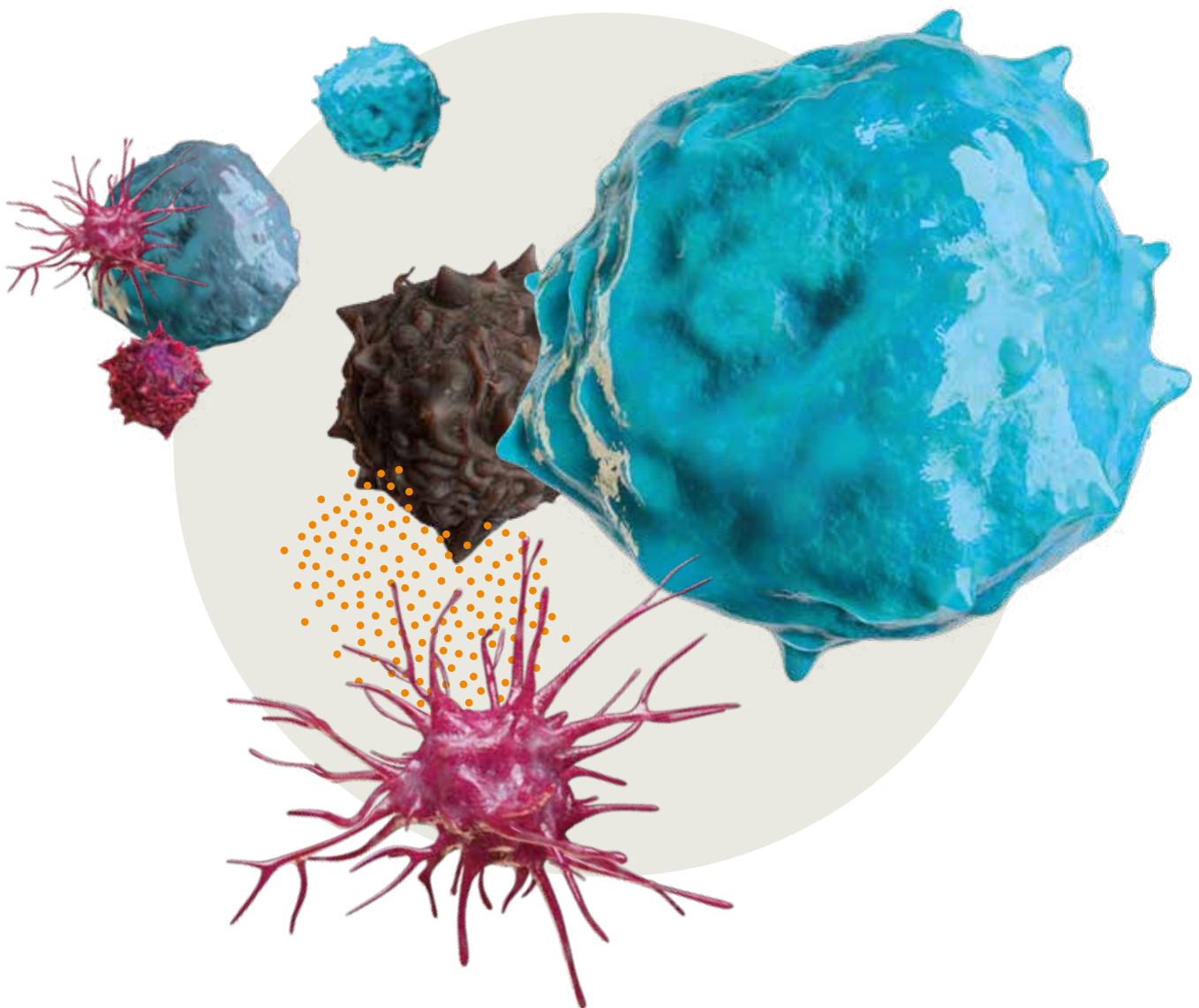


FORSCHUNG UND WISSENSCHAFT IM UNTERRICHT

IMMUNSYSTEM UND KREBS



In Zusammenarbeit mit

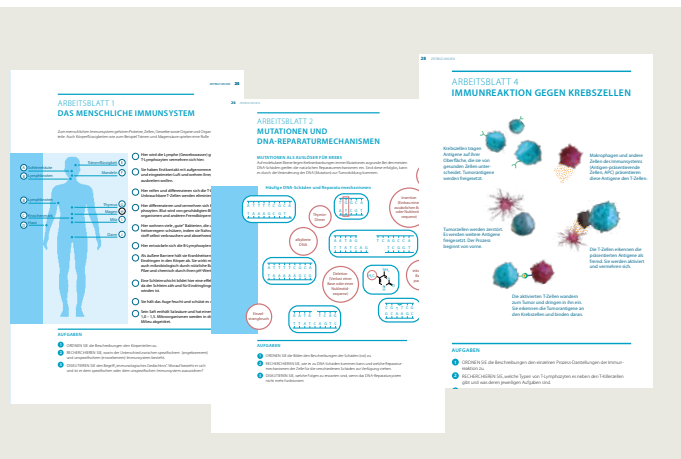
 Bristol Myers Squibb™

INHALT

- 3 Vorwort
- 4 Fortschritt in der Medizin – nur durch Forschung
- 6 Innovationen in der Krebsmedizin
- 8 Das Immunsystem
- 10 Warum entstehen Tumorzellen?
- 12 Die Rolle des Immunsystems bei der Krebsbekämpfung
- 14 Immunonkologie – Das Immunsystem gegen Krebs unterstützen
- 16 Wie entstehen Arzneimittel?
- 18 Zukunftsperspektiven und Forschungstrends in der Krebsmedizin
- 20 Krebs und Gesellschaft
- 22 Zukunftsträchtige Jobs
- 24 Wie kann das Thema im Unterricht behandelt werden?

ARBEITSBLÄTTER

- 25 AB 1: Das menschliche Immunsystem
- 26 AB 2: Mutationen und DNA-Reparaturmechanismen
- 27 AB 3: Was ist Krebs?
- 28 AB 4: Immunreaktion gegen Krebszellen
- 29 AB 5: Immun-Escape – Die Tricks der Tumorzellen
- 30 AB 6: Immunonkologie – Unterstützung für das Immunsystem
- 31 AB 7: Fortschritt in der Medizin – Lebenswichtige Forschung
- 32 AB 8: Auf der Suche nach Wirksamkeit
- 33 Glossar
- 34 Quellen
- 35 Übersicht medizinische Grafikelemente
- 36 Evaluation, Impressum





VORWORT

Liebe Lehrerinnen und Lehrer,

Krebs ist bis heute eine der großen medizinischen und gesellschaftlichen Herausforderungen. Viele Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler arbeiten weltweit an der Klärung der Ätiologie, Entwicklung neuer Medikamente, Diagnosemöglichkeiten und Therapieverfahren gegen Krebserkrankungen.

Dieses sehr aktive Forschungsfeld erweitert unser Wissen und unser Handlungsrepertoire rund um Krebs ständig. In der Folge haben Innovationen durch die Krebsforschung wiederholt wichtige Fortschritte gebracht, die dafür sorgen, dass gegen immer mehr Krebsarten wirksamere Medikamente entwickelt werden können.

In diesem Unterrichtsmagazin erfahren Sie, welche Rolle das Immunsystem bei der Krebsbekämpfung spielt und wie diese neue Wege zur Behandlung eröffnet: Natürliche Killerzellen und T-Zellen erkennen und bekämpfen nämlich nicht nur Krankheitserreger wie Bakterien und Viren, sondern auch Krebszellen. Diese allerdings nutzen sogenannte Escape-Mechanismen, um sich vor dem Immunsystem zu verbergen, und entkommen so der Zerstörung.

Hier setzt die Immunonkologie an und entwickelt Therapien, die das Immunsystem befähigen, Krebszellen trotzdem zu identifizieren und zu bekämpfen. Die Entdeckung dieses Wirkprinzips wurde 2018 mit dem Nobelpreis ausgezeichnet. Inzwischen ist die Immunonkologie als wichtige neue Säule in der Therapie zahlreicher fortgeschrittener Krebserkrankungen fest verankert – neben Operation, Chemo- und Strahlentherapie und der zielgerichteten Therapie.

Das vorliegende Unterrichtsmagazin eignet sich aufgrund des komplexen Sachverhalts für den Einsatz in der Sekundarstufe II, insbesondere für die Auseinandersetzung im Biologieunterricht (Leistungs- und Grundkurs) und in den naturwissenschaftlichen Fächern, sowie Berufsorientierung, Ethik und Sport.

Ich wünsche Ihnen eine interessante Lektüre und viele Einsichten für einen erfolgreichen Unterricht!

Prof. Harald zur Hausen

Nobelpreisträger für Medizin 2008

FORTSCHRITT IN DER MEDIZIN – NUR DURCH FORSCHUNG

Forschung bringt seit Jahrhunderten Innovationen hervor, die die Lebensqualität verbessern, den sozialen Zusammenhalt bewahren, den wirtschaftlichen Wohlstand fördern und die nachhaltige Entwicklung stärken. Neben der allgemeinen Verbesserung der Lebensverhältnisse – zum Beispiel in den Bereichen Hygiene und Ernährung – hat der Fortschritt in der Medizin in den letzten 100 Jahren zu einem bemerkenswerten Anstieg der Lebenserwartung geführt.

BEDEUTUNG DER FORSCHUNG FÜR DIE MEDIZIN

Die Forschung in der Medizin arbeitet an neuen Medikamenten, Therapien und Konzepten. Ziel ist es, Krankheiten zu vermeiden oder zu heilen und dabei das Leiden wirksam zu lindern und insgesamt die Lebensqualität von Patientinnen und Patienten zu verbessern. Dabei befasst sich die medizinische Forschung neben der Entwicklung von Medikamenten zur besseren Behandlung von Krankheiten u. a. auch mit neuen Diagnoseverfahren, Impfstoffentwicklungen und medizinischen Hilfsmitteln.

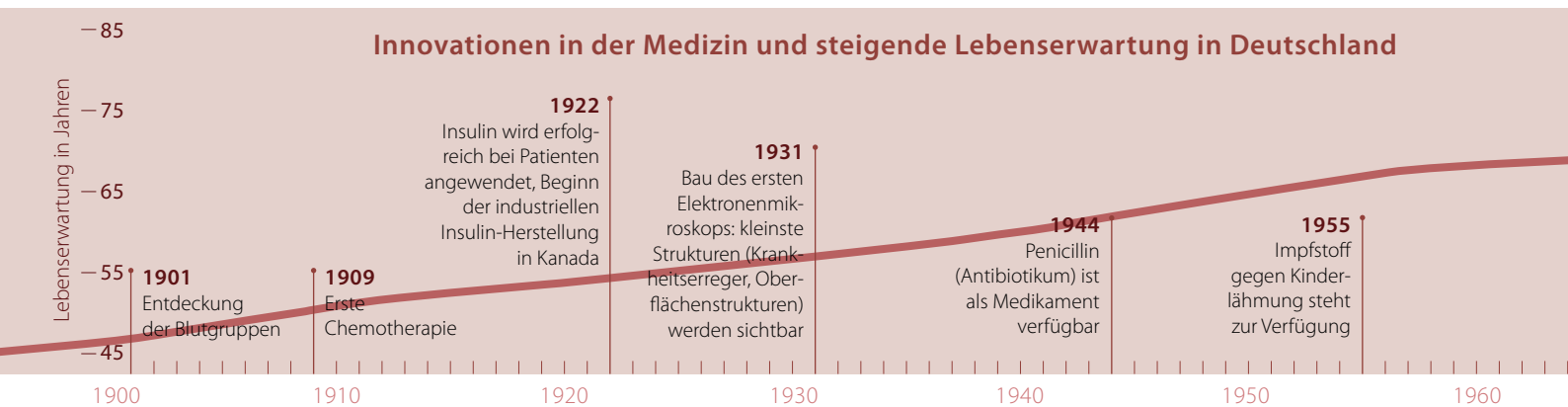
NEUE MEDIKAMENTE IN DEN KOMMENDEN JAHREN (BIS 2023)

In Deutschland arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler laut einer Erhebung aus dem Jahr 2019 an neuen Medikamenten zur Behandlung von über 145 Krankheiten, darunter u. a. Krebs, Alzheimer, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Asthma und Diabetes. Insgesamt 434 Arzneimittelprojekte sind demnach so weit fortgeschritten, dass sie bis Ende 2023 zu einer Zulassung oder Zulassungserweiterung führen könnten.

ZIELSETZUNGEN DER MEDIZIN UND FORSCHUNG

Medizin und Forschung haben ein hohes Ziel: die Gesundheit zu erhalten oder wieder herzustellen. Bei besonders schweren Erkrankungen steht nicht unbedingt die Heilung im Fokus. Auch das Aufhalten des Fortschreitens der Krankheit, ein längeres Überleben und die Verbesserung der Lebensqualität, zum Beispiel durch Schmerztherapie, kann das Ziel von Medizin und Forschung sein.

Quellen: Statistisches Bundesamt 2015 und 2020 (Kurve Lebenserwartung); vfa; pharma-fakten; Land der Gesundheit.



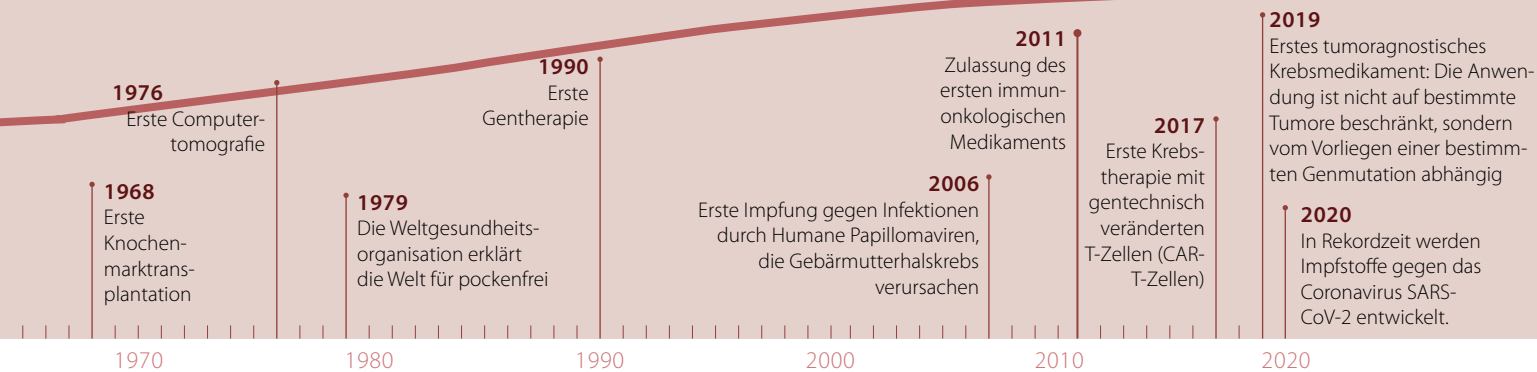
ERFOLGE IN DER MEDIZINFORSCHUNG

Voraussetzung für ein neues wirksames Medikament oder einen neuen Therapieansatz ist die Grundlagenforschung. In den Labors von Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen in Deutschland werden viele der wesentlichen Komponenten des menschlichen Immunsystems entdeckt oder in ihrer Funktionsweise besser verstanden. An diese neuen Erkenntnisse aus der Grundlagenforschung knüpfen Forscherinnen und Forscher von Pharmaunternehmen an, um neue Wirkstoffe und Therapieansätze zu finden und zu erproben. Dieser Prozess, neue Medikamente zu entwickeln, die immer effektiver, mit weniger Nebenwirkungen und immer personalisierter eingesetzt werden, ist aufwendig und auch finanziell risikobehaftet. Wichtige medizinische Erfolge in den vergangenen Jahren zeigen, dass es sich lohnt:

- Heute ist Hepatitis C fast immer heilbar, da hier entsprechend moderne Medikamente die Virusvermehrung effektiv blockieren. Die Grundlagenforschung dazu wurde 2020 mit dem Medizinnobelpreis ausgezeichnet.
- Mit modernen Medikamenten können HIV-Infizierte heute – abgesehen von den Nebenwirkungen und der notwendigen Vorsicht, niemanden anzustecken – ein weitgehend normales Leben führen.
- Seit 2020 wendet sich die Aufmerksamkeit auf die Medizin- und Impfstoffforschung im Zusammenhang mit der Corona-Pandemie. Hier konnten binnen kurzer Zeit mehrere SARS-CoV-2-Impfstoffe entwickelt und zugelassen werden.

