

2|2024
**ein
blick**

Die Zeitschrift des Deutschen
Krebsforschungszentrums

K.I.



Künstliche Intelligenz als Partner

Mensch und Maschine

Interaktiv, erklärbar und zuverlässig:
Mit diesen Eigenschaften sollen
KI-Systeme zum unverzichtbaren Helfer
in der Medizin werden.

60 Jahre DKFZ

Das Deutsche Krebsforschungszentrum
feierte in diesem Jahr Geburtstag:
Seit 1964 wird dort für ein Leben ohne
Krebs geforscht.

dkfz.

DEUTSCHES
KREBSFORSCHUNGSZENTRUM
IN DER HELMHOLTZ-GEMEINSCHAFT

Liebe Leserinnen und Leser,

das Thema künstliche Intelligenz ist derzeit allgegenwärtig. Auch das Nobelpreiskomitee kam in diesem Jahr nicht daran vorbei. Gleich in zwei Kategorien, in Physik und in Chemie, erhielten KI-Forscher die Auszeichnung. KI beantwortet Fragen, schreibt Hausaufgaben und generiert in Sekundenschnelle Bilder – sie ist damit im Alltag vieler Menschen angekommen. In der Forschung wächst die Bedeutung von KI-Werkzeugen schon seit längerer Zeit. Und in der Medizin stellen sich manche bereits die Frage, ob künstliche Intelligenz nicht früher oder später den Arzt oder die Ärztin ersetzen kann. Nach Einschätzung der meisten Experten wird das auf absehbare Zeit nicht passieren. Das Potenzial KI-basierter Systeme, Mediziner bei ihrer Arbeit zu unterstützen, ist jedoch enorm! Wir haben mit einem Forscher gesprochen, der das Zusammenspiel zwischen Mensch und Maschine optimieren und ihre ganz unterschiedlichen Stärken zusammenbringen möchte. Etwas salopp gesagt: Die künstliche Intelligenz soll nicht einfach ihr Ding machen und am Ende ein hoffentlich richtiges Ergebnis präsentieren – sie soll mit dem Menschen interagieren. Wie das gelingen kann, lesen Sie in dieser Ausgabe.



*Eine interessante Lektüre
wünscht Ihnen **Frank Bernard**,
Redakteur des einblick.*

10

60 Jahre DKFZ: Die Anfänge



22

Symbiose zwischen
Mensch und KI



12

60 Jahre DKFZ: Für ein Leben ohne Krebs

- 2 Editorial
- 4 News
- 6 Serie: Die „Hallmarks of Cancer“



- 8 Krebsmedizin vor 60 Jahren
- 10 Die Anfänge des DKFZ
- 12 Der Krebsinformationsdienst
- 14 Die HPV-Impfung
- 16 Das Nationale Centrum für Tumorerkrankungen (NCT)

- 18 Spende: Volles Engagement bis zum Schluss

- 19 Gemeinsam bewegen — Krebsrisiko senken

In der Nationalen Krebspräventionswoche 2024 stand das Thema Bewegung im Mittelpunkt. Denn 6 von 100 Krebserkrankungen sind auf einen Mangel an körperlicher Aktivität zurückzuführen.

- 20 Die Publikation

Kann künstliche Intelligenz dazu beitragen, unnötige Biopsien zu vermeiden, wenn ein Verdacht auf Prostatakrebs besteht?

- 22 Symbiose zwischen Mensch und KI

Der KI-Experte Paul Jäger erklärt im Interview, wie sein Team die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine verbessert und weshalb es auch künftig einen menschlichen Arzt braucht.

- 28 Ich forsche für ein Leben ohne Krebs

- 30 Kooperationen & Netzwerk

- 32 Krebsinformationsdienst

- 34 Preise & Auszeichnungen

- 35 Impressum

Chatbot genauer als Urologen

Das Sprachmodell UroBot beantwortet Fragen der Facharztprüfung genauer als erfahrene Urologen.

Wissenschaftler um Titus Brinker (DKFZ) haben gemeinsam mit Ärzten der Urologischen Universitätsklinik Mannheim einen auf künstlicher Intelligenz basierenden Chatbot entwickelt. Ihm liegt das derzeit leistungsstärkste Sprachmodell GPT-4o von OpenAI zugrunde. Es wurde um die Fähigkeit ergänzt, zur Beantwortung einer Frage gezielt auf bestimmte Dokumente zurückgreifen zu können, was als „Retrieval Augmented Generation“ bezeichnet wird. Der Chatbot kann dadurch mit aktuellen und fachspezifischen Daten aus verlässlichen Quellen versorgt werden.

UroBot-4o beantwortete Fragen zur Facharztprüfung zu 88,4 Prozent korrekt. Damit übertraf der Chatbot nicht nur das aktuellste Modell GPT-4o um 10,8 Prozentpunkte, sondern auch die durchschnittliche Leistung von Urologen bei der Facharztprüfung, die in der Literatur mit 68,7 Prozent angegeben wird. Zudem zeigt UroBot eine sehr hohe Zuverlässigkeit sowie Konsistenz in den Antworten und ist in der Lage, diese detailliert anhand der medizinischen Leitlinien zu begründen.

Ein präzises Zweitmeinungssystem für medizinische Entscheidungen in der Urologie könnte Ärztinnen und Ärzte zukünftig bei der evidenzbasierten und personalisierten Versorgung unterstützen, insbesondere bei Zeit- oder Kapazitätsengpässen.



Training verbessert Lebensqualität

Auch bei fortgeschrittenem Brustkrebs verbessert körperliches Training die Lebensqualität.

Eine Krebserkrankung und auch die erforderlichen Therapien können die Lebensqualität stark beeinträchtigen. Ob gezieltes Training auch in fortgeschrittenen Stadien einer Brustkrebserkrankung Symptome wie Fatigue lindern kann, hat nun eine vom University Medical Center Utrecht koordinierte Studie untersucht, an der die Teams von Karen Steindorf (DKFZ, NCT Heidelberg) und Joachim Wiskemann (Universitätsklinikum Heidelberg, NCT Heidelberg) maßgeblich beteiligt waren. An der PREFERABLE-EFFECT-Studie nahmen insgesamt 355 Frauen und 2 Männer mit metastasiertem Brustkrebs teil. Während alle Teilnehmenden grundlegende Bewegungsempfehlungen erhielten, nahm eine Gruppe darüber hinaus an einem strukturierten Trainingsprogramm teil. Dieses umfasste über einen Zeitraum von neun Monaten zwei wöchentliche Einheiten mit Übungen zur Stärkung von Gleichgewicht, Muskelkraft und Ausdauer. Das gezielte Training verbesserte die Lebensqualität und verringerte die Fatigue. Beschwerden wie Schmerzen und Kurzatmigkeit nahmen im Verlauf der Studie deutlich ab. Auch die Fitnessstests fielen in der Trainingsgruppe besser aus als in der Kontrollgruppe.



Krebsrisiken vorhersagen

Ein Vorhersagemodell auf der Basis nationaler Gesundheitsdaten ermöglicht Aussagen über individuelle Krebsrisiken.



Forschende um Moritz Gerstung vom DKFZ und vom European Bioinformatics Institute EMBL-EBI (Hinxton, UK) haben ein Modell entwickelt, das Aussagen über die individuellen Erkrankungsrisiken für 20 verschiedene Tumorarten ermöglicht. Sie trainierten das Modell mit 6,7 Millionen Datensätzen aus dem dänischen Krebsregister aus den Jahren 1995 bis 2014. Dabei flossen neben Vorerkrankungen und der familiären Krebsbelastung, sofern vorhanden, auch Risikofaktoren wie Übergewicht oder der Tabakkonsum ein. Anschließend wurde das Modell an Datensätzen von 2015 bis 2018 validiert.

Über den Lauf des Lebens erreichte das Modell eine Genauigkeit von 81 Prozent. Unter Berücksichtigung von Alters- und Geschlechtseffekten ergab sich eine Genauigkeit von 59 Prozent. Die Analysen ermöglichen keine exakte Vorhersage, bei welcher Person Krebs auftreten wird, sie stellen aber das individuelle Risiko fest. Dieses Modell, das auch auf andere Länder anwendbar ist, könnte helfen, Menschen mit hohem Risiko frühzeitig zu identifizieren und ihnen gezielte Früherkennungsuntersuchungen anzubieten. Voraussetzung dafür ist aber eine Datenbasis, wie sie derzeit nur in wenigen Ländern verfügbar ist.

NEUER PODCAST

Genomhäppchen



Tauchen Sie mit „Genomhäppchen“, dem Wissenschaftspodcast von GHGA, in die faszinierende Welt der Genomforschung ein! Oktopusse, die Mützen tragen, Zombie-Gene und Weingeno- me - die Genetik liefert viele spannende Geschichten. „Genomhäppchen“ erzählt sie. Jeden zweiten Freitag erscheint eine neue Folge.

Der Podcast wird präsentiert von GHGA – dem Deutschen Humangenom-Phänomarchiv. GHGA entwickelt eine Infrastruktur, in der humane Genomdaten sicher gespeichert und kontrolliert für die biomedizinische Forschung zugänglich gemacht werden können. In dem Konsortium sind insgesamt 21 Institutionen aus ganz Deutschland vereint, koordiniert wird es am DKFZ. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft finanziert das Projekt als Teil der Nationalen Dateninfrastruktur-Initiative (NFDI).



HALLMARKS OF CANCER NR. 7:
"INDUCING ANGIOGENESIS"

Bedrohlich nur mit Versorgung

Tumoren können nur wachsen, wenn sie genügend Nahrung erhalten. Blutgefäße sind deshalb für sie unerlässlich.

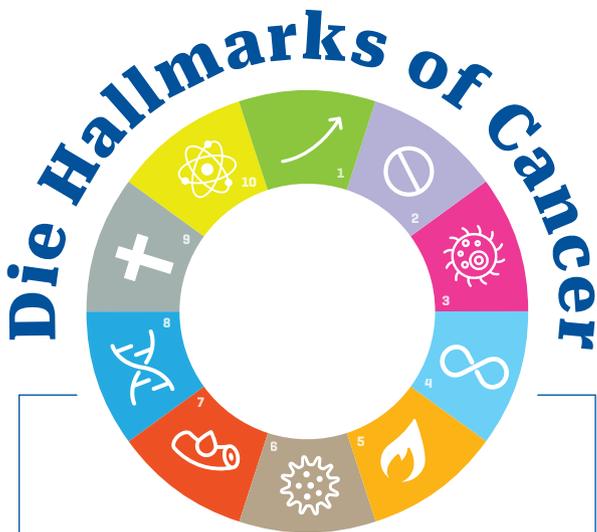
PROZESSE, DIE IM KÖRPER normalerweise kontrolliert und zeitlich begrenzt stattfinden, laufen in einem Tumor oft dauerhaft und unkontrolliert ab. Einige Beispiele haben wir Ihnen in dieser Serie bereits vorgestellt: Für Krebszellen steht etwa bei der Zellteilung die Ampel immer auf grün.

Streng reguliert ist in gesundem Gewebe auch die Bildung neuer Blutgefäße. Sie geschieht vor allem, während sich der Embryo entwickelt. Bei Erwachsenen wird die Angiogenese, so der Fachbegriff, nur sehr begrenzt angeschaltet, etwa bei der Wundheilung oder im Verlauf des weiblichen Menstruationszyklus. Tumoren sorgen jedoch stetig dafür, dass neue Blutgefäße entstehen. Doch warum ist das so entscheidend?

