma besteht aus Immunzellen, Blutgefäßen, extrazellulären Matrix-Komponenten und aktivierten Fibroblasten, die in der Regel das Bindegewebe bilden. Diese Zellen werden vom Tumor übernommen und zu tumorunterstützenden Zellen umfunktioniert. All diese Zellen sind unterschiedlich in ihrer Gestalt, Kerngröße und Kernform sowie Genetik. Diese Tumorheterogenität zeigt sich beispielsweise, wenn verschiedene am Pankreaskarzi-

nom erkrankte Patienten auch unterschiedliche Veränderungen der Erbinformationen (Mutationen) aufweisen. Ein Grund dafür ist wohl die Fähigkeit der Tumorzellen, variabel auf unterschiedliche Signale und Faktoren aus der Mikroumgebung zu antworten (hohe Tumorzellplastizität). Zu diesen Faktoren zählt z.B. Sauerstoffmangel bedingt durch eine verminderte Blutversorgung oder die Reaktion auf chemotherapeutische Substanzen. Diese Anpassungsmechanismen und die genetische Heterogenität der Tumore zeigen sich auch in einer zunehmenden Resistenz gegen gängige Therapiemaßnahmen, indem z.B. Tumorzellen Genprodukte wie Proteine bilden, durch die Chemotherapeutika<sup>3</sup> nicht mehr wirken oder wieder schnell aus der Zelle transportiert werden können. Des Weiteren kann ein aktives Tumorstroma eine Barriere für den Tumor bilden, was ihn abschirmt und somit unangreifbar macht.

## AUFGABEN

- 1 Nenne mögliche Risikofaktoren für die Entstehung eines Pankreaskarzinoms.
- 2 Erkläre in eigenen Worten, was Heterogenität und Plastizität bei einem Tumor bedeutet.
- 3 Die Therapie des Pankreaskarzinoms stellt die Medizin noch vor große Herausforderungen.

Nimm Stellung dazu, welche Ansatzmöglichkeiten vielversprechend sein könnten, um das Pankreaskarzinom zu behandeln.

---

3 Chemotherapeutika werden zur Behandlung bösartiger Tumore eingesetzt. Diese Substanzen wirken zielgerichtet an Zellen, die einen raschen Zellteilungszyklus aufweisen und blockieren hier die Vervielfältigung der DNA, was schließlich zum Zelltod führt.

## EXPERTENGRUPPE 4

# DIE EVOLUTION DER KULTURPFLANZEN – ODER WIE DER MENSCH DIE NATUR FÜR SICH NUTZBAR GEMACHT HAT

Seit dem Übergang vom Jäger und Sammler zum Ackerbauer und Viehzüchter vor etwa 12.000 Jahren nutzt der Mensch Pflanzen wie Gerste, Weizen oder Raps für die eigene Ernährung, Fütterung von Nutztieren und als nachwachsenden Rohstoff. Allerdings sind diese Wildpflanzen als Ergebnis der Evolution für die landwirtschaftliche Nutzung nicht geeignet. Daher waren gravierende, genetische Veränderungen nötig, um die heute bekannten Nutzpflanzen zu erzeugen (siehe Abbildung 1). Dieser Prozess ist heute vielmehr mit dem Begriff "Gentechnik" verknüpft.



Abbildung 1:  
Der Unterschied zwischen Wild- (links, mittig) und Kulturpflanze (rechts) anhand von Mais

Auch für aktuelle gesellschaftliche Herausforderungen wie dem Klimawandel können Verfahren der Gentechnik eine große Chance bedeuten. Einige Einsatzgebiete sind z.B. bei zunehmend trockeneren Böden, großen Schädlingsbefällen oder dem Bevölkerungswachstum mit schätzungsweise bis zu zehn Milliarden Menschen bis 2060. Konkret könnte dies bedeuten, die Landwirtschaft nachhaltiger dabei zu unterstützen, Pflanzenarten widerstandsfähiger gegen Hitze und Trockenheit anzupassen z.B. durch weniger Wasserbedarf. Zudem können lokale Nutzpflanzen noch ertragreicher gestaltet werden etwa durch erhöhtes Wachstum. Weitere Ansatzpunkte sind die Artenvielfalt zu erhöhen durch die

Überführung von weiteren Wildarten in neue Kulturpflanzen oder auch Böden effizienter zu nutzen etwa durch angepasste Pflanzen auf Salzböden, die die Phosphateinträge in Böden und Wasser reduzieren oder eine verbesserte Speicherproteinqualität besitzen.

Eine weitere Herausforderung, bei der moderne Methoden der Gentechnik helfen können, ist der zahlreiche Schädlingsbefall von Kulturpflanzen. Viele Kulturpflanzen können nur mit intensiver Pflege des Menschen wie dem Pflanzenschutz überleben. Jedoch verlangen politische Vorgaben an die Landwirte immer weniger chemischen Pflanzenschutz einzusetzen. Dies kann u. a. zu erheblichen Ernteeinbußen führen. Daher können wir mit Methoden der Pflanzenzüchtung zukünftig gezielter Sorten<sup>1</sup> bereitstellen, in denen sich die Pflanzen selber effizient gegen ihre Feinde schützen können. Dies kann durch das Ausschalten von Genen, die das Pathogen zum Befallen der Pflanze braucht (Anfälligkeitsgene), erreicht werden.