FORSCHUNG IN DER KREBSMEDIZIN

Die Forschung im Bereich der Krebsmedizin ist Innovationstreiber bei der Entwicklung von Medikamenten mit neuen Wirkstoffen. Viele der derzeit laufenden Arzneimittel-Zulassungsverfahren betreffen neue Medikamente gegen verschiedene Krebserkrankungen.



INNOVATIONEN IN DER KREBSMEDIZIN

Krebs ist seit vielen Jahren eine große medizinische Herausforderung. Dafür gibt es verschiedene Gründe: Zum einen ist Krebs ein komplexes Krankheitsgeschehen – z. B. geht die Forschung heute allein bei Lungenkrebs von mindestens zwei Dutzend Varianten aus. Zum anderen hat die Zahl der Menschen, die jährlich die Diagnose Krebs erhalten, seit den 1980er-Jahren aufgrund der demografischen Entwicklung um 75 Prozent zugenommen, denn Krebs ist überwiegend eine Erkrankung des höheren Alters. Gleichzeitig zeigt sich seit Jahren der Erfolg der medizinischen Forschung in der Krebsmedizin: Die Krebssterberate sinkt.

KREBSERKRANKUNGEN SIND SCHWERPUNKT DER MEDIZINFORSCHUNG

Fast jeder zweite Mensch in Deutschland erkrankt im Laufe seines Lebens an Krebs. Deshalb ist es wichtig, dass Fortschritte durch Innovationen dafür sorgen, dass gegen immer mehr Krebsarten immer bessere Medikamente entwickelt werden. Viele der derzeit laufenden Arzneimittelentwicklungen und Zulassungsverfahren betreffen neue Medikamente gegen Krebserkrankungen wie der Bauchspeicheldrüse, der Blase, des Darms, der Leber, der Haut und der Lunge.

Welche Behandlungsmöglichkeiten gibt es bei Krebs?

Therapie richtet sich direkt gegen die Krebszelle



CHEMOTHERAPIE: Verhinderung der Zellteilung



OPERATION: Entfernung des Tumors



STRALENTHERAPIE: Zerstörung der Krebszelle



ZIELGERICHTETE THERAPIE, ANTI-HORMONTHERAPIE:
Eingriff in den Stoffwechsel der Krebszellen; diese werden
im Wachstum gehemmt

Therapie stimuliert die körpereigene Tumorabwehr



UNSPECIFISCHE IMMUNOTHERAPIE, IMMUNONKOLOGIE:
Bekämpfung der Krebszelle durch das eigene Immunsystem

Steigerung der Überlebensraten von Krebspatienten (2015/16 im Vergleich zu 1970/74)

262,5 %

Steigerung bei Männern mit Leukämie

153,9 %

Steigerung bei Frauen mit Magenkrebs

122,9 %

Steigerung bei Frauen mit Nierenkrebs

50 %

Steigerung bei Prostatakrebs

139,5 %

Steigerung bei Männern mit Melanom (Form von Hautkrebs)

BEDEUTUNG VON MEDIZININNOVATIONEN FÜR KREBSPATIENTEN

Heilungschancen, Überlebensdauer und Lebensqualität der Patientinnen und Patienten von verschiedenen Krebserkrankungen verbessern sich kontinuierlich. Seit 1990 ist die Sterblichkeit von Krebspatienten um 25 Prozent gesunken. Dazu beigetragen haben vor allem Krebsmedikamente mit neuartigen Wirkprinzipien, aber auch bessere Diagnostik und neue Operations- und Bestrahlungstechniken. Zum Beispiel führte ein seit 2011 zugelassenes neuartiges Antikörperpräparat zur Verdoppelung der Überlebenschancen von Patienten mit Diagnose bösartiger metastasierender Hautkrebs.

IMMUNONKOLOGIE: DIE MODERNE TUMORTHERAPIE

Eine neue Säule in der Krebsmedizin mit großem Potenzial ist die Immunonkologie. Diese innovative Therapieform erhält immer mehr Bedeutung für die Behandlung von verschiedenen Krebsarten. Dabei aktivieren und unterstützen immunonkologische Therapieansätze erstmals in der Krebsmedizin das körpereigene Immunsystem in seinem Kampf gegen Krebs. Im Jahr 2011 erfolgte die erste Zulassung einer immunonkologisch wirksamen Substanz. Mittlerweile sind bereits mehrere immunonkologische Therapieansätze im Einsatz, die für verschiedene Krebserkrankungen zugelassen sind.

Quelle: Vfa: Krebsmedikamente: Überlebenszeiten steigern, 2019.

PIONIERE DER IMMUNONKOLOGIE ERHALTEN HÖCHSTE AUSZEICHNUNG

Die langjährige Grundlagenforschung von James Allison und Tasuku Honjo zu den sogenannten Immuncheck-point-Inhibitoren, einer Wirkstoffklasse aus dem Bereich der Immunonkologie, wurde 2018 mit dem Nobelpreis für Medizin ausgezeichnet.



ONKOLOGIE

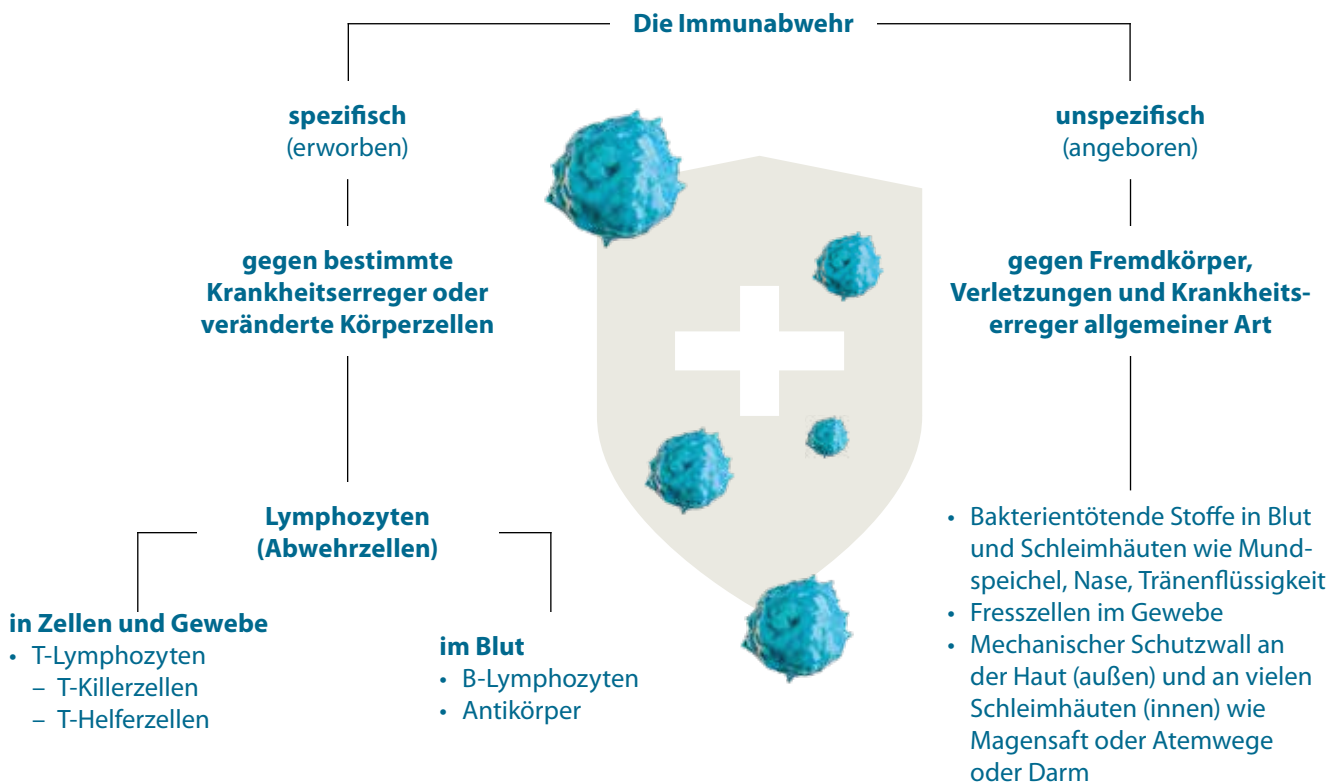
(von altgriechisch onkos = „Anschwellung“), Teilgebiet der Inneren Medizin, das sich mit Prävention, Diagnostik, Therapie und Nachsorge maligner Erkrankungen (Krebs) beschäftigt.

TIPP: Bei YouTube finden Sie im Kanal „Nobel Prize“ Videos zur Nobelpreisverkündung und Auszeichnungsveranstaltung sowie zwei Interviews mit den beiden Preisträgern. Geben Sie dazu im Suchfeld „James P. Allison“ und „Tasuku Honjo“ ein.

DAS IMMUNSYSTEM

Das Immunsystem gehört neben dem Nervensystem zu den komplexesten Systemen im menschlichen Körper und ist die leistungsstarke und wirksame körpereigene Abwehr. Diese wird durch ein Zusammenspiel aus bestimmten Zellen, Signalstoffen und Geweben gebildet und verteidigt den Organismus gegen äußere Eindringlinge und körperfremde Stoffe wie Bakterien, Parasiten und Viren. Das Immunsystem kann auch Krebszellen als schädlich erkennen, sie bekämpfen oder unter Kontrolle halten. Die Abwehr des Immunsystems findet auf unterschiedlichen Ebenen im Körper statt. Die Bestandteile dieser Immunabwehr werden in unspezifische und spezifische Abwehr unterteilt.

Spezifische (erworbene) und unspezifische (angeborene) Immunabwehr im Überblick



DAS GESUNDE ABWEHRSYSTEM

Hauptaufgabe des Immunsystems ist es, Krankheitserreger wie Bakterien und Viren, die in den Körper eingedrungen sind, zu erkennen und zu beseitigen.

Die zelluläre Abwehr

Die zelluläre Abwehr besteht aus spezialisierten Immunzellen, den Leukozyten, die im Knochenmark gebildet werden.

- B-LYMPHOZYTEN reifen im Knochenmark und bilden nach Kontakt mit Viren und Bakterien Antikörper, die zur humoralen Abwehr gehören
- T-LYMPHOZYTEN reifen in der Thymusdrüse und können weiter unterteilt werden in
 - T-KILLERZELLEN, sie tragen auf ihrer Oberfläche den Eiweißstoff CD8 und werden deswegen auch CD8+-Zellen genannt. Sie erkennen und zerstören von Krankheitserregern befallene Körperzellen.
 - T-HELPERZELLEN, sie tragen auf ihrer Oberfläche den Eiweißstoff CD4 und werden deswegen auch CD4+-Zellen genannt. Sie aktivieren T-Killerzellen und unterstützen B-Lymphozyten bei der Antikörperbildung.

Die humorale Abwehr

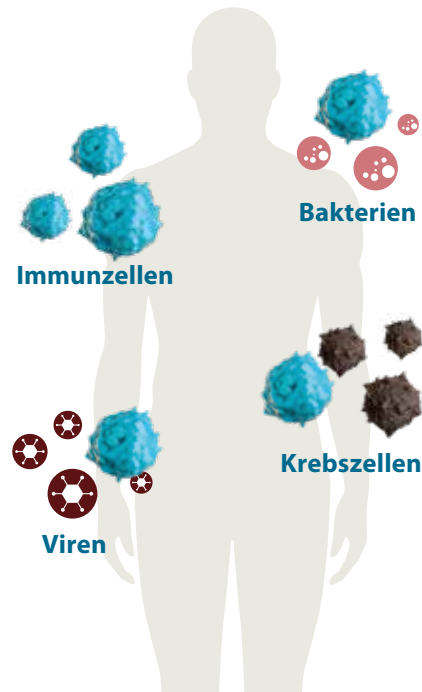
Die humorale Abwehr basiert auf Plasmaproteinen.

- ANTIKÖRPER werden von B-Lymphozyten gebildet und ins Blut ausgeschüttet.
- KOMPLEMENTFAKTOREN sind im ganzen Körper verbreitete Eiweißverbindungen, die sich an Krankheitserreger und andere Fremdstoffe binden. Dadurch werden Fremdstoffe unschädlich gemacht und markiert, sodass Zellen des Immunsystems sie angreifen können.
- INTERLEUKINE sind für die Kommunikation zwischen den Zellen des Immunsystems zuständig.

ABLAUF DER ABWEHRREAKTION

Alle Zellen tragen auf ihrer Oberfläche besondere Eiweiß- und Kohlenhydratstrukturen, die als Antigene fungieren. Die Makrophagen erkennen anhand der für den Körper fremden Antigene, dass sie es mit Eindringlingen zu tun haben, die bekämpft werden müssen, und zerstören diese durch Phagozytose. Ist die Anzahl der Krankheitserreger durch die unspezifische Abwehr nicht eindämmbar, folgen spezifische Abwehrreaktionen des Körpers. Die T-Helferzellen aktivieren die B-Lymphozyten, die Abwehrstoffe, sogenannte Antikörper, gegen die Krankheitserreger bilden. Antikörper besitzen eine Y-förmige Gestalt, deren kurze Arme wie beim Schlüssel-Schloss-Prinzip genau auf die Antigene der Krankheitserreger passen. Von den T-Helferzellen werden auch die T-Killerzellen informiert und aktiviert. Gleichzeitig werden bei den B- und T-Zellen spezifische Gedächtniszellen gebildet, die über Jahre im Körper erhalten bleiben. Bei einem Zweitkontakt der Gedächtniszellen mit demselben Antigen erfolgt eine schnellere und stärkere Vermehrung der spezifischen T-Killerzellen oder B-Zellen.