Ein Tumor ist hungrig. Er benötigt große Mengen Nährstoffe und Sauerstoff. Zudem müssen die Krebszellen, genau wie gesunde Zellen, Abfälle aus ihrem Stoffwechsel entsorgen. Dazu sind Blutgefäße nötig. Denn wenn der Tumor einen Durchmesser von ungefähr einem halben Millimeter überschreitet, reicht es nicht mehr aus, dass die Nährstoffe einfach durchs Gewebe diffundieren. Um bedrohliche Ausmaße annehmen zu können, ist er auf Transportleitungen angewiesen.

Die Bildung neuer Blutgefäße vollzieht sich in mehreren Schritten, und es sind zahlreiche Akteure daran beteiligt. Sie beginnt mit dem Sprossen neuer Gefäßzweige. Eine wichtige Rolle spielt dabei der zunehmende Sauerstoffmangel im Innern des wachsenden Tumors. Die unzureichende Versorgung der Krebszellen führt dazu, dass ein Botenstoff gebildet wird, der die Gefäßneubildung ankurbelt: der Vascular Endothelial Growth Factor, kurz VEGF. Das Molekül bindet an Rezeptoren, die sich auf der Oberfläche von Endothelzellen befinden. Dieser Zelltyp kleidet das Innere der Blutgefäße aus. VEGF sorgt dafür, dass sich die Endothelzellen teilen und ein neuer Gefäßzweig entsteht, der in Richtung der VEGF-Quelle wächst. Auf diese Weise entsteht im Tumor ein stark verzweigtes und sehr unorganisiertes Gefäßsystem, das die Krebszellen versorgt.

Den Blutgefäßen im Tumor kommen neben der Versorgung noch weitere Rollen zu: Zum einen sind sie der Transportweg, auf dem Krebszellen ihre angestammte Umgebung verlassen können, um Absiedlungen in anderen Organen zu bilden. Zum anderen beeinflussen die Beschaffenheit der Gefäße und die Durchblutung des Tumors auch den Erfolg vieler Therapien (s. Interview). So ist beispielsweise die Strahlentherapie in schlecht durchblutetem Tumorgewebe meist weniger effektiv.



- 1** Krebszellen sorgen selbst für Signale, die ihr Wachstum fördern.
- 2** Krebszellen sind unempfindlich gegenüber Signalen, die das Wachstum hemmen.
- 3** Krebszellen gelingt es, der Immunabwehr zu entkommen.
- 4** Krebszellen können sich unbegrenzt teilen.
- 5** Krebszellen nutzen Entzündungsreaktionen für ihr Wachstum und ihr Überleben.
- 6** Krebszellen können in gesundes Gewebe eindringen und Absiedlungen bilden.
- 7** Krebszellen lösen das Wachstum von Blutgefäßen aus, die den Tumor versorgen.
- 8** Das Erbgut der Krebszellen ist besonders instabil und unterliegt häufigen Veränderungen.
- 9** Krebszellen sind in der Lage, dem programmierten Zelltod zu entgehen.
- 10** Krebszellen haben einen veränderten Energiestoffwechsel.



Hellmut Augustin leitet am DKFZ die Abteilung Vaskuläre Onkologie und Metastasierung und an der Medizinischen Fakultät Mannheim der Universität Heidelberg die Abteilung Vaskuläre Biologie und Tumorangiogenese. Er ist zudem Gründungsdirektor des European Center for Angioscience an der Universität Heidelberg und Sprecher des Sonderforschungsbereichs „Vaskuläre Kontrolle der Organfunktion“.

Herr Augustin, welche Rolle spielt die Angiogenese heute in der Krebstherapie?

Es gab um die Jahrtausendwende übertriebene Erwartungen an Angiogenese-hemmende Medikamente, die nicht erfüllt wurden. Die Idee, den Tumor einfach auszuhungern, konnte nicht realisiert werden. Aber in Kombinationstherapien spielen die Wirkstoffe heute durchaus eine Rolle, und da sind die Möglichkeiten auch noch längst nicht ausgeschöpft. Die Medikamente können zum Beispiel bei manchen Patienten die Effizienz einer Chemotherapie erhöhen. Auch die Kombination mit einer Immuncheckpoint-Therapie ist möglich, beispielsweise bei Patienten mit fortgeschrittenem Leberzellkrebs.

Sollten weniger Blutgefäße im Tumor nicht eigentlich dazu führen, dass Chemotherapeutika ihr Ziel schlechter erreichen?

Das sollte man meinen. Die Blutgefäße eines Tumors haben jedoch keine normale Architektur. Sie sind nicht ausgereift, unorganisiert und haben einen sehr chaotischen Blutfluss. Deshalb ist das gängige Modell der Wirkung anti-angiogener Medikamente, dass sie unreife Gefäße in die Regression treiben, wodurch das Blutgefäßsystem „normalisiert“ wird. Das ist vielleicht mit dem Beschneiden eines Baumes zu vergleichen, dessen Zweige ausgedünnt werden. Durch diese Normalisierung können die Chemotherapeutika besser zum Ziel gelangen.

Ein Schwerpunkt Ihrer Forschung liegt auf der Metastasierung?

Ja, wir untersuchen, wie Gefäße die Metastasierung ermöglichen und aktiv steuern. Wir wissen heute, dass die Gefäßwandzellen nicht nur die Gefäße auskleiden, sondern aktiv die Funktion der sie umgebenden Organzellen steuern. Wir haben auf der Ebene einzelner Zellen untersucht, wie Gefäßwandzellen und Tumorzellen miteinander kommunizieren. Eine metastatische Zelle, die im Zielorgan ankommt, muss sich zum Beispiel entscheiden, ob sie überhaupt ins Gewebe eintritt und ob sie dann sofort wächst oder erst in eine Art Schlafzustand übergeht. All diese Entscheidungen werden in erheblichem Maße durch Endothelzellen beeinflusst und gesteuert. Die zellulären und molekularen Prozesse bei der Metastasierung sind bis heute viel zu wenig verstanden. Dabei ist Metastasierung die häufigste Todesursache von Tumorpatienten. Hier sind dringend vertiefte Erkenntnisse erforderlich, die sich in neue Therapiekonzepte umsetzen lassen.

Vor 60 Jahren

Das Deutsche Krebsforschungszentrum feiert in diesem Jahr seinen 60. Geburtstag. Wir nehmen das zum Anlass, einen Blick zurück in die Gründungszeit zu werfen: Wie wurde Krebs behandelt? Und erkrankten die Menschen an den gleichen Tumorarten wie heute?

Andere Lebensumstände – andere Krebsarten

Das Risiko für manche Krebsarten hängt auch von den Lebensumständen ab, etwa von der Ernährung, von krebserregenden Substanzen, denen Menschen im Alltag ausgesetzt sind, oder von präventiven Maßnahmen. Viele dieser Faktoren haben sich in den vergangenen sechs Jahrzehnten verändert, und so treten heute einige Krebsarten sehr viel häufiger auf als zur Gründungszeit des DKFZ, andere sind hingegen sehr viel seltener geworden. Drei Beispiele:

Deutlich zurückgegangen ist die Häufigkeit von **Magenkrebs**. Bis in die 1960er-Jahre war er in Deutschland die häufigste krebserregende Todesursache und wurde dann bei Männern von Lungenkrebs und bei Frauen von Brustkrebs abgelöst. Für den Rückgang von Magenkrebs im Laufe des letzten Jahrhunderts sind vor allem zwei Gründe verantwortlich: Zum einen haben verbesserte Hygienebedingungen dazu geführt, dass sich weniger Menschen mit dem Bakterium *Helicobacter pylori* infizieren, einem der wichtigsten Risikofaktoren für Magenkrebs. Zum anderen werden Lebensmittel vermehrt gekühlt gelagert und nur noch selten durch Räuchern oder Pökeln konserviert – bei diesen Verfahren können krebserregende Stoffe entstehen. Magenkrebs zählt heute in Deutschland nicht mehr zu den häufigsten Krebsarten.

Ganz anders sieht der Trend beim **Hautkrebs** aus: Mit den Wirtschaftswunderjahren veränderte sich nach und nach das Freizeitverhalten vieler Menschen. Sie setzten sich vermehrt und ohne ausreichenden

Schutz der Sonne aus – Bräune war angesagt und ist es nach wie vor. UV-Strahlung ist jedoch der wichtigste Risikofaktor sowohl für weißen als auch für schwarzen Hautkrebs. Die Folge: Beide Formen sind im Laufe der letzten Jahrzehnte sehr viel häufiger geworden. So haben sich zum Beispiel die Fallzahlen für schwarzen Hautkrebs seit den 1970er-Jahren etwa vervierfacht.

Da bei manchen Krebsarten der Lebensstil und äußere Faktoren das Erkrankungsrisiko beeinflussen, hat sich ihre Häufigkeit im Laufe der Jahrzehnte teils deutlich verändert.

Eine weitere Krebsart, deren Häufigkeit sich seitdem stark verändert hat, ist **Gebärmutterhalskrebs**, an dem heute deutlich weniger Frauen erkranken. Grund dafür ist in erster Linie das 1971 eingeführte Screening-Programm. Mit dem Pap-Test können Krebsvorstufen oder frühe Stadien entdeckt und dann rechtzeitig entfernt werden. Dadurch sind die Zahlen in Deutschland stark zurückgegangen: Anfang der 1970er-Jahre starben noch mehr als doppelt so viele Frauen an dieser Krebsart.



Stahl, Strahl und Chemo

Im Juli 1963 berichtete der „Spiegel“ vom 3. Internationalen Kongress für Chemotherapie in Stuttgart: Die Wissenschaftler seien sich einig darüber, dass mit den klassischen Methoden der Krebsbehandlung – Operieren und Bestrahlen – nur noch minimale Verbesserungen der Überlebensstatistiken zu erwarten wären. Allenfalls 20 bis 30 Prozent der Krebskranken könnten mit „Stahl und Strahl“ geheilt werden. Die Hoffnungen ruhten deshalb auf einem zu dieser Zeit noch sehr jungen Ansatz: der Chemotherapie.

Vom „gefürchtetsten Leiden unserer Zeit“ oder der „Krankheit der Epoche“ war in den 1960er-Jahren die Rede, wenn die Medien über Krebs berichteten. Die Zahl der krebsbedingten Todesfälle war im Vergleich zum Beginn des 19. Jahrhunderts stark gestiegen. Das „Deutsche Gesundheitsmuseum – Zentralinstitut für Gesundheitserziehung e.V.“ klärte deshalb um 1965 mit einer Plakatkampagne über Krebsrisiken auf und warb dafür, die Möglichkeiten der Früherkennung wahrzunehmen.

Nachdem im Jahr 1949 das erste Chemotherapeutikum in den USA seine Zulassung erhielt, konnten die sogenannten Zytostatika besonders bei der Behandlung von Leukämien erste Erfolge aufweisen. Hunderttausende chemische Substanzen wurden daraufhin auf ihre Wirkung gegen Krebszellen getestet – der Traum von der „Magic Bullet“, dem Wundermittel gegen alle Formen von Krebs, bewahrheitete sich allerdings nicht. Es stellte sich heraus, dass mit der Kombination mehrerer wachstums- oder teilungshemmender Substanzen bessere Ergebnisse zu erzielen waren als mit einzelnen Wirkstoffen – das gilt auch heute noch.