In der aktuellen Forschung am Institut für Pflanzenzüchtung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel untersuchen Forschende wie Prof. Dr. Christian Jung aktuell die Resistenz für Schaderreger und behandeln züchterisch nicht heimische Pflanzen wie Quinoa, um diese für die heimische Landwirtschaft zukünftig ertragreich einsetzen zu können (<https://www.plantbreeding.uni-kiel.de>).

Hinsichtlich der Gentechnik beruhen genetische Veränderungen Jahrtausende auf spontanen und zufälligen Mutationen, die ständig stattfinden, und seit knapp 100 Jahren auf induzierten<sup>2</sup> Mutationen beruhen. Dabei wird eine Mutation als spontan ungerichtete, dauerhafte (oder künstlich erzeugte) Veränderung des Genmaterials angesehen. Sie bildet die Grundlage für alle evolutionären Prozesse, bei Tieren als auch bei Pflanzen, und ist die Triebfeder für biologische Veränderung. Beispielsweise finden auf jedem Hektar Ölpflanzen wie Raps im Sommer über 20 Millionen spontane Mutationen statt. In der Züchtung wird sich dieses von uns zu Nutzen gemacht, denn die züchterische Verbesserung und neue Entstehung von Kulturpflanzen beruht auf Mutationen. Das Hervorrufen von Mutationen durch spontane oder gerichtete Veränderungen wird daher Mutagenese genannt. Es zählt als wichtiges Instrument zur Erhöhung der genetischen Variation in der Pflanzenzüchtung, dem Genome Editing. Dabei zielt die induzierte Mutagenese auf die Veränderung eines Gens ab, indem durch chemische Behandlung oder Bestrahlung die Zahl der Mutationen drastisch erhöht wird und so

1 Eine **Sorte** ist eine durch Züchtung entstandene Variante oder Zuchtform einer Pflanzenart. Sie hat bestimmte Eigenschaften, durch die sie sich von anderen Sorten derselben Art unterscheidet. Eine Sorte kann zum Beispiel eine besondere Farbe, Blütenform oder Größe aufweisen.

2 **Induziert** meint im Allgemeinen „bewirken, hervorrufen, auslösen“ von außen oder äußeren Umständen herbeigeführt.

gehofft wird, dass das entsprechende Gen ebenfalls verändert wird. Dabei kann Stelle und Ort der Mutation jedoch nicht verändert werden. Oft kommt es sogar gleich zu mehreren Mutationen in einer Pflanze, sodass die Züchter\*innen wahrscheinlich eine gewünschte Eigenschaft erhalten, aber gleichzeitig z.B. auch zwei weniger gute Veränderungen auftreten können. Zum Vergleich können dies 10.000 Mutationen pro veränderter Pflanze sein, von denen nur eine zur gewünschten Veränderung und damit der erhofften Eigenschaft führt.

Seit über zehn Jahren wurde mit der CRISPR/Cas- Technologie (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic

Repeats) ein Paradigmenwechsel in der Gentechnik eingeführt. Dieses ermöglicht uns nun eine präzise Veränderung an einem genau definierten Sequenzabschnitt des Genoms vorzunehmen. Auf diese Weise kann beispielsweise ein Gen mit einer unerwünschten Funktion ausgeschaltet werden (Knock-out Mutationen). Zudem ermöglichen die neuen Züchtungstechniken einen Zeitgewinn. Bei traditionelleren Methoden wie der chemischen Behandlung oder Bestrahlung braucht man im Durchschnitt etwa 8-14 Jahre, um Arten<sup>3</sup> an aktuelle Herausforderungen anzupassen. Bei neuen Züchtungstechniken kann der Zeitraum etwa auf die Hälfte der Zeit verkürzt werden.

## AUFGABEN

- 1 Beschreibe in eigenen Worten, was eine Mutation ist und führe die Bedeutung für die Evolution [wie dem Genome Editing] weiter aus.
- 2 Erläutere wie sich die CRISPR/Cas- Technologie von bisher verwendeten Techniken zur Erhöhung der Mutationsrate unterscheidet.
- 3 Nimm Stellung in Form eines fiktiven Social Media Beitrages dazu, welche gesellschaftlichen Maßnahmen notwendig sind, damit moderne Gentechnik einen größeren Beitrag zu Themen der Ernährung, Klimawandel oder Landwirtschaft in Deutschland einnehmen kann. Schreibe dazu den Beitrag und überlege dir, wie man dieses auch bildlich unterstützen könnte [Du kannst auch gerne das Internet dafür nutzen, um zu schauen wie Gentechnik auf Gesetzesebene in Deutschland behandelt wird].

---

3 Der **biologische Artbegriff** meint eine Gruppe Organismen mit charakteristischen gemeinsamen Artmerkmalen, die sich von allen anderen Gruppen von Organismen unterscheiden und sich untereinander fortpflanzen und fruchtbaren Nachwuchs erzeugen können. Sie sind anhand äußerlicher und erblicher Merkmale zu bestimmen.