Das Immunsystem: Körpereigene Abwehr gegen Viren, Bakterien und Krebszellen



DAS REGULIERENDE IMMUNSYSTEM

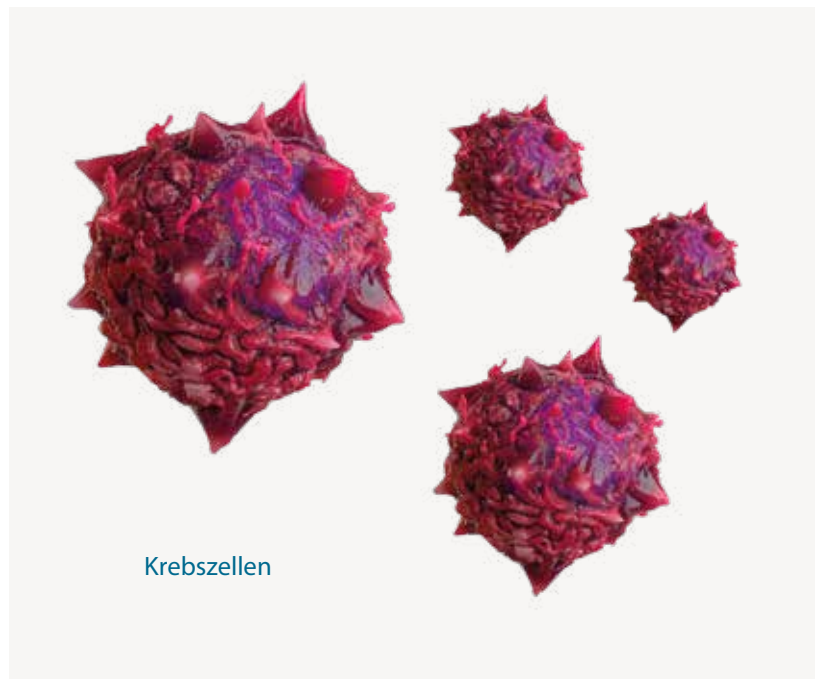
Das Immunsystem ist nicht immer gleich aktiv. Je nach Anforderung befindet sich ein funktionierendes Immunsystem in einer Dynamik von Hoch- und Herunterregulation: Nach einer erfolgreichen Abwehrreaktion ist es für den Organismus von großer Bedeutung, dass das Immunsystem wieder auf das normale Aktivitätsniveau zurückkehrt bzw. herunterfährt. Geschieht das nicht, kommt es zu einer sogenannten überschießenden Immunabwehr. In der Folge würde das bedeuten: Das Immunsystem ist zu aktiv und beginnt körpereigene Zellen anzugreifen, wie es sich in Autoimmunreaktionen wie Allergien oder chronischen Entzündungen zeigt. Auch Krebszellen machen sich diese Möglichkeit, das Immunsystem durch bestimmte Signalstoffe auch wieder abschalten zu können, zunutze.

WARUM ENTSTEHEN TUMORZELLEN?

Krebs ist eine Krankheit, die durch das unkontrollierte Wachstum einer Zelle entsteht. Die Ursache des Wachstums ist immer eine Folge von Mutationen, von Veränderungen in der DNA speziell solcher Gene, die wucherndes Zellwachstum in Gang setzen. Diese Zelle mit defektem Erbgut kann durch körpereigene Reparaturmechanismen nicht mehr repariert und durch verschiedene Abwehrmechanismen nicht mehr in Schach gehalten werden. So kommt es zu einer unkontrollierten Vermehrung dieser Zelle und in ihrer Folge zu einer übermäßigen Gewebeneubildung (Neoplasie) und dadurch zum Tumor.

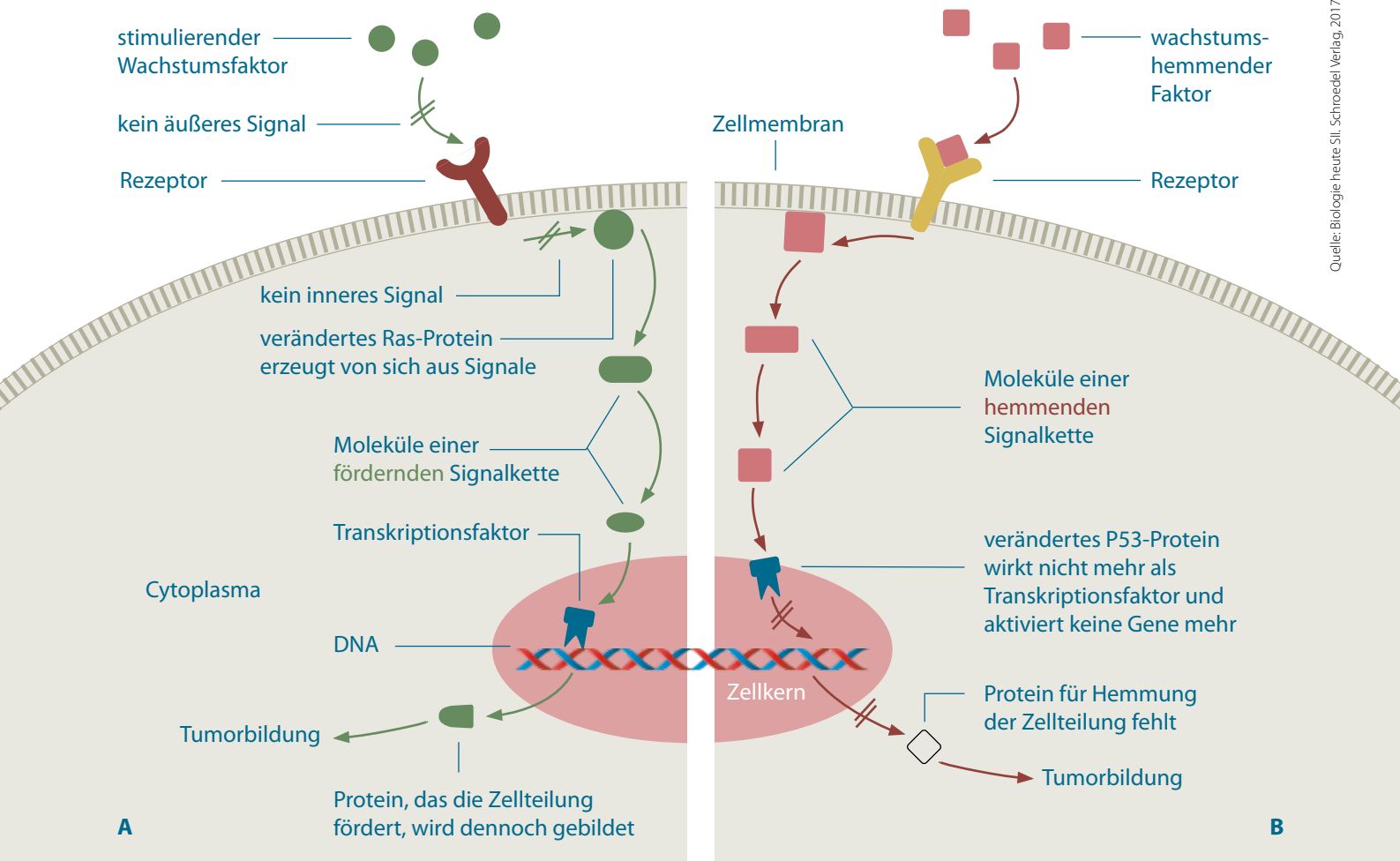
GUTARTIG ODER BÖSARTIG?

Man unterscheidet gutartige (benigne) von bösartigen (malignen) Tumoren. Gutartige Tumore verdrängen durch ihr Wachstum zwar das umliegende Gewebe, überschreiten aber die Grenze zu den Nachbargeweben nicht. Der Begriff „Krebs“ steht dagegen für bösartige Tumore. Diese dringen in umliegendes Gewebe ein, wodurch dieses zerstört wird. Außerdem können sich Krebszellen über Blutgefäße oder Lymphbahnen ausbreiten und Absiedlungen (Metastasen) in anderen Geweben und Organen bilden.



Krebsentstehung durch Mutation

Mutation im A: Proto-Onkogen und B: Tumor-Suppressor-Gen



DIE BEDEUTUNG DES GLEICHGEWICHTS ZWISCHEN ZELLTEILUNG UND ZELLTOD

Die Zellteilung ermöglicht es Organismen zu wachsen, sich anzupassen und zu genesen. Bei gesunden Menschen herrscht ein Gleichgewicht zwischen Zellteilung und Zelltod. Bei gesunden Zellen werden die Häufigkeit und der Zeitpunkt der Zellteilung durch Gene, die das Zellwachstum regulieren, gesteuert. Dabei unterscheidet man zwei Typen von Genen: Proto-Onkogene fördern die Zellteilung, Tumor-Suppressor-Gene hemmen die Zellteilung. Die gegenseitige Regulation von Zellen untereinander verhindert, dass sich einzelne Zellen in einem Gewebe zu schnell teilen. Ein Proto-Onkogen kann zum Onkogen (Krebsgen) mutieren. Onkogene stören die Funktion der Genregulation, wodurch Tumore entstehen. Diesen Vorgang nennt man maligne Transformation und er ist von großer Bedeutung für das Verständnis der Krebsentstehung.

DIE ROLLE DER EXOGENEN UND ENDOGENEN FAKTOREN

Auf molekularer Ebene liegen Krebserkrankungen immer Mutationen zugrunde. Deren Entstehung kann von verschiedenen Faktoren beeinflusst werden. Exogene Faktoren sind zum Beispiel chemische Stoffe, Strahlung oder Viren, die die DNA schädigen. Bei den meisten Schäden greifen die natürlichen DNA-Reparaturmechanismen ein. Sind diese erfolglos, können durch die Veränderung der DNA (Mutation) Proto-Onkogene und Tumor-Suppressor-Gene ihre Funktion nicht mehr erfüllen und es kommt zu einem Ungleichgewicht zwischen Zellteilung und Zelltod, das zur Tumorbildung führt.

Endogene Faktoren liegen im Erbgut selbst und sind nicht auf Umwelteinflüsse zurückzuführen. In einigen Fällen und stark abhängig von der Tumorart führt eine angeborene Veranlagung zur Entstehung von Krebs.

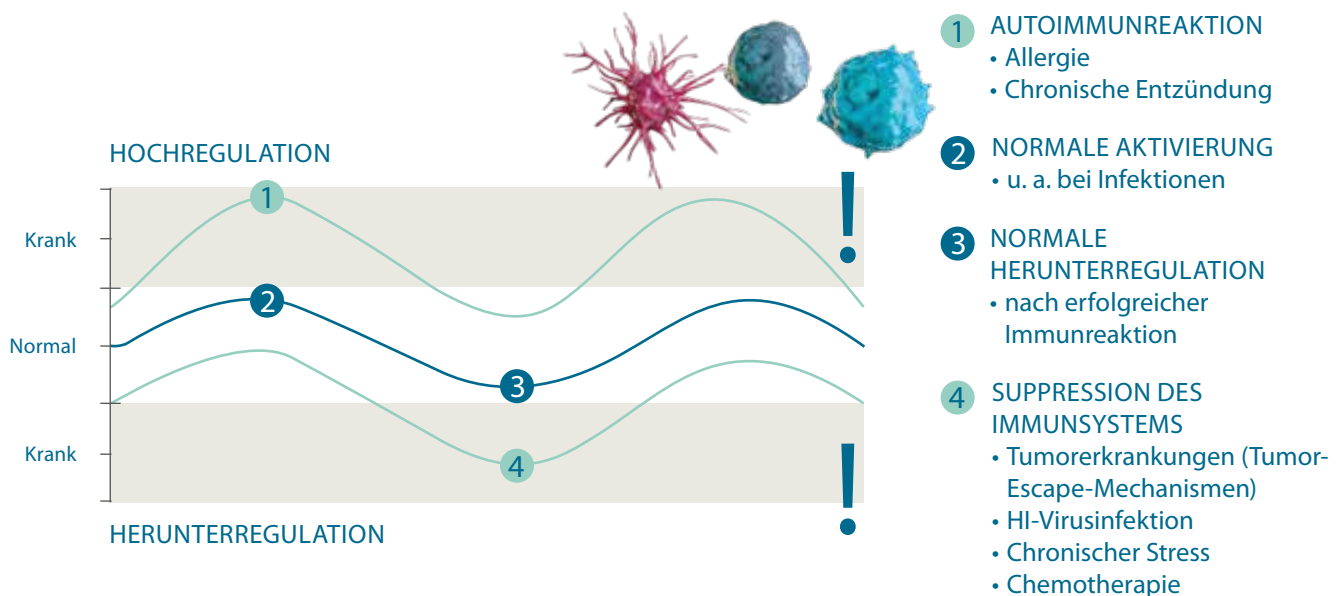
DIE ROLLE DES IMMUNSYSTEMS BEI DER KREBSBEKÄMPFUNG

Bei gesunden Menschen bleibt die Aktivität des Immunsystems in einem Normalbereich. Bei akuten Infektionen steigt sie an, um nach überstandener Krankheit wieder auf ein Grundniveau zu sinken. Diese Regulation kann allerdings auch gestört sein und überschießen, etwa bei Allergien oder Autoimmunerkrankungen. Auch ein herunterreguliertes Immunsystem ist nicht mehr leistungsfähig. Chronischer Stress oder eine Infektion mit dem HI-Virus können Gründe sein. Für das Verständnis der Immunreaktion auf Krebs und den Ansatz der Immunonkologie ist das Verständnis der Dynamik des Immunsystems essenziell.

DIE IMMUNREAKTION GEGEN KREBSZELLEN

Im Gegensatz zu Viren oder Bakterien sind Krebszellen nicht körperfremd, weil sie sich aus körpereigenem Gewebe entwickelt haben. Sie tragen daher immer noch im Vergleich zu Krankheitserregern sehr viele Merkmale des Gewebes, aus dem sie ursprünglich stammen. Trotzdem können Krebszellen vom Immunsystem erkannt werden und eine Abwehrreaktion auslösen, denn Krebszellen tragen bestimmte Antigene auf ihrer Oberfläche, die sich nicht auf gesunden körpereigenen Zellen finden. Diese Antigene werden erkannt und die Immunreaktion beginnt.

Dynamik des Immunsystems



WIRKPRINZIP DER IMMUNONKOLOGIE

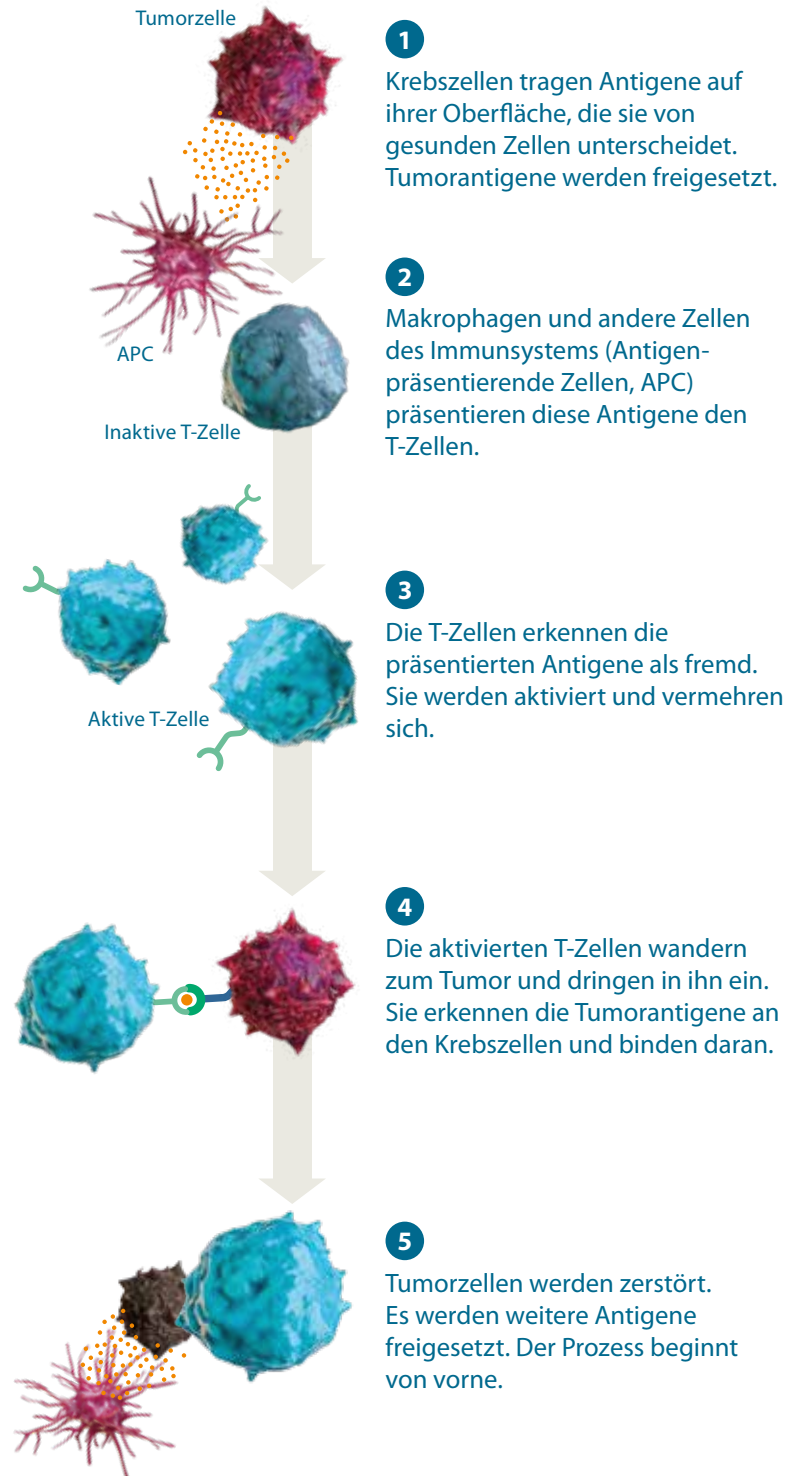
Die Escape-Mechanismen sind Ansatzpunkte für die Immunonkologie. Ihre Therapieansätze sollen das Immunsystem befähigen, die Krebszellen wiederzuerkennen und zu zerstören. Das heißt, eine Immunreaktion wird verstärkt, indem entsprechende Medikamente direkt mit dem Immunsystem der Patienten interagieren, um dessen Fähigkeiten zu fördern, Tumorzellen zu erkennen und gegebenenfalls zu zerstören.