In den folgenden Jahrzehnten etablierte sich die Chemotherapie als dritte Säule im Kampf gegen Krebs und trug wesentlich dazu bei, dass mehr Menschen ihre Erkrankung überlebten oder Lebenszeit gewannen. Inzwischen sind weitere Therapieformen hinzugekommen: Zielgerichtete Medikamente oder die verschiedenen Formen der Immuntherapie spielen eine immer größere Rolle. Sie basieren auf einem immer besseren Verständnis der biologischen Mechanismen, durch die Krebs entsteht. Und natürlich hat sich auch die Behandlung mit „Stahl und Strahl“ seit den 1960er-Jahren enorm weiterentwickelt: Neue OP-Techniken erlauben es, Tumoren sicherer und präziser zu entfernen. Auch die Bestrahlung hat ein Maß an Präzision und Effektivität erreicht, das vor 60 Jahren nicht vorstellbar gewesen ist. All diese Fortschritte haben dazu beigetragen, dass die Überlebensraten nach fünf Jahren heute bei 62 Prozent für Männer und bei 66 Prozent für Frauen liegen.



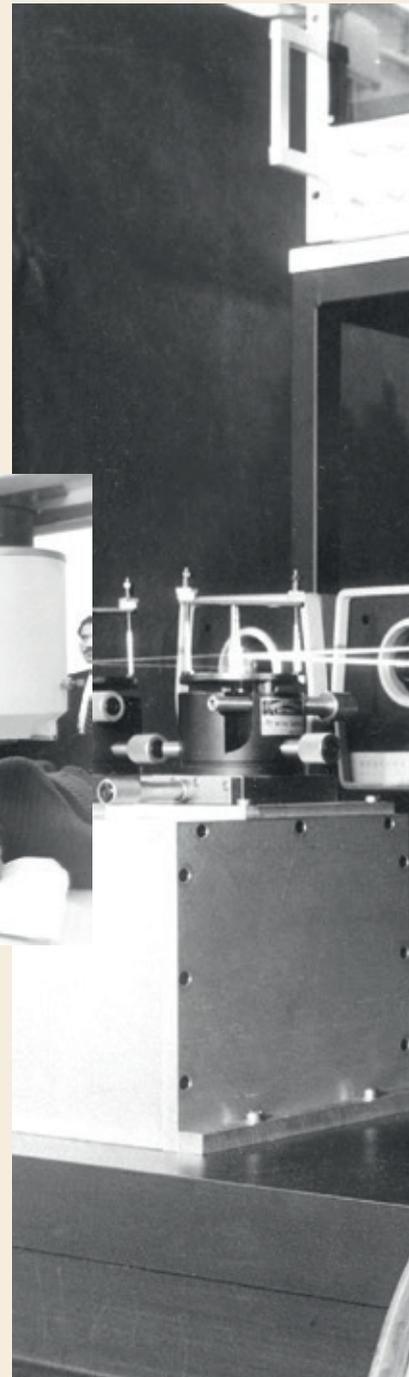
Das DKFZ-Hochhaus kurz nach seiner Fertigstellung im Jahr 1972. Zu den zahlreichen prominenten Gästen, die das Deutsche Krebsforschungszentrum seitdem besuchten, zählte 1973 auch der damalige Bundeskanzler Willy Brandt.

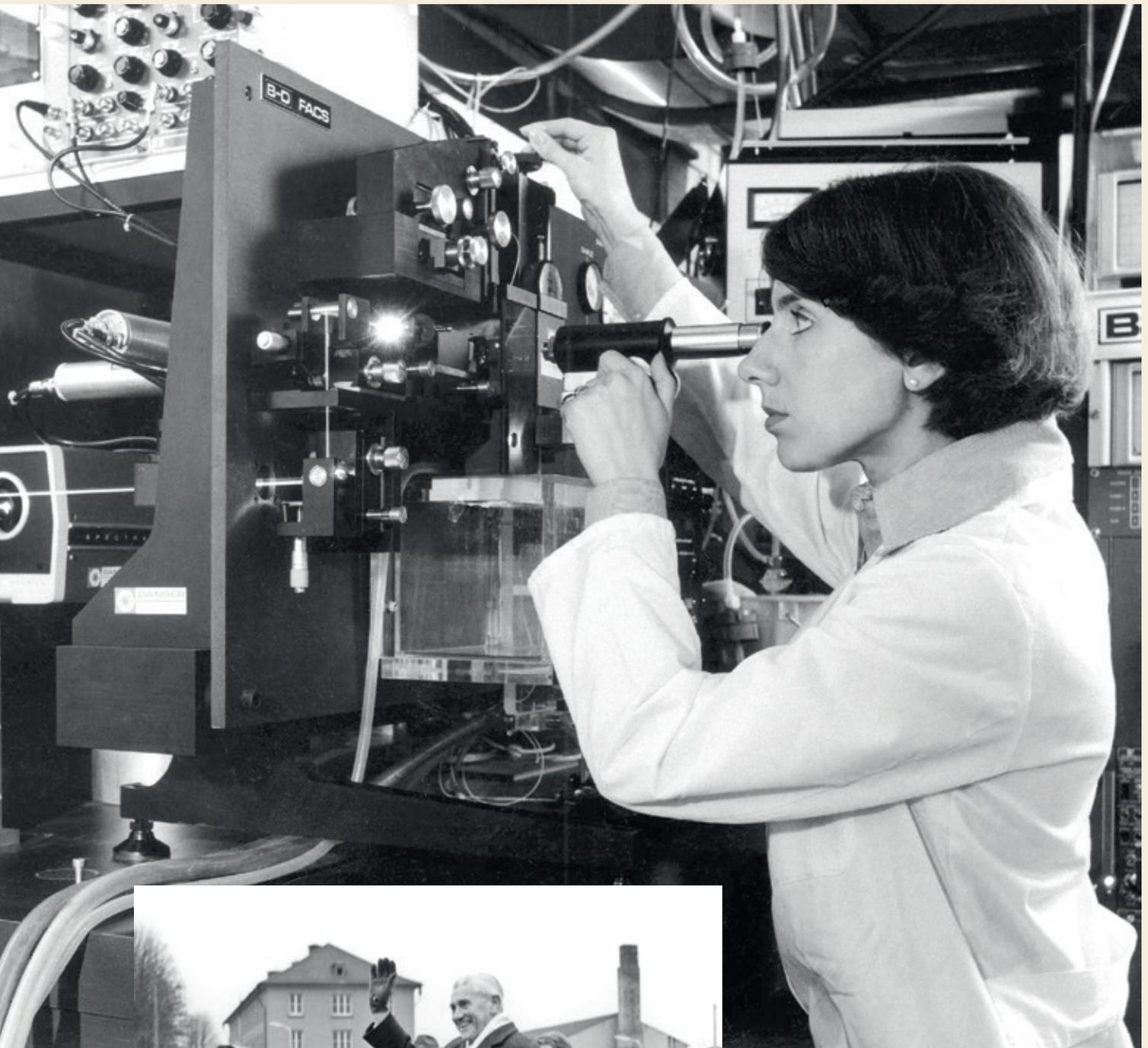


Die Anfänge

Im Vergleich zu anderen Industriationen fiel die Entscheidung, ein zentrales Institut für die Krebsforschung zu errichten, in der Bundesrepublik erst spät. Zu den größten Befürwortern eines solchen Instituts zählte Karl Heinrich Bauer, der die Pläne trotz vieler Schwierigkeiten vehement vorantrieb und sich auch für den Standort Heidelberg stark machte, wo er als Chirurg tätig war. Als die Landesregierung Baden-Württemberg im Januar 1964 schließlich die Stiftung Deutsches Krebsforschungszentrum einrichtete,

ging es dann umso schneller: Bereits einen Monat später erfolgte der erste Spatenstich und nach nur acht Monaten Bauzeit konnten die Gebäude am 31. Oktober 1964 feierlich eingeweiht werden. Diese „Baustufe I“ war jedoch von Anfang an nur als Provisorium angelegt. 1968 begannen die Bauarbeiten für die „Betriebsendstufe“, die 1972 fertiggestellt werden konnte. Das Hochhaus, das in den 2000er-Jahren umfangreich saniert und modernisiert wurde, dient auch heute noch als das zentrale Gebäude des DKFZ.





Mit einem Zytophotometer bestimmt eine Mitarbeiterin des Instituts für Experimentelle Pathologie den DNA-Gehalt von Zellen (1977).

Der Bau des DKFZ-Hochhauses begann im Jahr 1968: Karl Heinrich Bauer gibt das Signal zum Auftakt der Arbeiten.

Fragen zu Krebs? Wir sind für Sie da!

Unter diesem Motto steht die Arbeit des 1986 gegründeten Krebsinformationsdienstes des DKFZ. Er bietet wissenschaftlich belegte, verständliche und kostenlose Informationen zum Thema Krebs für Krebserkrankte, Angehörige, Interessierte und Fachkreise.

Mit Susanne Weg-Remers, der Leiterin des Krebsinformationsdienstes, haben wir über aktuelle Trends und die Zukunft des Angebots gesprochen.

Wie wichtig ist es heute für Krebspatientinnen und -patienten, selbst informiert zu sein?

Vielen Krebspatient:innen ist es sehr wichtig, sich über ihre Erkrankung, deren Behandlung und weitere Themen zu informieren: Wissen entlastet und hilft gegen die Angst. Und gut informierte Patienten können leichter mit ihren Ärzten in einen Dialog auf Augenhöhe treten. Das ist wichtig, um eigene Vorstellungen in die Behandlungsplanung einzubringen.

Wird die Beratung durch die zunehmende Personalisierung der Therapie schwieriger?

Das onkologische Wissen wächst exponentiell: Für viele Krebsarten gibt es mittlerweile komplexe Therapiealgorithmen, die nicht nur von der Ausbreitung des Tumors, sondern auch von dessen molekularen Eigenschaften abhängen. Es ist für uns im Krebsinformationsdienst eine große Herausforderung, dieses Wissen zu überblicken und für unsere Anfragenden up to date zu sein.

Welche Themen werden noch wichtiger?

Aktuell stammen etwa 40 Prozent unserer individuellen Anfragen von Menschen, deren Krebsdiagnose länger als ein Jahr her ist. Bei 10 Prozent sind es mehr als fünf Jahre. Viele gelten als geheilt. Es gibt aber auch immer mehr Cancer Survivor, die mit Krebs wie mit einer chronischen Erkrankung leben. Viele haben mit Langzeit- oder Spätfolgen der Behandlung zu kämpfen. Da beobachten wir, dass sich das Themenspektrum erweitert, weil zu den klassischen Therapien die zielgerichteten und Immuntherapien mit einem neuen Profil an Langzeit- und Spätfolgen hinzukommen.

Sind Falschinformationen, zum Beispiel in sozialen Medien, ein wachsendes Problem?

Das Internet und die sozialen Medien bieten jedem die Möglichkeit, mit einem Mausklick Zugang zu einer großen Informationsfülle zu bekommen. Leider findet man online auch viel Falschinformation oder interessen-geleitete Information von Anbietern, die mit der Angst vor Krebs ein Geschäftsmodell aufgebaut haben. Hier ist es uns ein Anliegen, die Gesundheitskompetenz der Ratsuchenden zu stärken.

Ist es denkbar, dass die Beratung zukünftig durch eine KI erfolgt?

Unsere ersten Experimente mit künstlicher Intelligenz zur Texterstellung waren eher ernüchternd: Die KI-Sprachmodelle haben Texte produziert, die fehlerhaft oder missverständlich waren. Die Nachbearbeitung hat viel Zeit gekostet – das war also nicht wirklich ein guter Deal. Aber die Technologie entwickelt sich ja rasant weiter. Mit der Abteilung Digitale Prävention, Diagnostik und Therapiesteuerung von Titus Brinker planen wir gerade ein KI-Projekt. Ziel ist es, ein Sprachmodell zu entwickeln und zu erproben, das die Ärztinnen in unserem E-Mail-Service bei der Beantwortung von Anfragen unterstützen soll. Wenn das Modell so gut wird, dass es eine Zeitersparnis bringt, wäre das eine große Hilfe. Ich gehe aber davon aus, dass auch künftig der Mensch die KI-Antworten kontrollieren muss, damit keine falschen Informationen herausgehen.