WIE TUMORE DER IMMUNABWEHR ENTKOMMEN

Krebszellen können Mechanismen entwickeln, dem körpereigenen Verteidigungssystem zu entkommen. Mit diesen sogenannten Escape-Mechanismen können sie die Aktivität von T-Zellen und Natürlichen Killerzellen bremsen. Diese erhalten dann kein Signal mehr, Krebszellen anzugreifen, und bleiben inaktiv. Zu diesen Mechanismen gehören unter anderem:

- **TARNUNG:** Fehlt die typische Oberflächenstruktur (spezifische Antigene), an der das Immunsystem Krebszellen erkennen kann, sind die Zellen für das Immunsystem unsichtbar und werden nicht angegriffen. Folge: Die Krebszellen können sich vermehren.
- **UNTERDRÜCKUNG DES IMMUNSYSTEMS:** Krebszellen kann es durch die Freisetzung bestimmter Signalstoffe gelingen, die Immunzellen abzuschalten. Solche inaktive Immunzellen können die Krebszellen nicht mehr angreifen. Folge: Krebs kann sich ungestört im Körper ausbreiten.

Immunreaktion gegen Krebszellen



IMMUNONKOLOGIE – DAS IMMUNSYSTEM GEGEN KREBS UNTERSTÜTZEN

Die Immunonkologie zielt darauf ab, das Immunsystem zu stärken und es dabei zu unterstützen, Krebszellen, die sich durch Escape-Mechanismen verbergen, wiederzuerkennen und so zu eliminieren. Während sich die meisten Behandlungsmethoden direkt gegen den Tumor beziehungsweise die Krebszellen wenden (lokal durch Operation oder Strahlentherapie, medikamentös durch Chemotherapie oder zielgerichtete Therapie), unterstützt die Immunonkologie die körpereigene Abwehr beim Kampf gegen Krebs.

IMMUNONKOLOGISCHE THERAPIEANSÄTZE

Immunonkologische Therapien versuchen, das körpereigene Immunsystem so zu unterstützen, dass sich die Krebszellen dem Angriff der Immunzellen nicht mehr entziehen können. Die eigene, gegen Krebszellen gerichtete Immunreaktion wird wieder aktiviert. Es gibt mehrere immunonkologische Ansätze, für die bereits Medikamente zugelassen sind: Die Hemmung von Immun-Checkpoints und die Aktivierung von Natürlichen Killerzellen sind zwei von ihnen.

HEMMUNG VON IMMUN-CHECKPOINTS

Auf der Oberfläche von T-Zellen gibt es Rezeptoren, die eine Regulation des Immunsystems ermöglichen. Diese Rezeptoren werden Immun-Checkpoints genannt. Durch einen passenden Liganden, der an den Rezeptor bindet, kann die T-Zelle inaktiviert werden. Ligand und Rezeptor passen zueinander wie Schlüssel und Schloss. Diesen Checkpoint-Signalweg nutzen auch die Tumorzellen, denn sie können auf ihrer Oberfläche den Liganden präsentieren: den passenden Schlüssel für das Schloss der T-Zelle. Durch die Bindung des Liganden an den Rezeptor wird die Aktivität der T-Zelle gedrosselt, das Immunsystem wird gebremst.

Im Rahmen der immunonkologischen Krebstherapie erhält der Patient therapeutische Antikörper, die an den Rezeptor der T-Zelle andocken, ohne diese zu inaktivieren. Sie blockieren den Rezeptor, sodass der Ligand der Krebszelle nicht mehr an ihn binden kann. Der Immun-Checkpoint der T-Zelle ist gehemmt, die Zelle bleibt aktiv in ihrem Kampf gegen den Tumor.

DIE AKTIVIERUNG VON NATÜRLICHEN KILLERZELLEN

Natürliche Killerzellen gehören zur angeborenen Immunabwehr und sind spezialisiert auf das Erkennen und Zerstören von Viren und Krebszellen. Als immunonkologische Therapie können Antikörper verabreicht werden, die an die Oberfläche der Natürlichen Killerzellen binden und dadurch deren Aktivität steigern.

Rolle der Immun-Checkpoints und Behandlung mit Immun-Checkpoint-Inhibitoren am Beispiel des Checkpoints PD-1/PD-L1

Auf der Oberfläche von Immunzellen gibt es verschiedene Rezeptoren, die eine Regulation des Immunsystems ermöglichen. Diese Rezeptoren werden Immun-Checkpoints genannt.

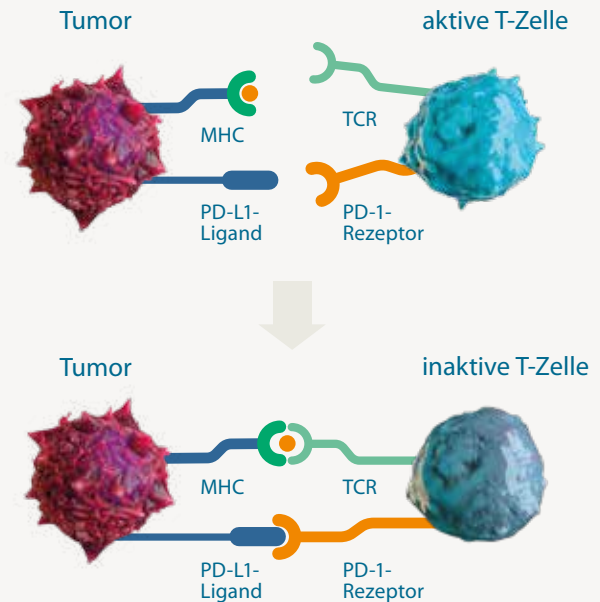
ESCAPE-MECHANISMUS DER TUMORZELLEN ÜBER DEN PD-1-CHECKPOINT-SIGNALWEG

T-Zellen binden über den T-Zell-Rezeptor (TCR) an MHC/Tumor-Antigen der Antigen-Präsentierenden Zellen (APC). Die T-Zelle wird aktiviert. Aktivierte T-Zellen können jedoch über sogenannte Checkpoints (z. B. PD-1/PD-L1) wieder inaktiviert werden.

Dieses Prinzip nutzen auch die Tumorzellen. Die Krebszelle (als APC) exprimiert den passenden Liganden (hier PD-L1), um der Immunantwort zu entkommen: Der PD-L1-Ligand bindet an den PD-1-Rezeptor der T-Zelle. Diese wird inaktiviert. Die Krebszelle kann sich vermehren.

Der Escape-Mechanismus der Krebszelle war erfolgreich.

TCR: T-Zell-Rezeptor
MHC: Major Histocompatibility Complex
PD-1: Programmed cell death protein
PD-L1: Programmed death ligand



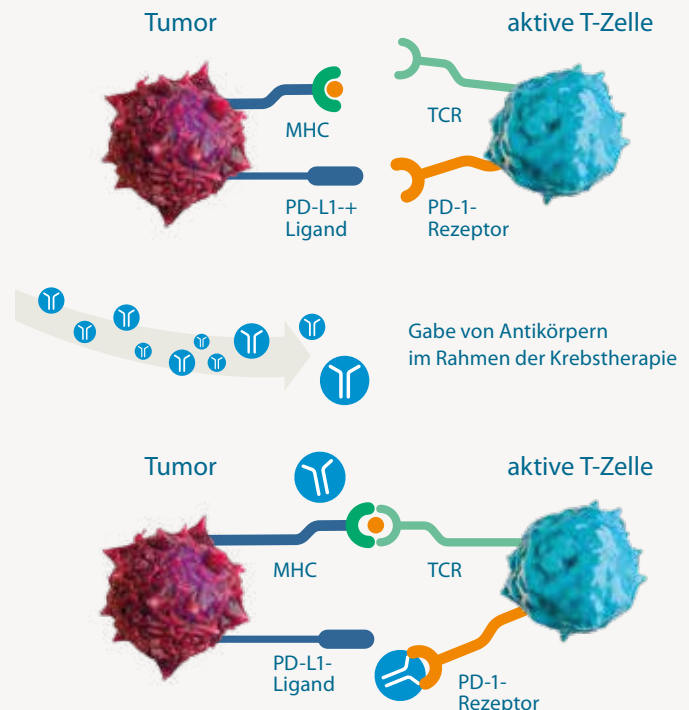
(Vereinfachte Beschreibung und Darstellung der T-Zell-Aktivierung)

TUMORTHERAPIE MIT IMMUN-CHECKPOINT-INHIBITOREN

Checkpoint-Inhibitoren sind Antikörper, die die Checkpoint-Rezeptoren oder Liganden auf den Immunzellen besetzen. Durch eine solche therapeutische Blockade können die Krebszellen die T-Zellen nicht mehr inaktivieren.

Hier exemplarisch anhand eines PD-1 Antikörpers dargestellt: Der PD-1-Rezeptor ist durch einen PD-1-Antikörper blockiert. Die T-Zelle bleibt aktiv und kann die Krebszelle angreifen.

TCR: T-Zell-Rezeptor
MHC: Major Histocompatibility Complex
PD-1: Programmed cell death protein
PD-L1: Programmed death ligand



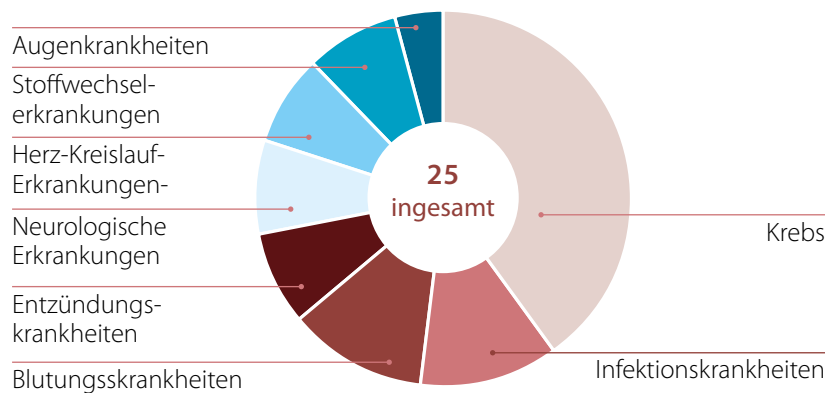
WIE ENTSTEHEN ARZNEIMITTEL?

Die Erforschung, Entwicklung und Bereitstellung moderner Arzneimittel, die immer effektiver, mit weniger Nebenwirkungen und immer personalisierter eingesetzt werden, ist aufwendig und mit hohem Zeit- und Kostenaufwand verbunden. Krebserkrankungen sind ein wichtiger Schwerpunkt in der Medizinforschung und der Arzneimittelentwicklung.



Medikamente mit neuen Wirkstoffen

Im Jahr 2019 wurden in Deutschland 25 neue Medikamente für den Markt zugelassen. 10 davon zielen auf eine bessere Behandlung von Krebs ab.



Entwicklungsstationen eines neuen Medikaments

Mehr als 13 Jahre dauert es meist von der Idee für eine neue Behandlung bis zum zugelassenen Medikament. Dabei werden verschiedene Etappen durchlaufen.



1 Bestimmung des Targets: Bestimmung eines Zielmoleküls, an dem der neue Wirkstoff ansetzen soll. Das Zielmolekül muss zentral für die Entwicklung der Krankheit sein, damit sich der Einsatz des Wirkstoffs lohnt.



2 Suche nach wirksamer Substanz: Die gesuchte Substanz muss das Target beeinflussen. Dafür gibt es verschiedene Möglichkeiten, zum Beispiel die Bindung nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip mit folgender Hemmung, Blockierung oder Aktivierung.



3 Untersuchung des Wirkstoffs: Wenn der Wirkstoff im Körper möglichst zielgenau das Target erreicht und das erwartete Nutzen/Risiko-Verhältnis positiv ist, wird er zum Patent angemeldet.



4 Testung an lebenden Organismen: Tests in vitro (im Reagenzglas) an Zellkulturen und gesetzlich vorgeschriebene Tests an Tieren.



5 Klinische Phase I: Der Wirkstoff wird in der Regel an wenigen gesunden freiwilligen Erwachsenen erprobt (Ausnahme: Onkologie, siehe rechts). Sicherheit und Verträglichkeit stehen ebenso im Fokus wie die optimale Dosierung.



6 Bestimmung der Darreichungsform: Es wird entschieden, in welcher Form der Wirkstoff verabreicht werden soll (z. B. als Tablette, Salbe, Zäpfchen).



7 Klinische Phase II: Tests an einer größeren Patientengruppe. Untersuchung auf Nebenwirkungen.



8 Klinische Phase III: Die Wirksamkeit und die Unbedenklichkeit des Medikaments werden mit vielen – oft mehreren Tausend – Patienten untersucht. Das Medikament sollte der Standardtherapie überlegen sein. Auch zu Wechsel- und Nebenwirkungen werden weitere Erkenntnisse gewonnen.



9 Beantragung der Zulassung: Alle bisherigen Forschungsergebnisse werden bei der zuständigen Arzneimittelbehörde eingereicht.



10 Markteinführung: Das neue Medikament kann im Falle einer durch die Zulassungsbehörde erteilten Zulassung von Ärztinnen und Ärzten eingesetzt werden.

HIGHTECH AUS DEM LABOR

Arzneimittel, die heute entwickelt werden, sind Hightech-Produkte. Sie werden erforscht und entwickelt in den modernsten (gentechnischen) Labors mit der neuesten Analyse- und Synthesetechnik, mithilfe von Hochleistungscomputern und Analyserobotern. Die Forscherinnen und Forscher kooperieren weltweit für neue biomedizinische Erkenntnisse, um am Ende die Zulassung eines neuen Medikaments zu ermöglichen.

AUSNAHME ONKOLOGIE

Bei der Entwicklung von Krebsmedikamenten gibt es einige Besonderheiten im Vergleich zur Entwicklung anderer Medikamente. Onkologische Wirkstoffe werden auch in der klinischen Phase I von Anfang an nur an erkrankten Patienten untersucht. Eigentlich wird in dieser Phase noch nicht auf Wirksamkeit getestet, sondern nur auf Sicherheit, Verträglichkeit und Dosierung. Da onkologische Wirkstoffe aber bereits jetzt an Patienten mit fortgeschrittener Erkrankung eingesetzt werden, für die es keine wirksame zugelassene Therapie gibt, liefert diese Phase schon Erkenntnisse zur Wirksamkeit.