Eine neue Dimension der Krebsprävention

Die große Mehrheit der Fälle einer Krebsart durch eine einzelne Maßnahme verhindern zu können, ist der Traum der Krebsprävention. Beim Gebärmutterhalskrebs steht mit der HPV-Impfung seit 2006 ein Werkzeug zur Verfügung, das diesen Traum Realität werden lassen kann.

DIE ENTDECKUNG

Gebärmutterhalskrebs wird durch Infektionen mit Papillomviren ausgelöst – lange Zeit wurde Harald zur Hausen für diese These belächelt. Doch die jahrelange beharrliche Suche zahlte sich aus: Zur Hausen und seine Mitarbeiter wiesen 1983 zum ersten Mal das Erbgut eines bis dahin unbekanntes Vertreters der humanen Papillomviren (HPV) in Krebszellen nach. In den folgenden Jahren stellte sich heraus, dass Hochrisikotypen des Virus weltweit für 99 Prozent aller Fälle von Gebärmutterhalskrebs verantwortlich sind. Damit war die Grundlage für die Entwicklung vorbeugender Impfstoffe geschaffen. Für seine herausragende Leistung erhielt der 2023 verstorbene langjährige Vorstandsvorsitzende des DKFZ im Jahr 2008 den Nobelpreis für Medizin.

DIE IMPFUNG

Für die Impfstoffentwicklung müssen üblicherweise große Mengen des jeweiligen Krankheitserregers im Labor gezüchtet werden – was jedoch mit HPV nicht möglich ist. Lutz Gissmann und Matthias Dürst gelang es, mithilfe gentechnischer Methoden große Mengen des Kapselproteins der Viren herzustellen. Die Proteine fügen sich spontan zu virusähnlichen Partikeln zusammen und können als Grundlage für den Impfstoff dienen. Diese Technik erwies sich für die Unternehmen, die später den Impfstoff produzierten, als unentbehrlich. Im Jahr 2006 kamen schließlich die ersten HPV-Impfstoffe auf den Markt.

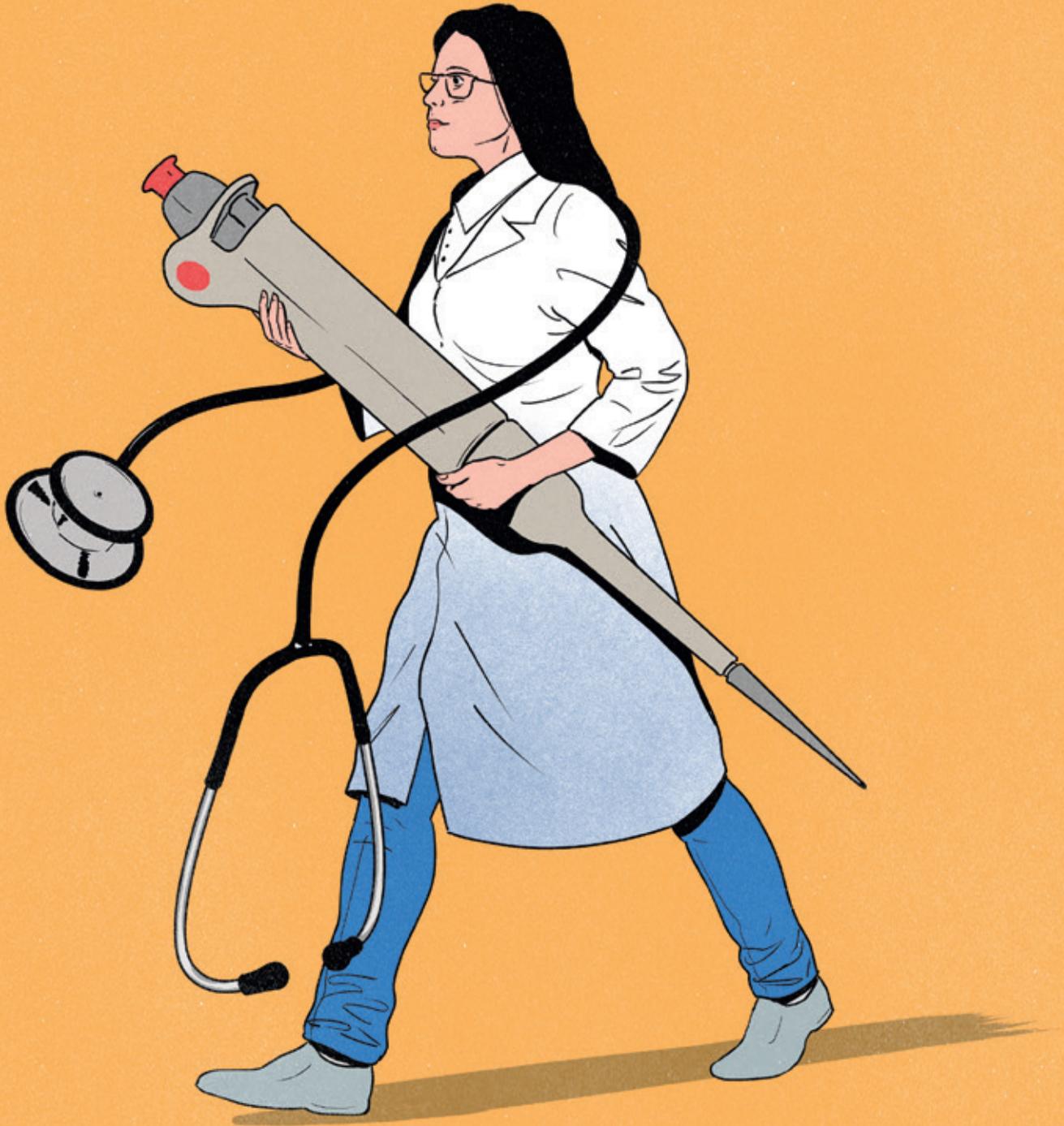
DIE AKTUELLE HERAUSFORDERUNG

Studien aus Ländern, die von Beginn an hohe Impfraten hatten, belegen inzwischen, dass durch die Impfung ein Großteil der Neuerkrankungen an Gebärmutterhalskrebs und weitere HPV-bedingte Erkrankungen wirksam verhindert werden können. Dennoch sind in Deutschland derzeit nur 54 Prozent der 15-jährigen Mädchen und 27 Prozent der gleichaltrigen Jungen vollständig gegen HPV geimpft. Wie lässt sich das ändern? Erfahrungen aus Ländern wie Australien und England zeigten, dass HPV-Impfprogramme in Schulen die Impfquote spürbar erhöhen können, betont Public Health-Experte Nobila Ouédraogo. Es brauche Strukturen und zielgerichtete Programme, um Eltern und Kinder mit freiwilligen HPV-Impfangeboten optimal zu erreichen.

DIE ZUKUNFT

Die bisher verfügbaren HPV-Impfstoffe sind sehr wirksam und gut verträglich, aber in der Praxis mit Einschränkungen verbunden. Sie sind aufwendig zu produzieren und zudem temperaturempfindlich, was gerade in vielen Ländern des globalen Südens ein Problem darstellt. Martin Müller arbeitet deshalb an hitzestabilen und kostengünstig herzustellenden Impfstoffen. Sie sollen zudem einen noch breiteren Schutz bieten und gegen fast alle krebs-erregenden HPV-Typen wirken. Auch bereits existierende Infektionen mit HPV sollen zukünftig durch die Impfung neutralisiert werden. An einem therapeutischen Impfstoff arbeitet auch Angelika Riemer: Er soll die zelluläre Abwehr gegen Tumorzellen aktivieren und dadurch Krebsvorstufen heilen.





Mit Patienten – für Patienten

Eine Brücke zwischen Krebsforschung und klinischer Krebsmedizin bilden – mit diesem Ziel entstand im Jahr 2004 in Heidelberg das Nationale Centrum für Tumorerkrankungen (NCT). Seitdem ist das NCT – eine Kooperation zwischen dem DKFZ, führenden Partnern in der Universitätsmedizin und weiteren herausragenden Forschungspartnern – deutschlandweit gewachsen. Im Jahr 2015 kam der Standort Dresden hinzu, seit 2023 sind auch die Standorte Berlin, SüdWest (Tübingen-Stuttgart, Ulm), WERA (Würzburg mit den Partnern Erlangen, Regensburg, Augsburg) und West (Essen und Köln) Teil des NCT. Drei Fragen an Maria Rius, die wissenschaftliche Leiterin der NCT Geschäftsstelle am DKFZ.

Frau Rius, welche Chancen bieten sich durch die Erweiterung des NCT?

Im NCT arbeiten Expertinnen und Experten aus Klinik und Forschung eng zusammen, um neue klinische Studien zur Diagnose und Behandlung von Krebserkrankungen unter Beteiligung von Patientinnen und Patienten zu entwickeln. Um dieses Ziel zu erreichen, kooperieren die Standorte des NCT in Deutschland intensiv miteinander. Die Standorte ergänzen sich und bringen unterschiedliche Kompetenzen ein. Der Ausbau des NCT fördert so den Austausch von Wissen und die Entwicklung besserer Diagnoseverfahren und neuer Therapieansätze. Mit diesem sogenannten One NCT schaffen wir eine in Deutschland einzigartige Struktur für klinisch-translationale Forschung.

Welche Rolle kommt dabei den sogenannten „Investigator-Initiated Trials“ zu?

Investigator-Initiated Trials sind nicht kommerzielle, wissenschaftsgetriebene klinische Studien. Sie haben eine zentrale Rolle im NCT, da sie für die klinische Forschung und die Verbesserung der Behandlung von großer Bedeutung sind. Diese Studien werden nicht von kommerziellen Organisationen wie Pharmaunternehmen, sondern von den Forschenden selbst initiiert und geleitet. Sie gestalten die Forschungsfragen gezielt patientenorientiert, indem sie die Perspektiven und Bedürfnisse der Patientinnen und Patienten bereits in der

Konzeptionsphase klinischer Studien aktiv einbeziehen. Über das NCT ermöglichen wir die Finanzierung dieser innovativen Studien.

Welchen Stellenwert hat die Patientenbeteiligung im One NCT?

Patientinnen und Patienten sind im NCT Forschungspartner auf Augenhöhe. Die Patientenbeteiligung im One NCT wird dabei als integraler Bestandteil der Forschung verstanden. Patientinnen und Patienten sind in allen Stufen des Forschungsprozesses eingebunden, von der Idee und Planung klinischer Studien bis hin zur Bewertung der Ergebnisse. Ihre Perspektiven und Erfahrungen tragen dazu bei, die Krebsforschung patientenorientierter zu gestalten. Um Patientenvertretende gut auf diese Rolle vorzubereiten, ist die Patienten-Experten Akademie für Tumorerkrankungen, kurz PEAK, ein wichtiger Baustein im NCT. In praxisnahen Seminaren werden unter anderem die Grundlagen der klinischen Forschung vermittelt. Der NCT Patientenforschungsrat ist bundesweit die Stimme der NCT Patientenbeteiligung und Kontakt für andere nationale Selbsthilfe- und Patientenorganisationen. Er arbeitet eng mit den lokalen Patientenforschungsbeiräten an den NCT Standorten zusammen. Die jährliche Konferenz „Patienten als Partner der Krebsforschung“ stärkt die Vernetzung der Patientenvertretenden deutschlandweit, und zwar weit über das NCT hinaus.

Volles Engagement bis zum Schluss

Als Carol Peitzsch erfährt, dass sie unheilbar an Krebs erkrankt ist, entschließt sie sich, Spenden für die Krebsforschung zu sammeln.

„Meine Frau Carol hat nach der Diagnose sofort und mit vollem Engagement nicht nur jegliche Forschung, die sie in die Finger bekommen konnte, gelesen und sich eingearbeitet, sie hat auch gleich Spenden für die Lungenkrebsforschung eingeworben“, erinnert sich Sebastian Peitzsch. Im Jahr 2022 war bei seiner Ehefrau metastasierter Lungenkrebs entdeckt worden. Die gebürtige US-Amerikanerin begann daraufhin, mit Spendenwalks und dem Verkauf selbst designter T-Shirts verschiedene Lungenkrebs-Organisationen in den Vereinigten Staaten zu unterstützen. Mehr Aufmerksamkeit für das Thema Lungenkrebs und dessen Vorsorge zu schaffen, war eines ihrer Ziele.

Es folgte schließlich ein Projekt, in das nicht nur Carol Peitzsch, sondern auch ihre Familie und Freunde viel Zeit und Herzblut investierten: ein Golfturnier zugunsten der Krebsforschung am DKFZ. „Es war für

frühere Bob-Weltmeister Manuel Machata teilzunehmen, zusammen.

DAS GOLFTURNIER ALS VERMÄCHTNIS

Knapp drei Wochen nach dem Turnier verstarb Carol Peitzsch im Alter von 55 Jahren. Ihr Wunsch war es, mit dem Golfturnier ein Vermächtnis zu hinterlassen. So soll „Golf4Research“ zu einer jährlichen Veranstaltung werden. „Damit Krebs hoffentlich eines Tages besiegt werden kann, möchten wir die Forschung dauerhaft unterstützen“, sagt Sebastian Peitzsch. „Wir würden uns deshalb freuen, wenn das Turnier wächst und wir weitere Sponsoren und noch mehr Teilnehmer für das Event gewinnen könnten.“ Der Termin im kommenden Jahr ist der 28. Juni – weitere Informationen erhalten Sie unter dem im Kasten angegebenen Kontakt.

Dank moderner Medikamente erhält Carol zusätzliche Zeit.

Carol ganz klar, dass sie mit dem Erlös die Forschung unterstützen wollte“, erzählt Sebastian Peitzsch. „Sie wusste, dass es der Therapie mit einem neuen, zielgerichteten Medikament zu verdanken war, dass sie – und damit wir – zwei gute Jahre erleben durften.“ Anfang Juni 2024 fand das Charity-Turnier im Golfclub Schloss Maxrain bei Bad Aibling statt. Carols Gesundheitszustand hatte sich zu dieser Zeit so weit verschlechtert, dass sie selbst nicht mehr vor Ort dabei sein konnte. Stattliche 15.000 Euro kamen durch das Event, an dem auch Sportgrößen wie der



Engagieren auch Sie sich für die Krebsforschung. Spenden Sie oder rufen Sie im Rahmen einer Spendenaktion zu Spenden auf.

Falls Sie Fragen haben:

Kontaktieren Sie uns unter

spende@dkfz.de oder **06221/42-5447**

Spendenkonto: Sparkasse Heidelberg

IBAN: DE98 6725 0020 0005 0000 50

BIC: SOLADES1HDB

Gemeinsam bewegen – Krebsrisiko senken

Nationale Krebspräventionswoche 2024

Wer sich täglich bewegt, kann das individuelle Krebsrisiko senken. Denn 6 von 100 Krebserkrankungen sind auf einen Mangel an Bewegung zurückzuführen. In der Nationalen Krebspräventionswoche, die vom 9. bis 15. September stattfand, informierten deshalb das Deutsche Krebsforschungszentrum, die Deutsche Krebshilfe und die Deutsche Krebsgesellschaft über den Zusammenhang von körperlicher Aktivität und Krebs. Die drei Organisationen fordern täglichen, unbenoteten Schulsport, um Kindern frühzeitig den Spaß an Bewegung zu vermitteln, sowie niedrigschwellige Bewegungsangebote über alle Altersstufen hinweg.

ÜBER DIE NATIONALE KREBSPRÄVENTIONSWOCHE



Die Nationale Krebspräventionswoche ist eine gemeinsame Initiative der Deutschen Krebshilfe, des Deutschen Krebsforschungszentrums und der Deutschen Krebsgesellschaft. Die drei Organisationen machen damit auf das große Potenzial der Prävention aufmerksam. Die Vision: Krebs soll gar nicht erst entstehen. Die Krebspräventionswoche findet jährlich im Monat September statt. Im Fokus steht jedes Jahr ein anderer Lebensstil-Faktor, der das Krebsrisiko beeinflusst. Weitere Informationen zur Krebspräventionswoche unter: www.dkfz.de/krebspraeventionswoche

NATIONALE
KREBSPRÄVENTIONS
WOCHE

Willst Du
mit mir
Treppen
gehen?

ja
 klar
 unbedingt

#MitMirGehen

Gemeinsam bewegen
Krebsrisiko senken!

Deutsche Krebshilfe
HELFFEN, FORSCHEN, INFORMIEREN.

dkfz. DEUTSCHES
KREBSFORSCHUNGSZENTRUM
IN DER HELMHOLTZ-GESELLSCHAFT

DKG
KREBSGESELLSCHAFT

1. AUSGANGSFRAGE

Kann künstliche Intelligenz dazu beitragen, unnötige Biopsien zu vermeiden, wenn ein Verdacht auf Prostatakrebs besteht?



TITEL

„Prostate cancer risk assessment and avoidance of prostate biopsies using fully automatic deep learning in prostate MRI: comparison to PI-RADS and integration with clinical data in nomograms“

ERSTAUTOR

Adrian Schrader^{1,2}

LEITER DER STUDIE

David Bonekamp^{1,2,3}

¹ Deutsches Krebsforschungszentrum

² Medizinische Fakultät Heidelberg

³ Nationales Centrum für Tumorerkrankungen (NCT) Heidelberg

VERÖFFENTLICHT IN

„European Radiology“ am 2. Juli 2024

2. HINTERGRUND

Ergibt ein PSA-Test einen erhöhten Wert, so kann dies ein Hinweis auf ein Prostatakarzinom sein. Um diesen Verdacht abzuklären, findet in der Regel eine sogenannte „multiparametrische MRT“ statt. Diese Art der Bildgebung kombiniert verschiedene Aufnahmeverfahren und liefert dadurch sehr detaillierte Bilder.

Endgültige Gewissheit liefert aber erst eine Gewebeentnahme aus der Prostata. Die Biopsie ist jedoch für die Patienten belastend und kann in seltenen Fällen zu Infekten oder Blutungen führen. Deshalb suchen Ärzte nach Möglichkeiten, diejenigen Männer herauszufiltern, die nur ein minimales Krebsrisiko haben. Ihnen könnte man die Gewebeentnahme ersparen oder diese um einige Zeit aufschieben.

Zur Abschätzung des Krebsrisikos nutzen die Mediziner derzeit einen Kalkulator, der neben Parametern wie dem PSA-Wert, dem Alter und dem Prostatavolumen auch die MRT-Befunde berücksichtigt. Dabei kommt ein als PI-RADS bezeichnetes System zur systematisierten Befundung der MRT-Aufnahmen zum Einsatz. Die Forscher wollten herausfinden, ob eine auf Deep Learning basierende KI die Vorhersage weiter verbessern kann.

3. ANALYSEN UND ERGEBNISSE

Das Team wertete retrospektiv Daten von mehr als 1.300 Männern aus, die zwischen 2014 und 2021 in Heidelberg eine multiparametrische MRT-Bildgebung der Prostata erhalten und sich anschließend einer Biopsie unterzogen hatten. Zunächst wurde ein am DKFZ entwickelter Algorithmus zur Auswertung von Bild-daten mit den MRT-Aufnahmen von über 800 dieser Männer trainiert. An den übrigen etwa 500 Datensätzen untersuchten die Forscher anschließend, ob eine Kombination ihres Risikokalkulators mit der KI die Vorhersagegenauigkeit für Prostatakrebs verbessern kann.

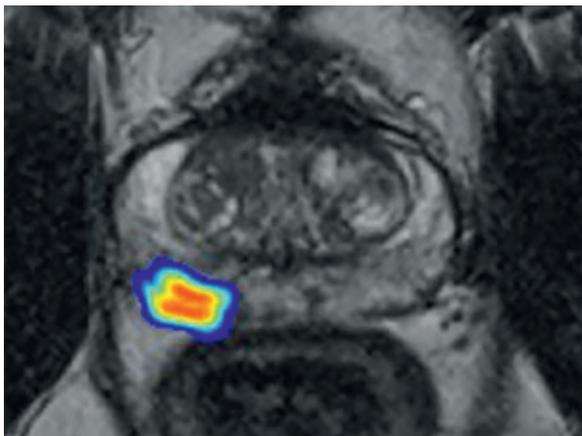
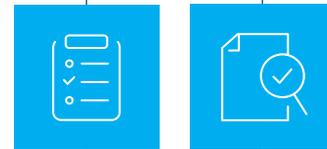
Das Ergebnis:

Wurde der PI-RADS-Wert im Risikokalkulator durch das KI-Verfahren ersetzt, so änderte sich die diagnostische Aussagekraft kaum. Dagegen lieferte die Kombination von KI und PI-RADS deutlich bessere Resultate: Sie identifizierte bei etwa der Hälfte der Männer nur ein minimales Risiko. Bei ihnen hätte die Gewebeentnahme theoretisch vermieden werden können.

4. FAZIT

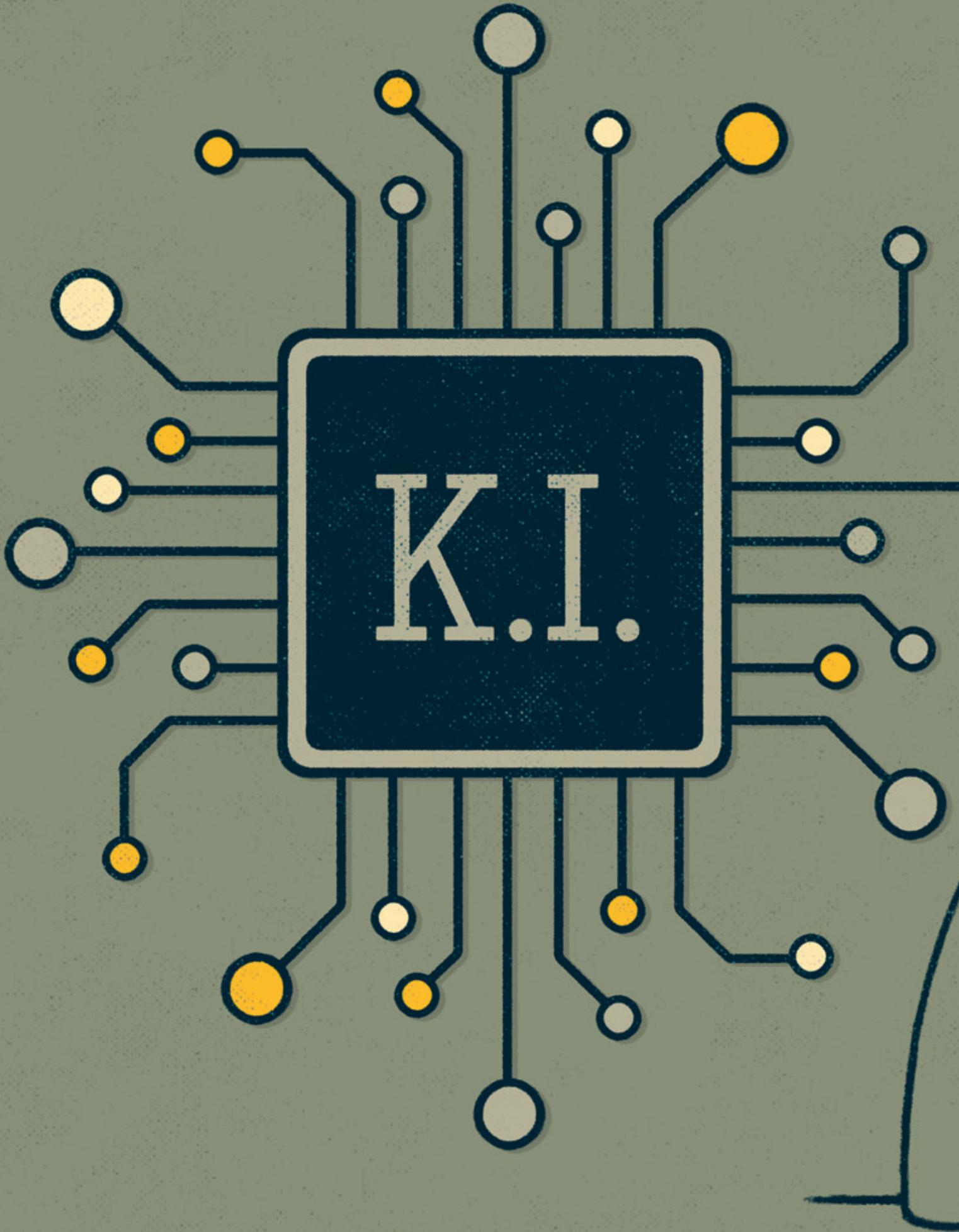
Für Patienten mit einem auffälligen PSA-Wert könnte es in Zukunft einen großen Vorteil bedeuten, die KI-Analyse in die weiterführende Diagnostik zu integrieren. Denn durch die Kombination von Risikomarkern, einer systematischen Befundung der MRT-Aufnahmen und künstlicher Intelligenz lässt sich das Risiko für das Vorliegen eines Prostatakarzinoms vermutlich präziser als bisher vorhersagen. Offenbar liefern die KI und die PI-RADS-Befundung durch erfahrene Radiologen sich ergänzende diagnostische Informationen.