Studien zu neuen Krebsmedikamenten sind in der Regel nicht placebokontrolliert. Placebokontrolliert bedeutet, dass eine Studiengruppe den neuen Wirkstoff, die andere ein Scheinmedikament (Placebo) erhält. So lassen sich psychisch beeinflusste Wirkungen leicht von der tatsächlichen Arzneimittelwirkung abgrenzen. Es wäre allerdings unethisch, Patienten eine wirksame Therapie vorzuenthalten. Neue Wirkstoffe gegen Krebs werden daher in der Regel mit herkömmlichen Therapien verglichen und nicht mit Placebos. So können die Patienten, die nicht die neue Therapie bekommen, sicher sein, dass ihnen die Behandlung zuteil wird, die sie auch ohne Studienteilnahme erhalten hätten.

Eine weitere Besonderheit in der Onkologie: Bei neuen Krebsmedikamenten wird schon vor Beginn der klinischen Phase-I-Studie (Untersuchung der Dosierung und Verträglichkeit am Menschen) entschieden, ob der Wirkstoff zum Beispiel in Form von Tabletten oder als Infusion gegeben wird.

ZUKUNFTSPERSPEKTIVEN UND FORSCHUNGSTRENDS IN DER KREBSMEDIZIN

Fortschritte in der Forschung sowie die Entwicklung neuer Krebsmedikamente haben es ermöglicht, dass heute viele Menschen, die an einer Krebserkrankung leiden, länger und besser leben. Bei einigen Krebsarten gab es in den vergangenen 15 Jahren erhebliche Verbesserungen in der Behandlung. Dazu beigetragen haben vor allem Krebsmedikamente mit neuartigen Wirkprinzipien und neue Operations- und Bestrahlungstechniken. Besonders wichtig sind auch verbesserte und feinere Methoden zur Diagnose, denn je früher der Krebs erkannt und behandelt wird, umso besser sind die Aussichten für die Patienten. Auch wenn bei einigen Tumorarten eine vollständige Heilung in naher Zukunft noch nicht erreicht werden kann, so ist doch Ziel, die Aussichten auf ein längeres Überleben mit möglichst langem Erhalt der Lebensqualität selbst bei fortgeschrittenen Krebserkrankungen zu verbessern.

INNOVATION DURCH ZUSAMMENARBEIT

Forscherinnen und Forscher verfolgen in der Krebsmedizin verschiedene Therapiemöglichkeiten, denn nicht jeder Ansatz eignet sich für jede Tumorart und nicht jeder Patient spricht auf jede Therapie an. Ein enges Zusammenarbeiten zwischen Forschung und behandelnden Ärzten ist deshalb unerlässlich, damit Patienten von Forschungsinnovationen profitieren können.

Die Präzisionsmedizin/individualisierte Medizin, die mit Biomarkern arbeitet, Therapien mit monoklonalen Antikörpern und immunonkologische Therapien sind einige der vielen innovativen Wege. Dabei kann die Krebsmedizin auch aus der Behandlung anderer Krankheiten lernen und andere medizinische Disziplinen wiederum neue Erfahrungen und Verfahren der Krebsmedizin nutzen.

PRÄZISIONSMEDIZIN/INDIVIDUALISIERTE MEDIZIN

Die Präzisionsmedizin, auch individualisierte oder personalisierte Medizin, berücksichtigt individuelle Besonderheiten von Patienten, um eine maßgeschneiderte Therapie anbieten zu können. In der Krebsmedizin werden dazu auch die Eigenschaften des Tumors bestimmt, von denen abhängt, welcher Therapieansatz sich eignet. Unverzichtbar für die Präzisionsmedizin sind Biomarker. Darunter werden alle messbaren Parameter verstanden, die eine Aussage über biologische Prozesse im Körper ermöglichen. Bei Tumoren können zum Beispiel genetische Untersuchungen Aufschluss darüber geben, welche molekularbiologischen Strukturen sich als Ansatz für eine Therapie eignen und welche Therapie in jedem Einzelfall erfolgversprechend ist.

IMMUNONKOLOGISCHE THERAPIEN

Seit dem ersten Medikament im Jahr 2011 wurden verschiedene immunonkologisch wirksame Substanzen von den Gesundheitsbehörden zugelassen. Mittlerweile hat sich die Immunonkologie zu einer tragenden Säule in der Therapie zahlreicher fortgeschrittener Krebserkrankungen entwickelt, unter anderem bei der Behandlung von Lungen-, Nieren- und Blasenkrebs, des Multiplen Myeloms (einer Form von Blutkrebs) sowie schwarzem Hautkrebs.

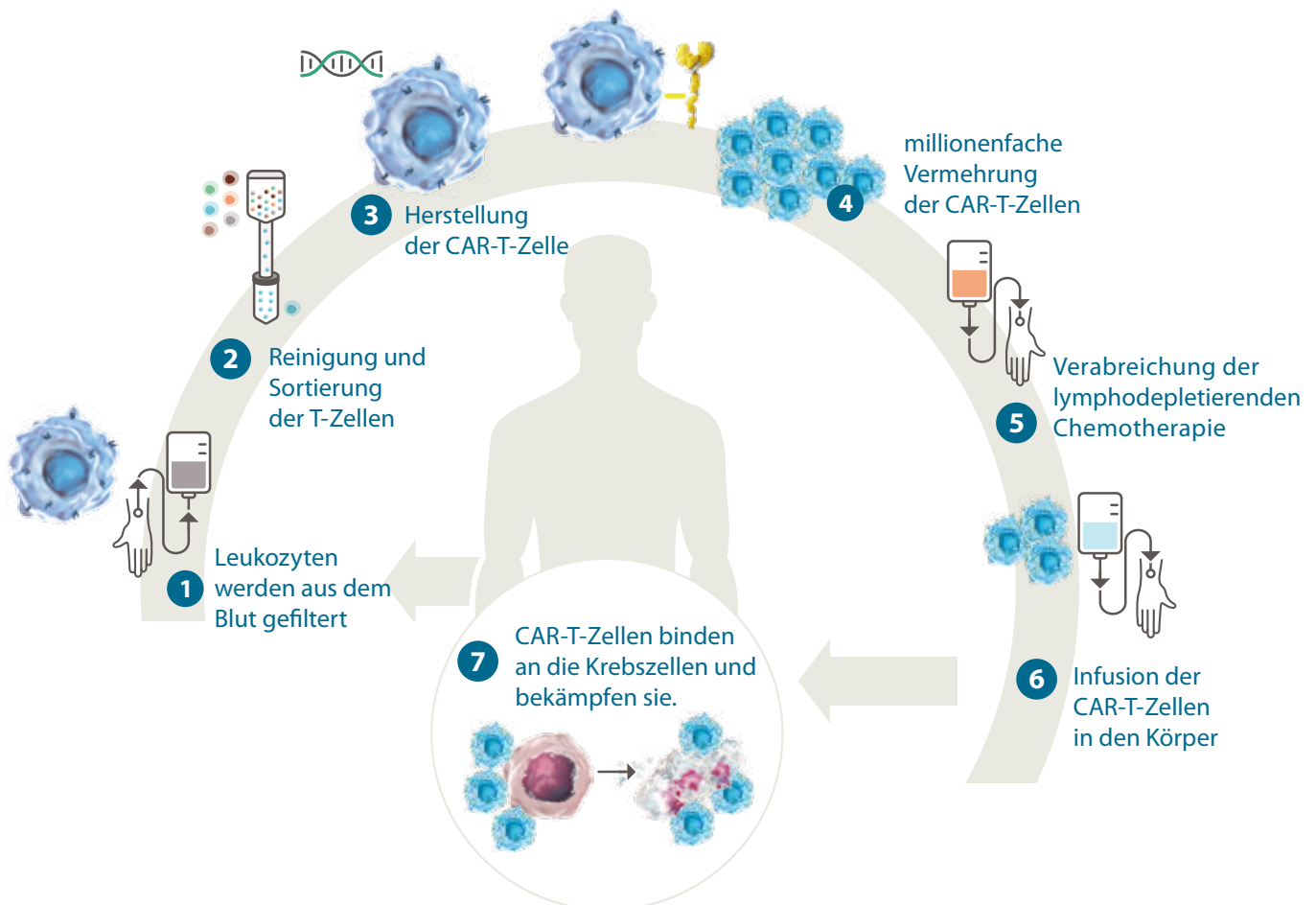
CAR-T-ZELL-THERAPIE

Seit 2018 sind in Europa erstmals zwei Behandlungsoptionen bei bestimmten Formen von Blutkrebs zugelassen, die auf gentechnisch modifizierten T-Zellprodukten beruhen. Dabei handelt es sich um die sogenannten CAR-T-Zell-Therapien (CAR: Chimeric Antigen Receptor, chimärer Antigenrezeptor), denen innerhalb der Immunonkologie großes Potenzial zugeschrieben wird. Dabei kommen gentechnisch veränderte, körpereigene T-Zellen (CAR-T Zellen) zur Anwendung, die

im Labor (in vitro, d. h. außerhalb des Körpers) mit der Fähigkeit ausgestattet wurden, Krebszellen zu erkennen und zu bekämpfen: Die T-Zellen werden entnommen und dann mit dem Bauplan für einen chimären Antigenrezeptor (CAR) ausgestattet, den sie daraufhin auf ihrer Oberfläche ausbilden.

Dieser Rezeptor ermöglicht ein Erkennen und Andocken an die dazu passenden Antigene von Krebszellen, ähnlich dem Schlüssel-Schloss-Prinzip. Nachdem dem Patienten seine veränderten T-Zellen wieder verabreicht wurden, können sie daher im Körper Krebszellen erkennen und zerstören. Da es sich bei den CAR-T-Zellen um körpereigene Zellen handelt, nimmt das Immunsystem die T-Zellen trotz der Veränderung weitgehend an. Die CAR-T-Zellen können sich durch Teilung vermehren und behalten dabei ihre Eigenschaften, sodass eine Gabe nur einmal notwendig ist. Damit die Wirkung der CAR-T-Zellen optimal zum Tragen kommt, muss allerdings vorher die Zahl anderer Abwehrzellen, denen die Eigenschaft der CAR-T-Zellen fehlt, im Blut mittels einer Chemotherapie reduziert werden.

Ablauf der CAR-T-Zell-Therapie



KREBS UND GESELLSCHAFT

Die Krebsbekämpfung ist eine gesellschaftliche Aufgabe und stellt eine Herausforderung für verschiedene Bereiche wie das Gesundheitssystem, die Arbeitswelt und das Familienleben dar. Vielfältige Akteure bilden ein Unterstützernetzwerk für die Patienten: die behandelnden Ärztinnen und Ärzte, Familie, Freunde, Arbeitskollegen, Forscherinnen und Forscher sowie Experten aus den Bereichen Physiotherapie, Kunsttherapie sowie den Sozialdiensten und Selbsthilfegruppen.

AUF VERSCHIEDENEN EBENEN GEGEN DEN KREBS

Die Krebsforschung wird in Deutschland und Europa auch von der Politik bestimmt. Die Gesundheitspolitik in Deutschland räumt der Krebsbekämpfung seit vielen Jahren einen hohen Stellenwert ein. In verschiedenen Initiativen vernetzen sich relevante Institutionen und Akteure und treiben durch Fördergelder die Forschung voran, um die Versorgung krebskranker Menschen zu verbessern.

MIT VERNETZUNG ZUM ERFOLG

Weltweit träumen Krebsforscher davon, dass in naher Zukunft niemand mehr an Krebs sterben muss. Sie arbeiten deshalb regional, national und weltweit zusammen, da die Krebsforschung so komplex geworden ist, dass die vielen Aufgaben und Herausforderungen nur durch Vernetzung zu neuen Strukturen bewältigt werden können. Im Rahmen interdisziplinärer Plattformen arbeiten so Wissenschaftler länderübergreifend zusammen und treiben unter anderem die Forschung in der Immunonkologie voran. Dabei wird für die Wissenschaftler auch die Frage immer wichtiger, warum manche Patienten sehr gut und andere wiederum gar nicht auf Immuntherapien ansprechen, und sie suchen nach neuen Kombinationstherapien.

Die Partner des Nationalen Krebsplans

Nationaler Krebsplan

2008 wurde der Nationale Krebsplan als Koordinierungs- und Kooperationsprogramm initiiert. Alle relevanten Stellen im Gesundheitswesen arbeiten hier zusammen, unter anderem das Bundesministerium für Gesundheit, die Deutsche Krebsgesellschaft, die Deutsche Krebshilfe wie auch Ärzte- und Krankenkassenverbände.

Behörden

Politiker und Beamte schaffen Strukturen für ein modernes Gesundheitswesen.

Medizin & Pflege

Ärzte, Krankenhäuser und Pfleger versorgen den Patienten medizinisch.

Krankenkassen

Gesetzliche und private Krankenkassen übernehmen die Behandlungskosten.

Forschung

Wissenschaftler entwickeln neue Methoden zur Behandlung und Diagnostik.

Beratungsstellen

Unterstützung für Patienten und Angehörige bei begleitenden Problemen.



Nationale Dekade gegen Krebs

Unter Federführung des Bundesforschungsministeriums wurde 2019 die Nationale Dekade gegen Krebs ausgerufen – sie ist ein wichtiger Aufruf zur Bündelung der Kräfte von Forschung, Medizin, Gesellschaft und Industrie zum gemeinsamen Engagement im Kampf gegen Krebs. Ziel ist es, die Zahl der Krebserkrankungen zu senken und Deutschland als einen führenden Standort der Krebsforschung nachhaltig zu stärken. Im ersten Schritt fördert das Bundesforschungsministerium klinische Studien zur Prävention, Diagnose und Therapie. Dabei stehen auch Technologien wie biomolekulare Analysen, Digitalisierung und künstliche Intelligenz im Fokus.



Vision Zero

Die Initiative Vision Zero fordert seit 2019: „Die Krebsmedizin benötigt einen konsequenten Paradigmenwechsel: Jeder Krebstodesfall sollte inakzeptabel sein.“ Die breite Initiative aus Wissenschaft und Forschung, medizinischen Fachgesellschaften und Verbänden, Stiftungen, Medien und Industrie möchte daher dem Ziel, dass niemand mehr an Krebs sterben muss, so nahe wie möglich kommen.



Horizon Europe

Die EU hat für die Jahre 2021 bis 2027 mit dem Programm Horizon Europe ein Forschungs- und Innovationsprogramm in Höhe von 100 Milliarden Euro für fünf Forschungs- und Innovationsmissionen aufgelegt. Diese fünf „Missionen“ zielen darauf ab, Lösungen für einige der größten globalen Herausforderungen zu finden – Krebs hat diesen hohen Stellenwert der EU-Investitionspolitik neben „Klimawandel“, „gesunde Ozeane“, „klimaneutrale Städte“ und „gesunde Böden und Lebensmittel“. Der deutsche Krebsforscher und Nobelpreisträger Prof. Harald zur Hausen übernimmt den Vorsitz des 15-köpfigen Expertengremiums „Mission Krebs“.



ZUKUNFTSTRÄCHTIGE JOBS

Wer sich heute mit Berufswünschen und -perspektiven auseinandersetzt, findet in verschiedenen Bereichen in der Forschung sowie in der Entwicklung und Bereitstellung von innovativen Medikamenten und Behandlungskonzepten viele Berufschancen.