Bei Männern mit einem geringen Risiko ist dann möglicherweise keine Gewebeentnahme erforderlich. Prospektive Studien müssen allerdings den Nutzen des Verfahrens bestätigen, und klären, dass es keine Nachteile für die Patienten hat.



MRT UND KI

Um einen Verdacht auf Prostatakrebs abzuklären, können Ärzte zur weiterführenden Diagnostik eine Magnetresonanztomographie-Bildgebung anordnen. Gibt es auffällige Bereiche in der MRT-Aufnahme, werden dort gezielt Gewebeproben entnommen. In vielen Fällen bestätigt sich der Verdacht dann nicht. Das Forscherteam des DKFZ hat nun untersucht, ob künstliche Intelligenz zukünftig dabei helfen kann, diejenigen Männer zu identifizieren, denen man die Gewebeentnahme ersparen oder bei denen man diese um einige Zeit aufschieben könnte.



Symbiose zwischen KI und Mensch

Der Informatiker Paul Jäger leitet am DKFZ die Arbeitsgruppe „Interaktives Maschinelles Lernen“. Im Interview erklärt er, wie sein Team die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine verbessert und weshalb es auch künftig einen menschlichen Arzt braucht.

Text: **Janosch Deeg** Illustrationen: **Jens Bonke**



Herr Jäger, wie wird man als studierter Teilchenphysiker KI-Experte am DKFZ?

Als ich Physik am KIT in Karlsruhe studierte, wusste ich noch nicht genau, was ich beruflich machen will. Weil ich Machine Learning spannend fand, habe ich mich zu Beginn meines Masterstudiums auf die Datenanalyse spezialisiert. In meiner Abschlussarbeit habe ich dann Daten eines Teilchenbeschleunigers mit KI-Methoden ausgewertet. Das war absolute Grundlagenforschung und sehr abstrakt. Letztlich hat mir das Entwickeln der KI-Werkzeuge mehr Spaß gemacht als die Physik dahinter, weshalb ich mich in der Promotion dann auf die Bildanalyse spezialisiert habe. Hier bekommt man viel schneller relevante Ergebnisse.

Seit 2021 leiten Sie die Nachwuchsgruppe „Interaktives Maschinelles Lernen“ am DKFZ.

Was erforscht Ihr Team?

Wir entwickeln vor allem KI-Werkzeuge, um verschiedene Arten von Bilddaten zu analysieren. Unser Fokus liegt dabei auf der Interaktion zwischen KI und

„Bei der Anwendung wollen wir die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine unter anderem verlässlich gestalten. Das bedeutet vor allem, dass das Modell seine Benutzer darüber informieren muss, wie groß die Unsicherheit des Ergebnisses ist.“



Mensch – wir wollen zwischen ihnen gewissermaßen eine Symbiose schaffen. Finanziert wird meine Gruppe von der Helmholtz Imaging Platform, das ist eine Initiative über alle Helmholtz-Zentren hinweg, um Synergien in der Bildverarbeitung zu erzeugen und zu nutzen. Die Arbeit unserer Gruppe soll also nicht nur den Forscherinnen und Forschern am DKFZ helfen, sondern auch denen an anderen Helmholtz-Zentren wie etwa am Ozeanforschungsinstitut Geomar oder dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt.

Wie gelingt eine Symbiose zwischen Mensch und KI?

Das fängt schon beim Training an: Um zum Beispiel eine KI darauf zu trainieren, Krebs in einem MRT-Bild zu erkennen, müssen Menschen die Tumoren im Vorfeld in den Aufnahmen markieren. Wenn man den Menschen nun interaktiv in den Prozess einbindet, kann man die benötigte Anzahl an markierten Bildern erheblich reduzieren. Die KI meldet schon während des Trainings zurück, welche Infos den größten Mehrwert haben. Bei der Anwendung wiederum wollen wir die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine unter anderem verlässlich gestalten. Das bedeutet vor allem, dass das Modell seinen Benutzer darüber informieren muss, wie groß die Unsicherheit des Ergebnisses ist. Daneben wollen wir erklärbare Modelle – also solche, die den Benutzern die Möglichkeit geben, zu verstehen, anhand welcher Merkmale in den Daten die KI Entscheidungen trifft.

Wie macht man die Modelle „erklärbar“?

Nach dem Training der KI versucht man mit Analysewerkzeugen herauszufinden, welche Informationen in den Daten relevant sind. Hierfür kann man zum Beispiel in einem bereits analysierten Bild Änderungen vornehmen – etwa unterschiedliche Bereiche schwärzen. Dann schaut man, wie sich die Entscheidung der KI verändert. Mit solchen Testexperimenten gewinnt man Erkenntnisse darüber, was die KI „anschaut“. Man versteht dann zwar immer noch nicht, was im Innern des neuronalen Netzes passiert. Das ist jedoch auch nicht immer notwendig, um die Entscheidungsfindung nachzuvollziehen – zum Beispiel bei der Frage: „Ist das Krebs – ja oder nein?“

Was bringt diese Erklärbarkeit?

Normalerweise stellt man damit sicher, dass das Modell keinen „Blödsinn“ macht – also zum Beispiel irgendwelche Artefakte als Information heranzieht. Wir konnten nun aber zeigen, dass eine erklärbare KI auch zu neuen Erkenntnissen verhelfen kann. Ein Beispiel: Diabetologen wollen wissen, wo im Bild sich in histologischen Aufnahmen der Bauchspeicheldrüse Diabetes-Typ-2 manifestiert. Es gibt Hypothesen, aber man weiß es schlichtweg nicht. Wir haben nun eine KI mit diesen Bildern trainiert und ihr dann mit Werkzeugen der „erklärbaren KI“ über die Schulter geschaut. So konnten wir herausfinden, woran die KI die Krankheit auf den Bildern festmacht.

Wie sieht Ihr Arbeitsalltag aus?

Da wir eine relativ kleine Gruppe sind, kann ich mich noch um die einzelnen wissenschaftlichen Projekte meiner Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter kümmern. Zudem bin ich sehr engagiert in der Helmholtz Imaging Platform und dem Data Science Incubator, einem Think Tank von Helmholtz-Expertinnen und -Experten, der zur Entwicklung neuer Konzepte und Projekte dient. Ein weiterer großer Aufgabenbereich sind Kooperationen mit den beiden anderen Gruppen am DKFZ, die sich ebenfalls mit KI-basierter Bildanalyse beschäftigen. Gemeinsam haben wir mehr Daten und mehr Rechenpower.

Mensch und Maschine haben ganz unterschiedliche Stärken. Um diese optimal miteinander zu verbinden, sollen die KI-Systeme zukünftig noch interaktiver werden.



Eine KI kann automatisiert anhand von Millionen von Bildern lernen – das gibt ihr das Potenzial, auch in schwierigen Situationen verlässliche Aussagen zu treffen. Gleichzeitig lernt die KI aber auch weniger effizient als ein Mensch. Sie benötigt deutlich mehr Bilder, um diese in einen Kontext zu setzen und richtig einordnen zu können.

Haben Sie ein Beispiel?

Das Human Radiome Project, das ich zusammen mit Klaus Maier-Hein leite. Hier sammeln wir momentan fünf Millionen anatomische 3-D-Aufnahmen des Menschen. Ähnlich wie beim Human Genome Project, bei dem es darum ging, das menschliche Genom zu entschlüsseln, versuchen wir, ein KI-Modell zu trainieren, das ein fundamentales Verständnis der Anatomie des Menschen entwickelt. Damit lassen sich dann zum Beispiel Tumoren mit deutlich weniger Entwicklungs- und Trainingsaufwand im Körper lokalisieren und markieren, um sie anschließend präzise bestrahlen zu können.

Wagen wir einen Blick in die Zukunft: Wird KI bald im klinischen Alltag omnipräsent sein?

Von der methodischen Seite könnten wir in fünf Jahren so weit sein, dass wir in vielen Bereichen sinnvolle Werkzeuge anbieten können. Dann ist aber die Frage, inwiefern und wie schnell die Kliniken diese Transformation hinbekommen. Da muss erst noch eine große Lücke in der Digitalisierung geschlossen werden, bevor die KI zum Einsatz kommen kann. Aber sie wird sicher einen immer größeren Stellenwert im klinischen Alltag einnehmen.

Und Diagnosen stellen und Therapieentscheidungen treffen?

Ich denke, in naher Zukunft werden keine Entscheidungen alleine durch eine KI getroffen – schon aus Haftungsgründen. Sie wird als Unterstützung eingesetzt werden. Und ähnlich wie bei Medikamenten werden wir dann den Einsatz der KI-Methode validieren. Sind die Ergebnisse mit KI-Support im Schnitt besser als ohne? Selbstverständlich wird das nicht immer so sein. Aber kein Medikament wirkt zu 100 Prozent, und auch der Mensch trifft falsche Entscheidungen. Von der KI dürfen wir daher auch keine Unfehlbarkeit erwarten.

Ich wage zu behaupten, dass die KI im Schnitt bessere Entscheidungen treffen wird als der Mensch. Führt das dann nicht dazu, dass sich Ärzte zu sehr auf die Maschine verlassen?

Das ist ein wichtiger Punkt. In Studien wurde zum Beispiel gezeigt, dass es einen sogenannten „Automation Bias“ gibt. Menschen vertrauen also recht schnell dem Urteil der Maschine – und fällen daher manchmal schlechtere Entscheidungen. Das war vor allem bei jungen, unerfahrenen Ärzten der Fall. Daher ist die Unsicherheitsabschätzung einer KI-Analyse so wichtig. Das System sollte quasi den Arzt warnen: Vorsicht, hier nochmal genauer schauen und nicht auf mein Urteil verlassen.

Die KI macht den Arzt also nicht überflüssig?

Mensch und Maschine werden zusammenarbeiten. Die KI kann manches besser, aber manches auch schlechter. Menschen lernen zum Beispiel deutlich effizienter: Man zeigt einem Kind ein paar Bilder von Katzen und Hunden und schon kann es die Tiere auseinanderhalten. Die KI braucht für solche Aufgaben typischerweise hunderte Aufnahmen. Bei seltenen Krankheiten ist das für eine KI ein Problem. Einem Arzt reichen vielleicht schon zwei, drei Bilder eines seltenen multiplen Myeloms, um es in einen Kontext zu setzen und richtig einzuordnen. Auch in der Beurteilung von Daten sind Menschen robuster gegenüber Variationen. Wenn zum Beispiel Bilder mit unterschiedlichen Geräten aufgenommen wurden, kann dies die KI mehr verwirren als den Menschen.

Und was kann die KI besser als der Arzt?

Sie kann automatisiert anhand extrem vieler Beispiele lernen. Bei medizinischen Bildern werden das in Zukunft mehrere Millionen sein, viel mehr als ein einzelner Kliniker in seinem ganzen Leben zu Gesicht bekommt. Das gibt der KI das Potenzial, auch in schwierigen Fällen verlässliche Aussagen zu treffen. Hinzu kommt, dass der Computer nichts übersieht, Menschen hingegen schon. Es gibt Studien, in denen die Ärzte einen Gorilla nicht bemerkt haben, der auf medizinischen Aufnahmen nachträglich hinzugefügt wurde. Und in Zukunft wird ein klinischer KI-Assistent verschiedene Datentypen wie medizinische Bilder, histologische Befunde, Genomdaten, Bluttests oder Urintests miteinander kombinieren und verarbeiten und dann Empfehlungen aussprechen. Diese Entwicklung kann aufwändige Besprechungen wie Tumorboards teilweise ersetzen und geht Hand in Hand mit der Zukunftsvision der personalisierten Medizin.



*Der Physiker und KI-Spezialist **Paul Jäger** promovierte am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und am Deutschen Krebsforschungszentrum. Nach einem Forschungsaufenthalt in Kanada kehrte er 2020 als Postdoc ans DKFZ zurück und leitet dort seit 2021 die Nachwuchsgruppe Interaktives Maschinelles Lernen.*

Ich forsche für ein Leben ohne Krebs

Pei-Chi Wei

A portrait of Pei-Chi Wei, a woman with long dark hair, wearing a light blue sleeveless top. The photo is tilted slightly to the right.

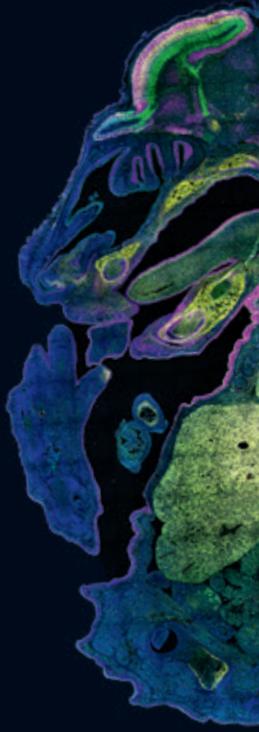
PEI-CHI WEI

Helmholtz Young Investigator,
Leiterin der Nachwuchsgruppe
Hirngenom-Mosaizismus und
Tumorgenese

An aerial view of the Taipei skyline at dusk, featuring the prominent Taipei 101 skyscraper. The photo is tilted slightly to the right.

MEINE HERKUNFT

Taipeh, die Hauptstadt von Taiwan, ist meine Heimatstadt. Mit über 6 Millionen Einwohnern lebt in Taipeh fast ein Drittel der gesamten Bevölkerung Taiwans. Das Wahrzeichen der Stadt, Taipei 101, zählt zu den höchsten Gebäuden der Welt.



MEIN WERDEGANG

BOSTON

2013 - 2019
Boston Children's
Hospital
Boston, USA

2016 - 2019
Harvard Medical
School
Boston, USA

HEIDELBERG

SEIT 2019
Deutsches Krebs-
forschungszentrum
Heidelberg

TAIPEH

2000 - 2006
Studium (Zoologie
und Immunologie);
National Taiwan
University
Taipeh, Taiwan

2008 - 2013
Promotion
(Molekularbiologie);
National Defense
Medical Center
Taipeh, Taiwan

2013
Academia Sinica
Taipeh, Taiwan



UND SONST?

MEINE FORSCHUNG

Das Gehirn, ein hochentwickeltes Rechenzentrum für jedes Individuum, steuert, wie wir mit äußeren Reizen interagieren. Dieser Prozess wird von mehreren funktionellen Arealen reguliert, die jeweils aus Hunderten von Zelleinheiten bestehen, die von einer einzigen neuronalen Vorläuferzelle abgeleitet sind. Unsere Forschung konzentriert sich darauf, zu verstehen, ob jede Einheit innerhalb eines funktionellen Areals gleich groß ist und ob Veränderungen in der Größe der Einheiten zu Hirntumoren oder neurologischen Störungen führen könnten.

Ich genieße es, die Welt mit meinen Liebsten neu zu erforschen. Hand in Hand gehen wir neuen Abenteuern im Leben entgegen, geführt von der Liebe.

“I cherish re-exploring the world with my loved ones. Hand in hand, we walk upwards toward new adventures in life, guided by love.”





3. Patientenexpertenkonferenz in Dresden

Lernen, verändern, kooperieren – vom 20. bis 22. September kamen Patientenvertreterinnen und -vertreter sowie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus ganz Deutschland zur Patientenexpertenkonferenz „Patienten als Partner der Krebsforschung“ in Dresden zusammen. Die dritte Konferenz dieser Art wurde vom Deutschen Krebsforschungszentrum veranstaltet und vom Nationalen Centrum für Tumorerkrankungen organisiert. Von Vorträgen über Talkrunden und Science Slams bis hin zu Workshops wurden den 170 Teilnehmenden vielfältige Formate geboten. Es zeigte sich eindrucksvoll, wie die Patientenforschungsräte des NCT inzwischen von Beginn an in die Entwicklung und Gestaltung von Krebsstudien einbezogen werden und dabei eng mit Wissenschaftlern und Ärzten zusammenarbeiten. Wie ein roter Faden zog sich das Thema künstliche Intelligenz durch zahlreiche Programmpunkte. So erfuhren die Patientenvertreter, wie relevant KI mittlerweile für die Standardisierung, Datenerfassung und -auswertung und damit für die gesamte digitale Zukunft der Krebsforschung ist.

Das **Nationale Centrum für Tumorerkrankungen (NCT)** ist eine langfristig angelegte Kooperation zwischen dem Deutschen Krebsforschungszentrum (DKFZ), exzellenten Partnern in der Universitätsmedizin und weiteren herausragenden Forschungspartnern an verschiedenen Standorten in Deutschland.



Videoratgeber für Familien mit krebserkrankten Kindern

Erkrankten Kinder und Jugendliche an Krebs, verändert sich für sie und ihre Familien die ganze Welt. Krebstherapien und Krankenhausaufenthalte hinterlassen dabei nicht nur körperlich Spuren. Der von der Deutschen Kinderkrebsstiftung geförderte Videoratgeber „Krebs bei Kindern klargemacht“ des Hopp-Kindertumorzentrums Heidelberg (KiTZ) mit TV-Moderator Johannes Wimmer wird jetzt um eine neue Videoreihe zu den wichtigsten psychosozialen Themen erweitert, die auf die betroffenen Familien zukommen. Neben Hilfsangeboten und Tipps, wie Familien den veränderten Alltag mit Krebs gestalten können, möchte der Ratgeber Wege aufzeigen, wie man mit den emotionalen Belastungen der Krankheit umgehen und dabei alle Familienmitglieder im Blick behalten kann. Alle Videos des Ratgebers sind auf den Social-Media-Kanälen und der Webseite des KiTZ und der Deutschen Kinderkrebsstiftung verfügbar und können von allen kideronkologischen Einrichtungen kostenlos angefragt werden.

Alle Videos des Patientenratgebers „Krebs bei Kindern klargemacht“ hier:



Das **Hopp-Kindertumorzentrum Heidelberg (KiTZ)** ist eine gemeinsame Einrichtung des Deutschen Krebsforschungszentrums, des Universitätsklinikums Heidelberg und der Universität Heidelberg. Es ist gleichzeitig Therapie- und Forschungszentrum für onkologische und hämatologische Erkrankungen im Kindes- und Jugendalter.



Fresszellen aus der Kulturschale für die Krebstherapie

Zellbasierte Krebstherapien scheitern heute vielfach daran, dass die verwendeten Immunzellen nicht effizient in den Tumor eindringen können. Der Einsatz bestimmter Fresszellen – sogenannter Makrophagen – gilt als vielversprechende Alternative. Sie haben die intrinsische Fähigkeit, in Tumoren einzudringen und dort Krebszellen zu beseitigen. Bislang ließen sich die Fresszellen jedoch nicht in ausreichenden Mengen in der Kulturschale vermehren. Forschende des DKTK am Klinikum der LMU München haben nun eine Lösung gefunden: Ein Team um Philipp Greif und Christian Wichmann stattete Blutstammzellen mit einem molekularen Schalter aus, der über eine spezielle Substanz in der Nährlösung umgelegt werden kann. In Anwesenheit der Substanz lassen sich aus den Stammzellen in großen Mengen Vorläuferstadien der Makrophagen züchten. Entfernt man die Substanz, können diese Zellen anschließend durch geeignete Stimuli zur endgültigen Differenzierung angeregt werden. Auf diesem Wege entstehen funktionsfähige Makrophagen. Weitere präklinische Studien sollen nun zeigen, ob sich diese Zellen gegen Tumoren einsetzen lassen. Dazu sollen die Makrophagen gentechnisch mit Rezeptormolekülen ausgestattet werden, die hochspezifisch bestimmte Merkmale der Tumorzellen erkennen. Wenn sich diese Strategie im Tierversuch bewährt, können klinische Studien mit Krebspatientinnen und -patienten geplant werden.

Mit dem DKFZ als Kernzentrum kooperieren im **Deutschen Konsortium für Translationale Krebsforschung (DKTK)** langfristig exzellente Partner in der Universitätsmedizin und weitere herausragende Forschungspartner an acht Standorten in Deutschland, um signifikante Beiträge zur Schließung der translationalen Lücke zwischen der Grundlagenforschung und der klinischen Forschung zu leisten.

Krebs durch Kaffee?

Besteht ein Krebsrisiko durch Kaffee oder hat er sogar eine schützende Wirkung? Wir ordnen die Datenlage ein.



Die Internationale Krebsforschungsagentur (IARC) der Weltgesundheitsorganisation (WHO) stuft das Krebsrisiko für Kaffee insgesamt als „nicht bewertbar“ ein. Das liegt vor allem daran, dass es sich bei Lebensmitteln wie Kaffee um Gemische aus verschiedenen Inhaltsstoffen handelt, die zudem in unterschiedlichen Mengen enthalten sind. Manche von ihnen können gesundheitsfördernd wirken. Kaffee enthält aber auch in sehr geringen Mengen Stoffe, die allein betrachtet als „wahrscheinlich oder möglicherweise krebserregend“ gelten, beispielsweise Furan, Acrylamid oder Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe.