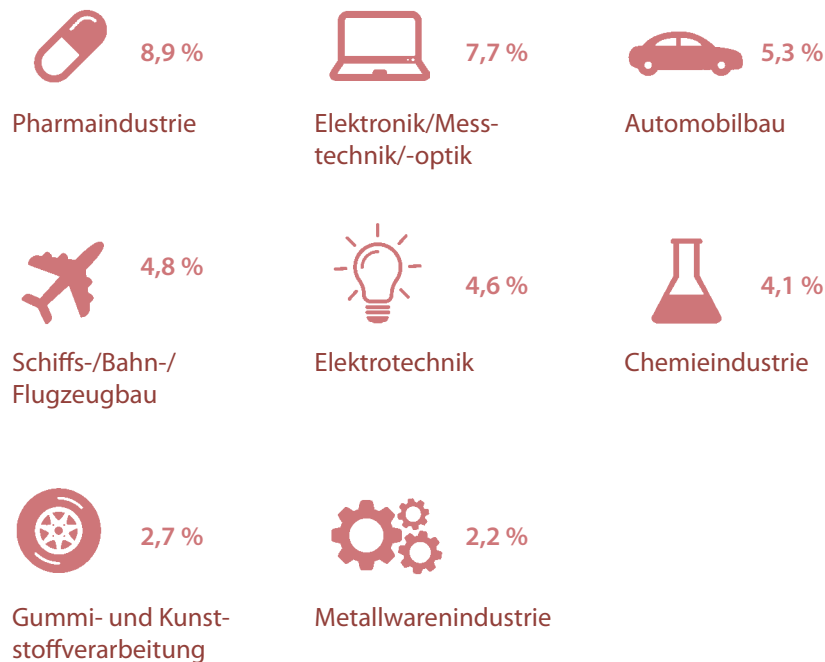
STANDORT DEUTSCHLAND

Deutschland ist weltweit ein wichtiger Biotechnologie-Standort: Hier wird geforscht, entwickelt, produziert und in die ganze Welt vertrieben. Die vielfältigen Arbeitsplätze in diesem Wirtschaftsbereich der pharmazeutischen Industrie und Forschung erschaffen eine hohe Wertschöpfung und haben einen großen Anteil am wirtschaftlichen Wachstum in Deutschland. Insbesondere die biotechnologischen und pharmazeutischen Unternehmen leisten mit ihren Innovationen einen positiven Beitrag für Wohlstand, Beschäftigung und Gesundheitsversorgung.

GROSSE AUSGABEN FÜR FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

Unter allen Wirtschaftsbranchen in Deutschland weist die Pharmaindustrie die höchsten Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen aus.

Ausgaben für Forschung und Entwicklung im Branchenvergleich



BERUFSBILDER UND EINSTIEGSMÖGLICHKEITEN

Wer eine breit gefächerte Palette an Aufgaben sucht und gute berufliche Zukunftsperspektiven, ist im Feld der Medizinforschung bis zur Arzneimittelbereitstellung richtig – ob an Universitäten, außeruniversitären Einrichtungen oder Biotechnologie- und pharmazeutischen Unternehmen. Von der Entwicklung neuer Medikamente im Labor bis hin zu Vertrieb, Marketing und Kommunikation stehen interessante Jobs zur Verfügung. Man benötigt dazu nicht unbedingt ein Pharmaziestudium. Auch Naturwissenschaftler und Betriebswirtschaftler sowie Biologisch-technische oder Chemisch-technische Assistenten haben hier vielfältige Möglichkeiten.



Medikamentensicherheit? Dafür Sorge ich!

Nicht jeder Pharmaziestudent arbeitet später in der Apotheke. Es sind viele weitere Berufsfelder möglich, z.B. Positionen in der Arzneimittelforschung und -produktion und in der Arzneimittelsicherheit. Sicherheit bedeutet, dass das Produkt qualitativen Standards genügen muss und auch nach der Markteinführung stets unter Beobachtung bleibt. Nebenwirkungen werden zum Beispiel fortwährend gemeldet und vervollständigen das Wissen über das Arzneimittel. Sicherheit bezieht sich daneben auch auf die Versorgungssicherheit. In Zusammenarbeit mit der Politik müssen Pharmaunternehmen den Bedarf an einem bestimmten Medikament abschätzen, damit es nicht zu Versorgungsengpässen kommt. Diese Aufgaben sind nicht nur spannend, sondern (lebens-)wichtig!

Mein Arbeitsplatz? Das Hightech-Labor!

Jedes Labor ist nur so gut wie die Assistenten, die in ihm arbeiten. Ob pharmazeutisch, biologisch oder chemisch-technisch – eine Ausbildung ist mit Realschulabschluss oder Abitur möglich. Das Aufgabenspektrum von Technischen Assistentinnen und Assistenten ist breit gefächert und abwechslungsreich. Während in einer Apotheke die Herstellung und Prüfung von Arzneimitteln im Vordergrund steht, ist bei forschenden Arbeitgebern das Labor der tägliche Arbeitsplatz. Hier stehen die Planung und Durchführung von biologischen und chemischen Analysen, die Mitarbeit an Experimenten, das Herstellen von chemischen Substanzen sowie Dokumentations- und Organisationsaufgaben an.



Kommunikationsexperte für die Gesundheit? Das bin ich!

Auch über Umwege finden manche ihren Weg zu einem Job in der Biotechnologie oder Pharmaindustrie, denn hier werden auch Wirtschafts- und Kommunikationsexperten gebraucht. Wer Kommunikationswissenschaften studiert und sich durch passende Praktika oder Einsteigerstellen qualifiziert, kann zum Beispiel in die Öffentlichkeitsarbeit einer Universität oder anderen Forschungseinrichtung einsteigen. Für Wirtschaftsstudierende gibt es die Möglichkeit, nach einem Bachelor mit allgemeiner Ausrichtung einen Master im Medizinmanagement oder in der Pharma Business Administration zu machen. Das kann eine wertvolle Qualifikation für den Traumjob in der Gesundheitsbranche sein.

WIE KANN DAS THEMA IM UNTERRICHT BEHANDELT WERDEN?

RELEVANZ

Heute erkrankt fast jeder zweite Mensch im Laufe seines Lebens an Krebs. Aufgrund der demografischen Entwicklung, der verbesserten und frühzeitigen Diagnosemöglichkeiten sowie eines gesellschaftlichen Wandels in Richtung eines offenen Umgangs mit Krebs machen Jugendliche und junge Erwachsene zunehmend mehr Erfahrungen mit entsprechenden Erkrankungen in ihrem privaten Umfeld. Dabei ist für sie die sogenannte Volkskrankheit, wie auch für viele andere Menschen, nicht konkret fassbar: Krebs gilt als ein Sammelbegriff für mehr als 200 verschiedene Erkrankungen und selbst bei einer Tumorart verläuft die Krankheit oft von Patient zu Patient unterschiedlich.

ZUKUNFTSPERSPEKTIVE

In den nächsten Jahren werden bahnbrechende Erfolge in der Forschung und folglich in der Krebsmedizin im Rahmen innovativer Behandlungsmöglichkeiten erwartet. Diese Entwicklungen unterstreichen in besonderer Weise die Relevanz einer bewussten inhaltlichen Auseinandersetzung mit dem Thema Krebs. Grundlage hierfür ist eine fachlich fundierte Sachkenntnis und eine Orientierung am Prozess von neuen Erkenntnissen aus der Forschung für Innovationen in der Krebsmedizin. Dies verleiht aktuelles Wissen und die Möglichkeit kompetenten Einordnens von Forschungsentwicklungen sowie tiefes Verständnis von zukünftigen medizinischen Trends.

ZIELSETZUNG

Mit dieser Zielsetzung wurde das vorliegende Zeitbild WISSEN „Immunsystem und Krebs“ entwickelt. Es bietet umfassende und anschauliche Informationen zum Thema „Immunsystem und Krebs – Forschung und Wissenschaft im Unterricht“. Es wendet sich an Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe II und eignet sich in besonderer Weise für den Einsatz im biologisch-naturwissenschaftlichen Unterricht – insbesondere in den Leistungskursen.

UNTERRICHT

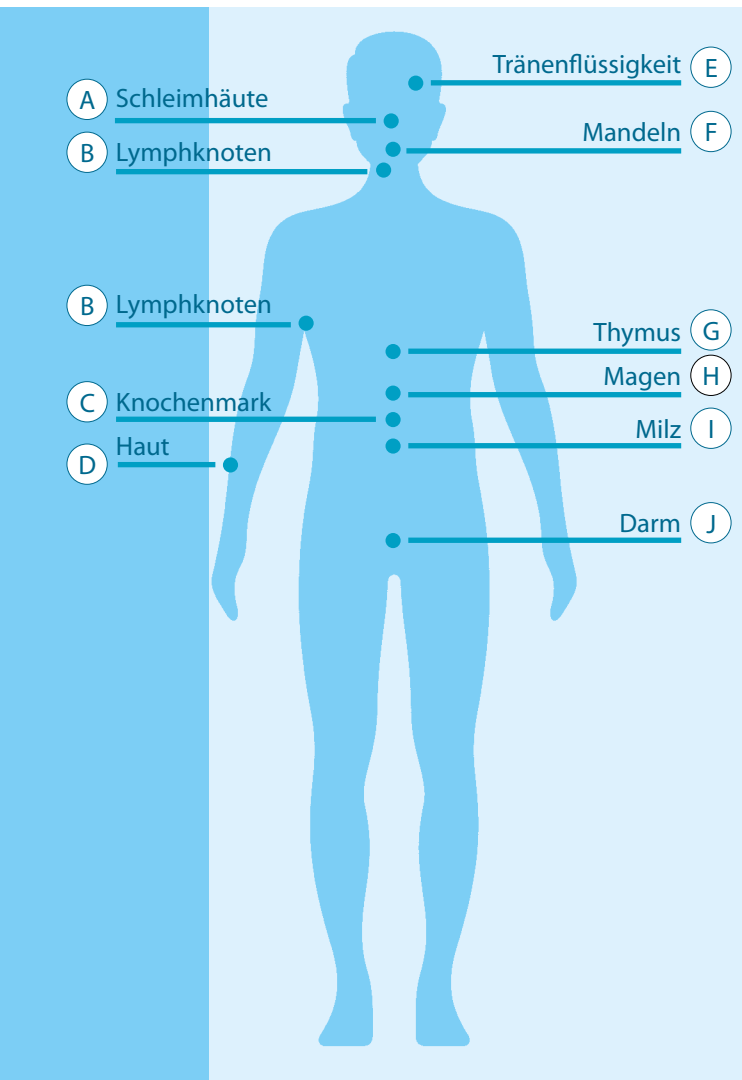
Das Magazin greift dabei relevante Sachdarstellungen entlang der Lehrpläne auf, kombiniert diese mit aktuellen Daten und Statistiken und präsentiert derzeitige sowie zukünftige Forschungsthemen und -trends.

Die Arbeitsblätter für den handlungsorientierten Unterricht bieten Jugendlichen Ansätze, Vertiefungen und Impulse für eigenständiges Studium und auch gemeinsames diskursives Lernen in der Gruppe. Das Material bietet Lehrkräften die Möglichkeit, eigene Schwerpunkte zu setzen, Inhalte gezielt herauszunehmen, hervorzuheben oder individuell zu strukturieren.

ARBEITSBLATT 1

DAS MENSCHLICHE IMMUNSYSTEM

Zum menschlichen Immunsystem gehören Proteine, Zellen, Gewebe sowie Organe und Organeile. Auch Körperflüssigkeiten wie zum Beispiel Tränen und Magensäure spielen eine Rolle.



- Hier wird die Lymphe (Gewebswasser) gefiltert. B- und T-Lymphozyten vermehren sich hier.
- Sie haben Erstkontakt mit aufgenommener Nahrung und eingeatmeter Luft und wehren Erreger ab, die sich ausbreiten wollen.
- Hier reifen und differenzieren sich die T-Lymphozyten. Unbrauchbare T-Zellen werden eliminiert.
- Hier differenzieren und vermehren sich B- und T-Lymphozyten. Blut wird von geschädigten Blutzellen, Mikroorganismen und anderen Fremdkörpern gereinigt.
- Hier wohnen viele „gute“ Bakterien, die uns vor Krankheitserregern schützen, indem sie Nahrung und Sauerstoff selbst verbrauchen und abwehrende Stoffe bilden.
- Hier entwickeln sich die B-Lymphozyten.
- Als äußere Barriere hält sie Krankheitserreger vom Eindringen in den Körper ab. Sie wirkt mechanisch, aber auch mikrobiologisch durch nützliche Bakterien und Pilze und chemisch durch ihren pH-Wert.
- Eine Schleimschicht bildet hier eine effektive Barriere, da der Schleim zäh und für Eindringlinge kaum zu überwinden ist.
- Sie hält das Auge feucht und schützt es vor Infektionen.
- Sein Saft enthält Salzsäure und hat einen pH-Wert von 1,0 bis 1,5. Mikroorganismen werden in diesem sauren Milieu abgetötet.

AUFGABEN

- 1** ORDNEN SIE die Beschreibungen den Körperteilen zu.
- 2** RECHERCHIEREN SIE, worin der Unterschied zwischen spezifischem (angeborenem) und unspezifischem (erworbenem) Immunsystem besteht.
- 3** DISKUTIEREN SIE den Begriff „immunologisches Gedächtnis“. Worauf bezieht er sich und ist er dem spezifischen oder dem unspezifischen Immunsystem zuzuordnen?

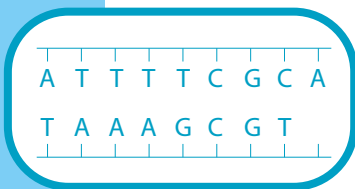
ARBEITSBLATT 2

MUTATIONEN UND DNA-REPARATURMECHANISMEN

MUTATIONEN ALS AUSLÖSER FÜR KREBS

Auf molekularer Ebene liegen Krebserkrankungen immer Mutationen zugrunde. Bei den meisten DNA-Schäden greifen die natürlichen Reparaturmechanismen ein. Sind diese erfolglos, kann es durch die Veränderung der DNA (Mutation) zur Tumorbildung kommen.

Häufige DNA-Schäden und Reparaturmechanismen



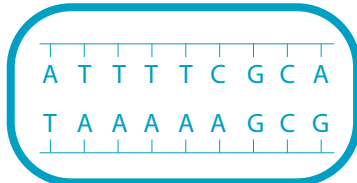
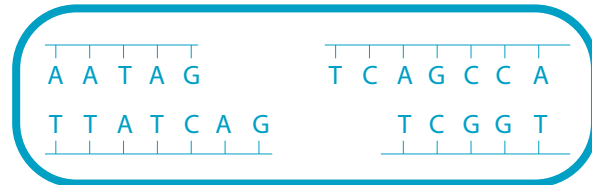
Thymin-Dimer



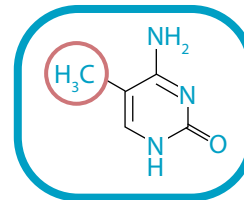
Insertion
(Einbau einer
zusätzlichen Base
oder Nukleotid-
sequenz)

Doppel-
strangbruch

alkylierte
DNA

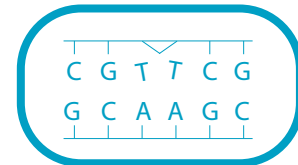
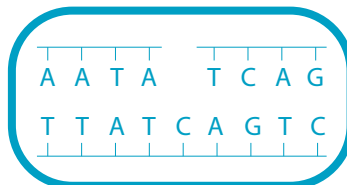


Deletion
(Verlust einer
Base oder einer
Nukleotid-
sequenz)



inkorrekte
Basen-
paarung

Einzel-
strangbruch



AUFGABEN

- 1 ORDNEN SIE die Bilder den Beschreibungen der Schäden (rot) zu.
- 2 RECHERCHIEREN SIE, wie es zu DNA-Schäden kommen kann und welche Reparaturmechanismen der Zelle für die verschiedenen Schäden zur Verfügung stehen.
- 3 DISKUTIEREN SIE, welche Folgen zu erwarten sind, wenn das DNA-Reparatursystem nicht mehr funktioniert.

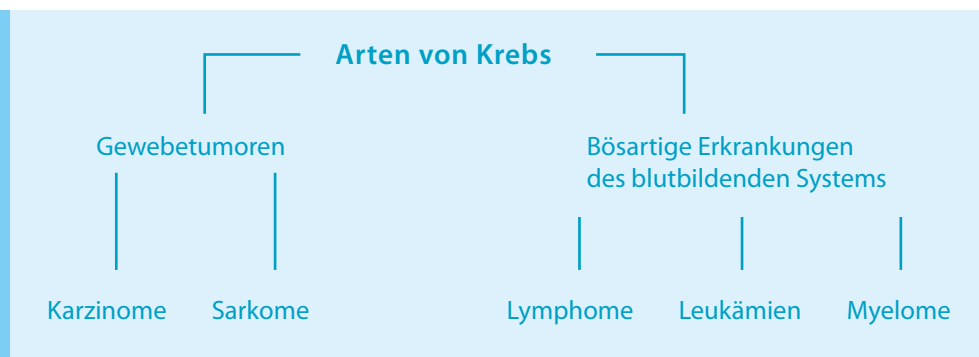
ARBEITSBLATT 3

WAS IST KREBS?

Der Begriff Krebs ist der umgangssprachliche Ausdruck für jede bösartige (maligne) Neubildung von Gewebe (auch als Tumor, Wucherung oder Geschwulst bezeichnet). Ein Tumor entwickelt sich durch unkontrollierte Vermehrung körpereigener Zellen, die durch Fehlregulation der Zellteilung entsteht. Krebs hat die Fähigkeit, sich im ganzen Körper auszubreiten. Die Erkrankung kommt nicht nur beim Menschen vor, sondern kann auch bei Pflanzen und Tieren auftreten.

ENTSTEHUNG VON KREBS

Krebs wird durch Veränderungen der DNA verursacht. Fehler, die das körpereigene Reparatursystem nicht beheben kann, können dazu führen, dass die betroffene Zelle beginnt, sich ungenutzt zu vermehren. Krebszellen können sich aus dem Tumor lösen und über die Blut- oder Lymphbahnen an andere Körperstellen gelangen, wo sie Metastasen (Absiedlungen) bilden.



AUSLÖSENDE FAKTOREN

Heute weiß man, dass es Faktoren gibt, die die Entstehung von Krebs begünstigen. Neben genetischer Veranlagung zählen dazu unter anderem

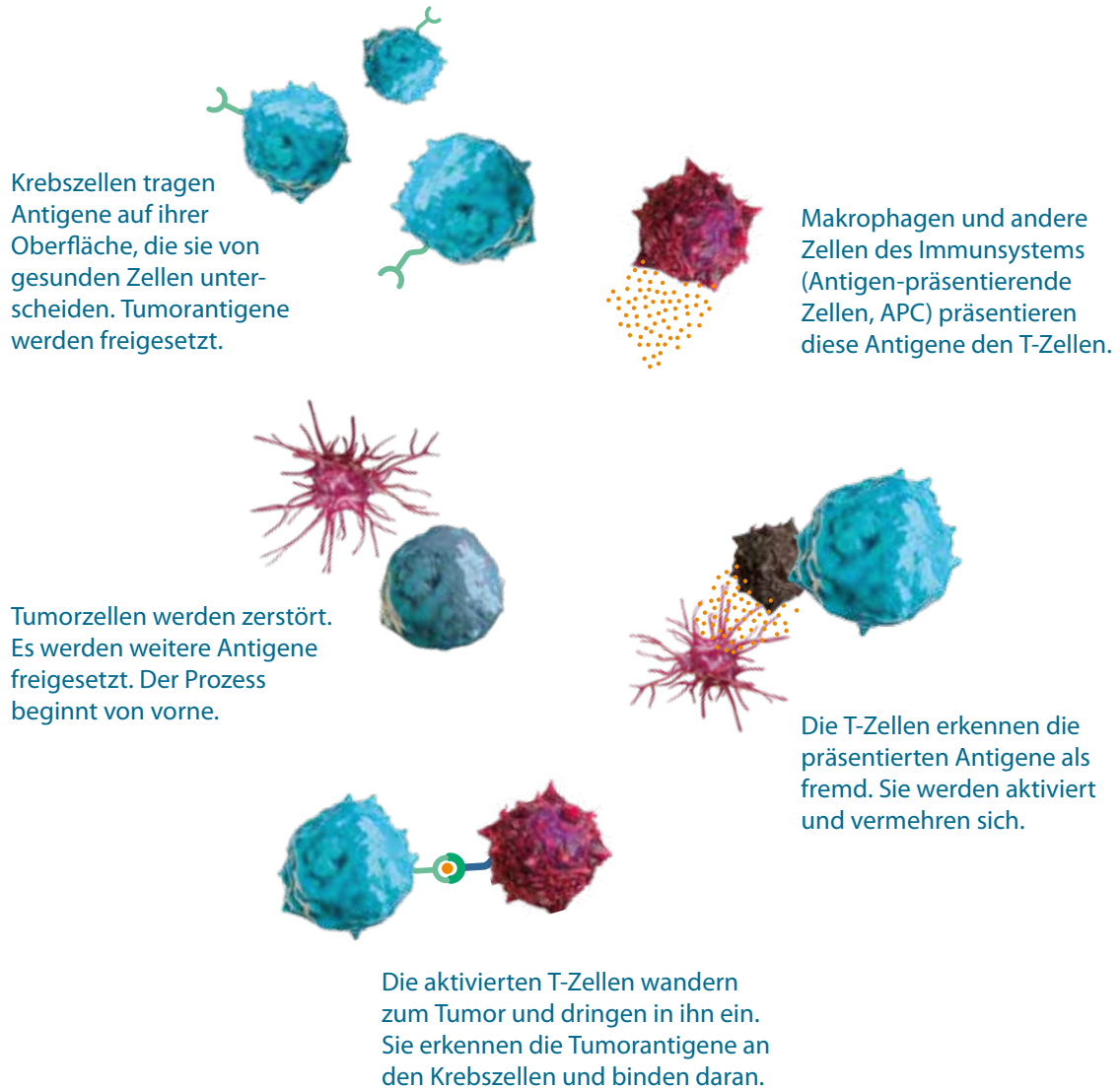
- Rauchen
- Übermäßiger Alkoholkonsum
- UV-Strahlung (Hautkrebs)
- schlechte Ernährung, Übergewicht
- Schadstoffe (im Essen z. B. Acrylamid; Umweltgifte; Schwermetalle)
- Ionisierende Strahlung (z. B. Röntgenstrahlung; Radioaktivität; Höhenstrahlung beim Fliegen)
- Bestimmte Viren (z. B. das Humane Papillomavirus/HPV) und Bakterien

AUFGABEN

- 1 ERKLÄREN SIE das Schema in Ihren eigenen Worten.
- 2 RECHERCHIEREN SIE die Begriffe Neoplasie, Karzinom, Sarkom, Lymphom, Leukämie und Myelom.
- 3 DISKUTIEREN SIE die Gründe, warum heute fast jeder zweite Mensch damit rechnen muss, einmal die Diagnose Krebs zu erhalten und warum gleichzeitig die Überlebensraten besser sind als früher.

ARBEITSBLATT 4

IMMUNREAKTION GEGEN KREBSZELLEN



AUFGABEN

- 1 ORDNEN SIE die Beschreibungen den einzelnen Prozessdarstellungen der Immunreaktion zu.
- 2 RECHERCHIEREN SIE, welche Typen von T-Lymphozyten es neben den T-Killerzellen gibt und was deren jeweiligen Aufgaben sind.
- 3 DISKUTIEREN SIE, warum Antigene von zentraler Bedeutung für eine Immunreaktion sind.

ARBEITSBLATT 5

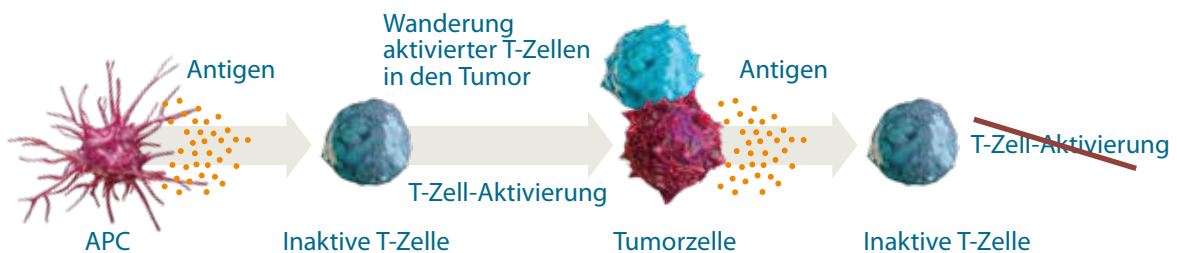
IMMUN-ESCAPE – DIE TRICKS DER TUMORZELLEN

Krebszellen sind für das Immunsystem ein Sonderfall, denn es sind körpereigene Zellen, die als schädlich erkannt werden müssen. Diese sind niemals so fremd wie von außen eindringende Krankheitserreger wie Viren oder Bakterien. Obwohl auch Krebszellen meist an ihren spezifischen Antigenen erkannt werden können, haben sie Mechanismen entwickelt, sich vor dem Immunsystem zu „verstecken“, sogenannte Escape-Mechanismen.

DIE ROLLE DER IMMUN-CHECKPOINTS

Einer dieser Mechanismen konzentriert sich auf sogenannte Immun-Checkpoints. Auf der Oberfläche von T-Zellen gibt es Rezeptoren, die eine Regulation des Immunsystems ermöglichen. Durch einen passenden Liganden, der an den Rezeptor bindet, kann die T-Zelle inaktiviert werden. Diesen Checkpoint-Signalweg können allerdings auch Tumorzellen nutzen.

Tumorzellen nutzen Immun-Checkpoints, um T-Lymphozyten zu inaktivieren.



APC: Antigen-präsentierende Zelle, zum Beispiel Makrophage. Sie präsentiert die Antigene schädlicher Krankheitserreger oder von Krebszellen und aktiviert dadurch T-Lymphozyten.

PD-1 (Programmed cell death protein 1): Rezeptor auf T-Lymphozyten, der durch Bindung an den Liganden PD-L1 zu einer Inaktivierung der Zelle führt.

PD-L1 (Programmed cell death 1 ligand 1): Ligand, der an den Rezeptor PD-1 bindet und die Zelle dadurch inaktiviert.

AUFGABEN

- 1 BESCHREIBEN UND INTERPRETIEREN SIE die Grafik in eigenen Worten.
- 2 RECHERCHIEREN SIE, was unter dem Schlüssel-Schloss-Prinzip verstanden wird und wie die Krebszelle dieses nutzt.
- 3 DISKUTIEREN SIE, wo Krebsmedikamente grundsätzlich ansetzen können, um eine Inaktivierung der T-Zellen zu verhindern.

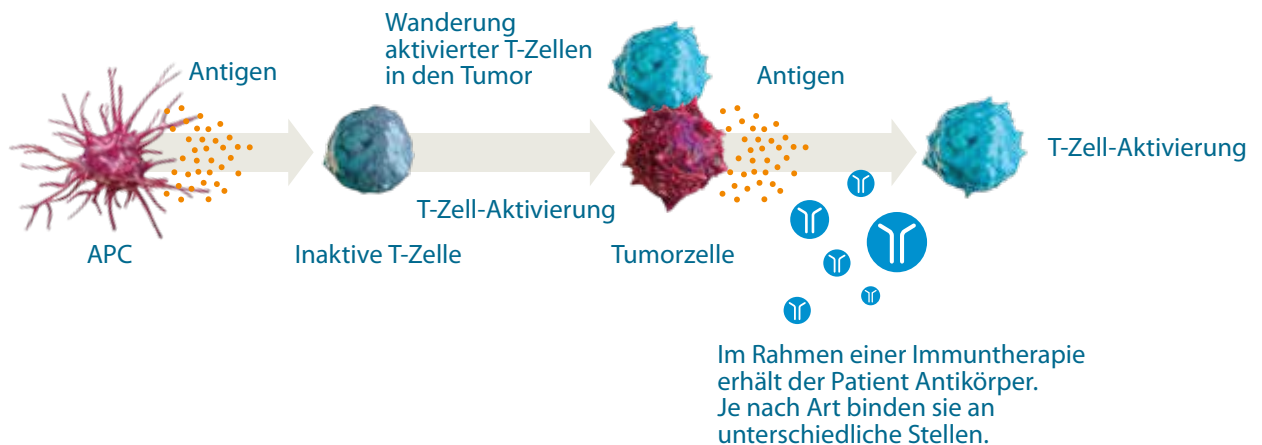
ARBEITSBLATT 6

IMMUNONKOLOGIE – UNTERSTÜTZUNG FÜR DAS IMMUNSYSTEM

Durch Escape-Mechanismen entkommen Krebszellen der Immunabwehr. Immunonkologische Therapien setzen hier an und unterstützen das Immunsystem dabei, wieder gegen die Krebszellen vorgehen zu können.

Wenn Tumorzellen einen Checkpoint-Signalweg nutzen, um T-Lymphozyten zu inaktivieren, gibt es die Möglichkeit, Antikörper zur Therapie zu nutzen.

Antikörper verhindern die Inaktivierung der T-Lymphozyten



APC: Antigen-präsentierende Zelle, zum Beispiel Makrophage. Sie präsentiert die Antigene schädlicher Krankheitserreger oder von Krebszellen und aktiviert dadurch T-Lymphozyten.

PD-1 (Programmed cell death protein 1): Rezeptor auf T-Lymphozyten, der durch Bindung an den Liganden PD-L1 zu einer Inaktivierung der Zelle führt.

PD-L1 (Programmed cell death 1 ligand 1): Ligand, der an den Rezeptor PD-1 bindet und die Zelle dadurch inaktiviert.

AUFGABEN

- 1 BESCHREIBEN UND INTERPRETIEREN SIE die Grafik in eigenen Worten.
- 2 RECHERCHIEREN SIE, was unter monoklonalen Antikörpern verstanden wird.
- 3 DISKUTIEREN SIE die Wirkung der Antikörper in der Grafik.

ARBEITSBLATT 7

FORTSCHRITT IN DER MEDIZIN – LEBENSWICHTIGE FORSCHUNG

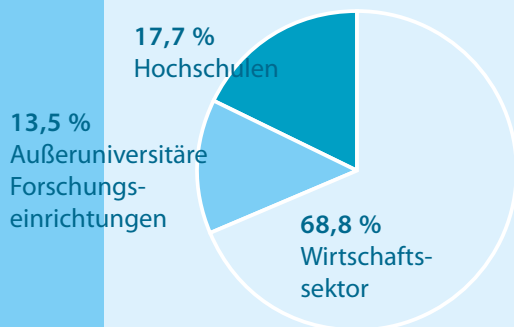
Die deutsche Forschungslandschaft ist divers. Medizinische Forschung erfolgt nicht nur an Universitäten, sondern auch durch forschende Pharma- und Biotechnologieunternehmen und außeruniversitäre Forschungsorganisationen wie Institute der Max-Planck-Gesellschaft, der Helmholtz-Gemeinschaft, der Leibniz-Gemeinschaft und der Fraunhofer-Gesellschaft.