Die derzeitige Datenlage spricht trotz dieser Stoffe dafür, dass Kaffee keinen Krebs verursacht. Laut Bundinstitut für Risikobewertung (BfR) in Deutschland kann das zwei Gründe haben: Zum einen können andere Inhaltsstoffe die möglicherweise schädliche

Wirkung abmildern oder neutralisieren. Oder die Menge schädlicher Stoffe im Kaffee ist so gering, dass dadurch in den verfügbaren Studien keine negativen Auswirkungen auf die Gesundheit zu beobachten waren. Denn auch wenn Fachleute der IARC Stoffe als wahrscheinlich oder möglicherweise krebserregend einstufen, ist damit nicht zwangsweise ein realistisches Krebsrisiko verbunden. Entscheidend ist die Menge dieser Stoffe, die man täglich zu sich nimmt.

NICHT ZU HEISS TRINKEN

Kaffee oder auch Tee sollten übrigens nicht zu heiß getrunken werden: Es gibt starke Hinweise, dass Getränke mit einer Temperatur von über 65°C das Risiko für Speiseröhrenkrebs erhöhen können. Deshalb haben Fachleute das Trinken sehr heißer Getränke als wahrscheinlich krebserregend eingestuft.

Besser im zertifizierten Krebszentrum

Krebserkrankte überleben länger, wenn ihre Erstbehandlung in einem zertifizierten Krebszentrum stattfindet.

Krankenhäuser können ihre Erfahrung mit Krebserkrankungen durch eine Zertifizierung bestätigen lassen, zum Beispiel von der Deutschen Krebsgesellschaft. Dafür muss eine Klinik bestimmte Anforderungen erfüllen: Sie muss beispielsweise jährlich eine Mindestanzahl an Erkrankten mit der betreffenden Tumorart behandeln und sich an den aktuellen ärztlichen Leitlinien orientieren. Forschende aus Dresden, Regensburg und Berlin haben nun in der Studie „WiZen“ untersucht, ob eine Therapie an einem zertifizierten Zentrum Vorteile für Krebserkrankte mit sich bringt. Zu den elf untersuchten Krebsarten gehörten zum Beispiel Brust-, Prostata-, Darm- und Lungenkrebs, aber auch seltenere Tumorarten wie Kopf-Hals-Tumoren.

KREBSERKRANKE PROFITIEREN

Die Studie zeigt: Patientinnen und Patienten überlebten ihre Krebserkrankung im Schnitt länger, wenn sie in einem zertifizierten Zentrum behandelt wurden. Das galt für alle untersuchten Tumorarten.

Zwischen 2009 und 2017 ließen sich jedoch bei fast allen untersuchten Krebsarten weniger als die Hälfte der beobachteten Patientinnen und Patienten in einem zertifizierten Krebszentrum behandeln. Selbst bei der einzigen Ausnahme Brustkrebs waren es nur etwa sechs von zehn Patientinnen. Diese Zahlen sind im Lauf der Jahre nur leicht gestiegen. Bei der Suche nach einer geeigneten Klinik spielen unterschiedliche Aspekte eine Rolle, zum Beispiel auch, wie gut sie erreichbar ist. Betroffene können die Erkenntnisse dieser Studie jedoch bei ihrer Wahl berücksichtigen. Von der Deutschen Krebsgesellschaft zertifizierte Krebszentren finden Sie unter www.oncomap.de



Fragen zu Krebs?

Wir sind für Sie da! Der Krebsinformationsdienst des DKFZ bietet unter **0800/420 30 40** täglich von 8 bis 20 Uhr sowie unter **krebsinformationsdienst@dkfz.de** und **www.krebsinformationsdienst.de** verständliche und wissenschaftlich fundierte Informationen zum gesamten Spektrum der Onkologie: zu Vorbeugung, Früherkennung, Diagnose und Therapie, zum Leben mit Krebs, zur Krebsforschung und zu relevanten Ansprechpartnern.

Der mit 100.000 Euro dotierte Landesforschungspreis Baden-Württemberg für Spitzenleistungen in der angewandten Forschung ging dieses Jahr an **Lena Maier-Hein** (DKFZ). Die Jury zeichnet damit ihre Pionierarbeit zur Entwicklung und Validierung neuer Methoden der KI-basierten Bildgebung aus.

Der Förderverein „Freunde des Deutschen Krebsforschungszentrums“ zeichnete **Titus Brinker** (DKFZ) mit dem DKFZ Innovation Award aus, der mit 25.000 Euro dotiert ist.

Für ihr herausragendes Engagement für die Prävention von Darmkrebs wurden **Thomas Heisser**, **Michael Hoffmeister** und **Hermann Brenner** (alle DKFZ) als Preisträger des Felix Burda Award 2024 in der Kategorie „Medizin & Wissenschaft“ ausgezeichnet. Die drei Preisträger erhielten einen Gutschein für ein Advertorial in der Apothekenzeitschrift „My Life“ im Wert von über 25.800 Euro.

Für sein herausragendes Engagement für die Krebsforschung in Deutschland erhielt **Markus Wartenberg**, der Sprecher des NCT Patientenforschungsrats, den mit 5.000 dotierten DKFZ-Patienten-Experten-Preis.

Die Helmholtz-Gemeinschaft hat **Leonardo Ayala** (DKFZ) mit dem Doktorandenpreis im Bereich Gesundheit ausgezeichnet. Der Preis ist mit 5.000 Euro dotiert. Zudem wird ein Forschungsaufenthalt im Ausland unterstützt oder ein Helmholtz Field Study Fellowship vergeben.

Gleich zwei Forschende vom DKFZ wurden in diesem Jahr mit dem Takeda Oncology Forschungspreis ausgezeichnet: Den ersten Platz, dotiert mit 15.000 EUR, belegt **Florian Janke** (DKFZ) und auf dem zweiten, mit 10.000 EUR dotierten Platz folgt **Melanie Janning** (DKFZ-Hector Krebsinstitut an der Universitätsmedizin Mannheim).

Die Gips-Schüle-Stiftung hat **Mirco Julian Friedrich** (DKFZ, Universitätsklinikum Heidelberg) in der Kategorie Lebenswissenschaften für seine Doktorarbeit ausgezeichnet. Der Gips-Schüle-Nachwuchspreis ist mit 10.000 Euro dotiert.



Preise & Auszeichnungen

Die Universität Würzburg verlieh **Michael Baumann**, dem Vorstandsvorsitzenden des DKFZ, die Ehrendoktorwürde. Er erhielt die Auszeichnung für seine herausragende translationale radio-onkologische Forschung sowie für sein Engagement für den Ausbau des Nationalen Centrums für Tumorerkrankungen (NCT).

Jens Puschhof (DKFZ) erhielt einen der renommierten Starting Grants des Europäischen Forschungsrats (ERC). Puschhof möchte mithilfe der Fördermittel untersuchen, welche Rolle Bakterien, die Krebsmetastasen besiedeln, bei der Ausbreitung des Tumors im Körper spielen.

Michael Platten (DKFZ, Universitätsklinikum Mannheim) wurde mit dem Paul-Martini-Preis 2024 ausgezeichnet. Der mit 50.000 Euro dotierte Preis wird von der Paul-Martini-Stiftung verliehen. Platten erhielt darüber hinaus auch die Auszeichnung „Falling Walls Science Breakthrough of the Year“ in der Kategorie Life Science. Die Falling Walls Foundation zeichnete damit die wissenschaftlichen Durchbrüche des Jahres 2024 aus.

Ana Banito (DKFZ, Hopp Kindertumorzentrum Heidelberg) erhielt den Hella Bühler-Preis der Universität Heidelberg. Die mit 100.000 Euro dotierte Auszeichnung wird an junge Forschende für herausragende wissenschaftliche Qualität in der Krebsforschung verliehen.

Für verbesserte zelluläre Immuntherapien bei krebskranken Kindern und Jugendlichen erhielt **Franziska Blaesche**, (DKFZ, Hopp-Kindertumorzentrum Heidelberg) den Johann-Georg-Zimmermann-Preis 2024. Die Auszeichnung ist mit 10.000 Euro dotiert.

Die Helmholtz-Gemeinschaft und der Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft zeichneten den Biochemiker **Oliver Bruns** (NCT/UCC Dresden und DKFZ) und die Chemikerin **Ellen Sletten** (UCLA) mit dem Helmholtz High Impact Award 2024 aus. Die Auszeichnung ist mit 50.000 Euro dotiert.

38. Jahrgang, Ausgabe 2/2024
ISSN 0933-128X

Herausgeber

Deutsches Krebsforschungszentrum, Heidelberg

Verantwortlich

Dr. Katharina Gudd
Stabsstelle Strategische Kommunikation und
Öffentlichkeitsarbeit

Redaktion

Frank Bernard

Gestaltung

Bohm und Nonnen, Büro für Gestaltung GmbH,
Darmstadt

Druck

Bonifatius GmbH, Druck – Buch – Verlag, Paderborn

Abonnement

Sie können die Zeitschrift einblick kostenlos
abonnieren unter www.dkfz.de/einblick. Den
digitalen einblick können Sie über die kostenlose
einblick-App für iOS und Android lesen.

Nachdruck

Die Wiedergabe und der Nachdruck von Artikeln
aus dem einblick sind nur mit ausdrücklicher
Genehmigung der Redaktion erlaubt.

Redaktionsanschrift

Deutsches Krebsforschungszentrum
Strategische Kommunikation und
Öffentlichkeitsarbeit
Im Neuenheimer Feld 280
69120 Heidelberg
Telefon: +49 (0)6221 422854
Telefax: +49 (0)6221 422968
E-Mail: einblick@dkfz.de
www.dkfz.de/einblick

An dieser Ausgabe haben außerdem mitgearbeitet:

Dr. Janosch Deeg, Stephanie Hoffmann

Bildnachweis:

Titelbild: Jens Bonnke
Innenteil: Jens Bonnke (S. 2; S. 22-26), Josef Wiegand
(S. 3 oben; S. 11 oben), Emmanuel Polanco/Sepia
(S. 3 unten; S. 13-16), Peakstock/Adobe Stock (S. 4
links), Robert Kneschke/Adobe Stock (S. 4 rechts),
Pavlo Vakhrushev/Adobe Stock (S. 5 oben), GHGA
(S. 5 unten), René Pfister, Medizinische Fakultät

Mannheim (S. 7), Deutsches Hygiene-Museum,
Dresden (S. 9), Heinle, Wischer und Partner, Stuttgart
(S. 10 oben), RNZ-Archiv/Ballerin (S. 10 unten), Ute
Mezler (S. 11 unten), DKFZ (S. 19), Bonekamp/DKFZ
(S. 21), Paul Jäger (S. 27), Jutta Jung/DKFZ (S. 28
links), Pei-Chi Wei (S. 28 rechts, S. 29), Vladimir
Kasoyan/iStock (S. 32), Tobias Schwerdt/DKFZ (S. 33)

Viele weitere Informationen, Pressemitteilungen
und Nachrichten, mehr über uns und unsere Arbeit
finden Sie auf unserer Homepage www.dkfz.de

Sie finden das DKFZ auch auf Facebook, YouTube,
Instagram und bei Twitter.

Aus Gründen der Lesbarkeit und des besseren
Verständnisses findet im einblick überwiegend
die männliche Form Anwendung. Damit ist keine
Bevorzugung eines Geschlechts verbunden.

dkfz. DEUTSCHES
KREBSFORSCHUNGSZENTRUM
IN DER HELMHOLTZ-GEMEINSCHAFT
KREBSINFORMATIONSDIENST

Fragen zu Krebs?
Wir sind für Sie da.



0800 – 420 30 40 (kostenlos)
täglich von 8 bis 20 Uhr



krebsinformationsdienst@dkfz.de



www.krebsinformationsdienst.de





dkfz.

DEUTSCHES
KREBSFORSCHUNGSZENTRUM
IN DER HELMHOLTZ-GEMEINSCHAFT