MEDIZINFORSCHER BRAUCHEN EINEN LANGEN ATEM

Neben der Entwicklung von Medikamenten zur besseren Behandlung von Krankheiten befasst sich medizinische Forschung auch mit Diagnoseverfahren, Impfstoffentwicklung und medizinischen Hilfsmitteln. Forschung und Entwicklung neuer Medikamente oder Impfstoffe dauern viele Jahre, die Kosten betragen oft viele Millionen Euro.

Deutschland ist Spitze in der Medikamentenforschung: Jährlich investieren allein die forschenden Pharmaunternehmen mehr als 7 Milliarden Euro in neue Arzneimittel und innovative Therapien.

Verteilung der Gesamtausgaben für Forschung und Entwicklung im Jahr 2018



Quelle: Statistisches Bundesamt 2020.

Ausgaben für Forschung und Entwicklung der wissenschaftlichen Einrichtungen (Mrd. Euro)



Quelle: Statistisches Bundesamt 2020.

*Anmerkung: Verglichen mit den Ausgaben für den naturwissenschaftlichen Sektor sind die Ausgaben für Humanmedizin eher gering. Die Arzneimittelforschung findet sich allerdings in beiden Sektoren wieder, denn sie basiert auf naturwissenschaftlichen Grundlagen.

AUFGABEN

- 1 BESCHREIBEN SIE in eigenen Worten, woran es liegen könnte, dass die Ausgaben der Naturwissenschaften so viel höher sind als die der Geistes- und Humanwissenschaften.
- 2 RECHERCHIEREN SIE auf der Webseite einer zu Krebs forschenden Einrichtung Ihrer Wahl, welche Fragen die dortige Arbeit beantworten möchte und welche Bedeutung die Ergebnisse für die praktische Medizin haben können.
- 3 DISKUTIEREN SIE den Aspekt, dass Forschung auch durch den Staat gefördert wird – aktuell beispielsweise im Rahmen der Corona-Impfstoffentwicklung (Pro und Kontra).

ARBEITSBLATT 8

AUF DER SUCHE NACH WIRKSAMKEIT

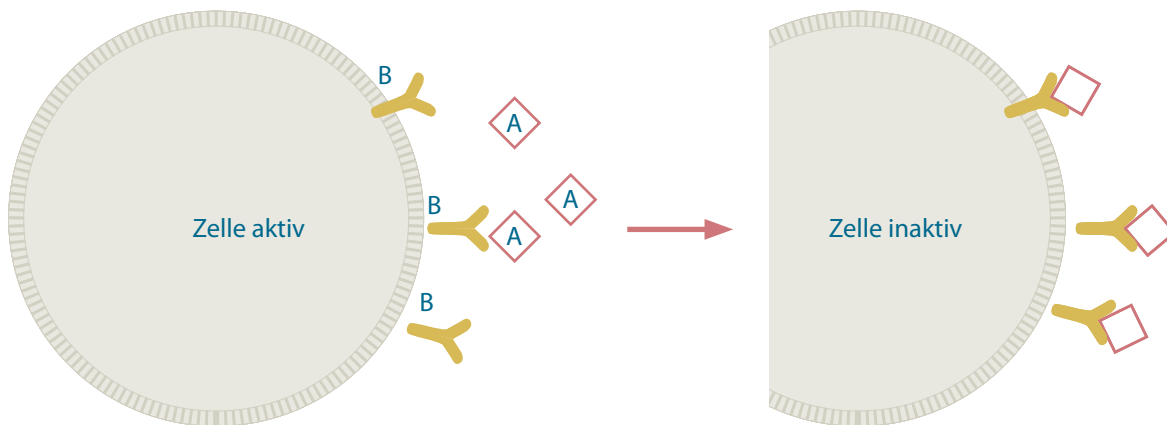
Der erste Schritt bei der Suche nach einem neuen Arzneimittel ist die Bestimmung des Zielmoleküls, des sogenannten Targets. Hier bieten sich Rezeptoren oder Signalmoleküle an, die durch Andocken bestimmte Prozesse aktivieren oder inaktivieren. Ein Ansatzpunkt können auch Moleküle sein, die für die Krankheit typisch sind und bei gesunden Menschen nicht vorhanden sind. Ist das Target bestimmt, helfen computerbasierte Tests, mehrere Tausend Substanzen zu überprüfen. Vielversprechend sind diejenigen Substanzen, die auf gewünschte Weise mit dem Target interagieren.

Aus dem Arzneimittelgesetz (AMG):

Arzneimittel sind Stoffe oder Zubereitungen aus Stoffen, die zur Anwendung im oder am menschlichen oder tierischen Körper bestimmt sind und als Mittel mit Eigenschaften zur Heilung oder Linderung oder zur Verhütung menschlicher oder tierischer Krankheiten oder krankhafter Beschwerden bestimmt sind oder die im oder am menschlichen oder tierischen Körper angewendet oder einem Menschen oder einem Tier verabreicht werden können, um entweder die physiologischen Funktionen durch eine pharmakologische, immunologische oder metabolische Wirkung wiederherzustellen, zu korrigieren oder zu beeinflussen oder eine medizinische Diagnose zu erstellen.

Quelle: Arzneimittelgesetz (AMG): § 2 Arzneimittelbegriff, (1).

Durch eine Krankheit wird zu viel Substanz A ausgeschüttet. Sie bindet an einen Rezeptor B auf der Zellmembran, was dazu führt, dass die Zelle inaktiv wird.



AUFGABEN

- 1 FINDEN UND BESCHREIBEN SIE mindestens zwei Wege, wie ein Arzneimittel wirken könnte, um die Inaktivierung der Zelle in der Grafik zu verhindern.
- 2 RECHERCHIEREN SIE, welche Faktoren neben der Wirksamkeit relevant in der Beurteilung von Arzneimitteln sind.
- 3 DISKUTIEREN SIE die Begriffe „Randomisierung“ und „kontrollierte Studie“ und deren Bedeutung in Zusammenhang mit der Arzneimittelentwicklung.

GLOSSAR

ANTIGEN | Substanz, die spezifisch an einen Antikörper oder den Rezeptor eines Lymphozyten bindet.

ANTIKÖRPER | Y-förmige Proteine, die an Antigene binden. Sie sind Teil der spezifischen Immunabwehr und werden von B-Lymphozyten produziert.

BIOMARKER | Charakteristische, messbare biologische Merkmale. In der Medizin werden sie genutzt, um Krankheiten zu erkennen oder Möglichkeiten zielgerichteter Therapien zu finden.

CAR-T-ZELLEN | Chimeric Antigen Receptor-T-Zellen. Sie werden außerhalb des Körpers durch Gentechnik mit antigenspezifischen Rezeptoren versehen und dann zur Therapie wieder dem Patienten zugeführt.

ESCAPE-MECHANISMEN | Mechanismen, mit denen Krebszellen verhindern, vom Immunsystem gefunden und/oder zerstört zu werden.

GEDÄCHTNISZELLEN | Langlebige Lymphozyten, die nach einem Erstkontakt mit einem Antigen auf dieses spezialisiert sind. Beim Zweitkontakt erfolgt die Immunreaktion schnell und effektiv.

IMMUN-CHECKPOINT | Rezeptor auf der Membran eines T-Lymphozyten, an den spezifische Liganden binden. Dies ermöglicht die Regulation des Immunsystems durch Hemmen oder Steigern der Immunreaktion.

INTERLEUKINE | Botenstoffe des Immunsystems. Es gibt viele unterschiedliche Interleukine mit unterschiedlichen Wirkungen, zum Beispiel Anregung oder Hemmung der Teilung von Zellen des Immunsystems.

KILLERZELLEN | Zellen des Immunsystems, die darauf spezialisiert sind, Krebszellen und von Krankheitserregern befallene Zellen zu erkennen und zu zerstören. Zu ihnen zählen cytotoxische T-Zellen und Natürliche Killerzellen (NK-Zellen).

KOMPLEMENTFAKTOREN | Glykoproteine, die zum Komplementsystem gehören, das bei der Bekämpfung von zellulären Antigenen mitwirkt. Das Komplementsystem ist Teil des unspezifischen Immunsystems.

LIGAND | Stoff, der spezifisch an einen Rezeptor bindet.

LYMPHOZYTEN | Lymphozyten gehören zu den Leukozyten (Weiße Blutkörperchen) und entstehen im Knochenmark. T-Lymphozyten, B-Lymphozyten und Natürliche Killerzellen gehören dazu und tragen auf verschiedene Weise zum Erkennen und Zerstören von Fremdkörpern und Krebszellen bei.

MAKROPHAGEN | „Riesenfresszellen“, die zu den Leukozyten (Weiße Blutkörperchen) gehören. Sie phagozytieren eingedrungene Krankheitserreger und gehören zum unspezifischen Immunsystem.

MUTATION | Eine Veränderung des Erbguts, die natürlich verursacht oder durch Mutagene hervorgerufen werden kann. Sie kann Körperzellen oder Keimzellen betreffen.

ONKOLOGIE | Die Lehre von den Tumorerkrankungen. Die Onkologie gehört zur Inneren Medizin, vereint aber interdisziplinär viele verschiedene medizinische Fachrichtungen, zum Beispiel die Pathologie, Chirurgie und die Nuklearmedizin.

ONKOGEN | Mutiertes Proto-Onkogen, bei dem die Genregulation nicht mehr funktioniert. Die von ihm produzierten Proteine bewirken Zellwachstum und Aussetzen des natürlichen Zelltods.

PROTO-ONKOGEN | Gen, das Zellwachstum und die Teilungstätigkeit steuert. Durch Mutation kann das Proto-Onkogen zum Onkogen werden.

REZEPTOR | Molekül auf der Oberfläche von Zellen, das spezifisch an ein Signalmolekül bindet. Die auf diese Weise empfangenen Signale können verschiedene Reaktionen bewirken.

T-HELPERZELLEN | T-Lymphozyten mit einer wichtigen Rolle im Immunsystem. Typ1-T-Helferzellen gehören zur zellulären Immunantwort, Typ2-T-Helferzellen zur humoralen Immunantwort.

TUMOR | Allgemein nennt die Medizin jede Art von Schwellung Tumor. In der Krebsmedizin bezeichnet man damit die Neubildung von Körpergewebe durch Fehlregulation des Zellwachstums. Tumoren können gut- oder bösartig sein, bösartige Tumoren nennt man Krebs.

TUMOR-SUPPRESSOR-GEN | Gen, das Proteine codiert, die die Teilung von Tumorzellen unterdrücken oder den natürlichen Zelltod auslösen.

QUELLEN

Quellen, die sich für Lehrkräfte und Schülerinnen und Schüler zur vertiefenden Recherche anbieten, entnehmen Sie bitte dieser Seite. Eine detaillierte Quellenübersicht zu den Themenseiten in diesem Magazin können Sie einem zusätzlichen Überblick (PDF-Datei) entnehmen unter www.zeitbild.de/krebs.

- **Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)**
www.gesundheitsforschung-bmbf.de/de/forschung-gestalten-2484.php
- **Nationaler Krebsplan**
www.krebsdaten.de/Krebs/DE/Content/Publikationen/Krebsgeschehen/Nationaler_Krebsplan/Kapitel7_Nationaler_Krebsplan.pdf?__blob=publicationFile
- **Deutsche Krebsgesellschaft (DKG)**
www.krebsgesellschaft.de
- **Krebsinformationsdienst des Deutschen Krebsforschungszentrums in der Helmholtz-Gemeinschaft**
www.krebsinformationsdienst.de
- **European Commission „Horizon Europe“**
https://ec.europa.eu/info/horizon-europe-next-research-and-innovation-framework-programme_en
- **immunopaedia.org – Advancing global immunology education**
www.immunopaedia.org.za/immunology/basics
- **Nationale Dekade gegen Krebs:**
www.dekade-gegen-krebs.de
- **Oncotrends – Entwicklungen und Trends in der Hämatologie und Onkologie**
www.oncotrends.de
- **Psyhyrembel-Online – medizinische Begriffe**
www.psyhyrembel.de
- **Vision Zero – Gemeinsam gegen den Krebs**
www.vision-zero-symposium.de

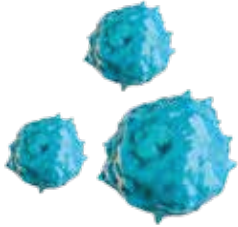
FACHBÜCHER

Campbell Biologie, 11. Auflage, Pearson Verlag

Physiologie Basics, 1. Auflage, Elsevier Verlag

Molekulare Genetik, 11. Auflage, Thieme Verlag

ÜBERSICHT MEDIZINISCHE GRAFIKELEMENTE



aktive Immunzelle /
aktive T-Zelle



inaktive Immunzelle /
inaktive T-Zelle



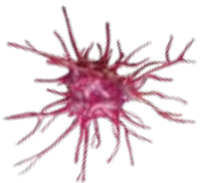
Tumorzelle



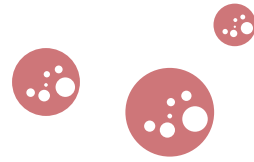
zerstörte Tumorzellen



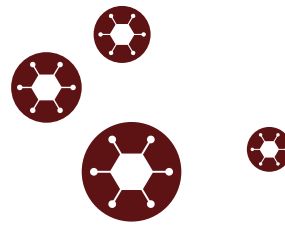
Antigene



Antigen-präsentierende
Zelle (APC)



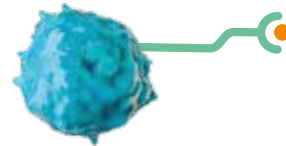
Bakterien



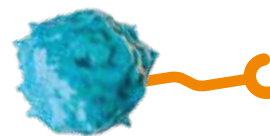
Viren



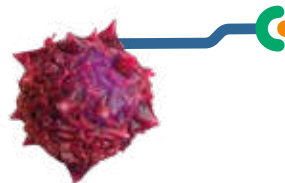
Antikörper



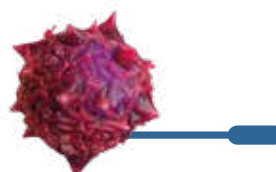
T-Zell-Rezeptor (TCR)



Programmed cell death
protein 1 (PD-1-Rezeptor)



Major Histocompati-
bility Complex (MHC)



Programmed cell death
1 ligand 1 (PD-L1)

IHRE MEINUNG IST UNS WICHTIG

Wir laden Sie ein, uns Ihre Meinung zum Unterrichtsprojekt „Immunsystem und Krebs“ mitzuteilen. Wie viele andere Lehrkräfte des Zeitbild Schulnetzwerks helfen Sie damit dem Zeitbild Verlag, dieses und zukünftige Unterrichtsprojekte für Ihren Unterricht zu verbessern.

SIE FINDEN DAS ZEITBILD WISSEN ALS E-PAPER UND
DIE EVALUATION UNTER WWW.ZEITBILD.DE/KREBS

IMPRESSUM

Zeitbild WISSEN „Immunsystem und Krebs“, herausgegeben von der Zeitbild Verlag und Agentur für Kommunikation GmbH, Wattstraße 11, 13355 Berlin, in Zusammenarbeit mit Bristol-Myers Squibb GmbH & Co. KGaA. Gesamtherstellung: Zeitbild Verlag, Berlin. Verantwortlich für den Inhalt: Bernd Woischnik. Text und Redaktion: Frederic Markus, Leonie Proscurcin und Peter Wiedemann. Fotonachweis: Celgene – Seite 5; dkfz/Uwe Anspach – Seite 3, iStock – Seite 2, 7, 16, 21, 23; Nobel Media AB 2018 – Seite 7 (Illustration).

Wir erklären mit Blick auf die genannten Internetlinks, dass wir keinen Einfluss auf Gestaltung und Inhalte der Seiten haben und uns die Inhalte ausdrücklich nicht zu eigen machen.