



Precision Health

Gesundheitsversorgung der nächsten Generation



**Ingénieurs
& Scientifiques**
du Luxembourg a.s.b.l.



Impressum

Titel: Precision Health
Gesundheitsversorgung der nächsten Generation

ISBN: 978-99959-1-468-4 / Luxembourg Institute of Health (LIH), version DE

Autor: LIH, Luxembourg

Verleger: Ingénieurs & Scientifiques du Luxembourg asbl

Art direction: msdesign by myriamschmit

Fotos: Shutterstock, wenn nicht anders vermerkt: LIH

Druck: Printing Ossa, Luxembourg

Copyright: Dieses Buch ist urheberrechtlich geschützt und darf nicht ohne schriftliche ausdrückliche Einwilligung des Herausgebers vervielfältigt werden.

September 2022, 1. Auflage

Precision Health

Gesundheitsversorgung der nächsten Generation

Inhalt

	Vorwort	5
0.1	Unsere Vision: <i>(Ulf Nehrbass)</i>	6
0.2	Wer wir sind: Luxembourg Institute of Health & Integrated Biobank of Luxembourg <i>(Frank Glod)</i>	7
Kapitel 1.	Precision Health & Präzisionsmedizin	9
1.1	Präzisionsmedizin, Präzisionsprävention, Precision Health. Was bedeutet das eigentlich? <i>(Guy Fagherazzi)</i>	10
1.2	Künstliche Intelligenz - die rechte Hand von Arzt/Ärztin <i>(Guy Fagherazzi)</i>	13
1.3	Clinnova - das Potential von Gesundheitsdaten <i>(Jasmin Schulz)</i>	15
1.4	Digitaler Zwilling - ein „Ich“-Bild bestehend aus Daten von allen <i>(Guy Fagherazzi)</i>	17
1.5	Gemeinsam die Krebsbehandlung personalisieren <i>(Simone Niclou / Lars Geffers / Yong-Jun Kwon / Barbara Klink / Guy Berchem)</i>	19
1.6	Deep Immunophenotyping - unsere Zellen sind so einzigartig wie wir selbst <i>(Markus Ollert / Feng He)</i>	20
Kapitel 2.	Daten, das neue Gold	23
2.1	Connected Health - die Daten um uns herum <i>(Laurent Malisoux)</i>	24
2.2	Alles rund um die Probe <i>(Hermann Thien)</i>	26
2.3	Einbeziehung von Menschen mit Erkrankung und Öffentlichkeit - Wir alle sind Forscher:innen <i>(Gloria Aguayo)</i>	28
2.4	Was genau ist ein Exposom? <i>(Brice Appenzeller)</i>	30
2.5	Sie nennen es Bakterien, wir nennen es Mikrobiom <i>(Mahesh Desai / Torsten Bohn)</i>	32
2.6	RNA-Biomarker - wie die DNA Aufschluss über unsere Gesundheit gibt <i>(Yvan Devaux / Amela Jusic)</i>	34
2.7	Was unsere Stimme über uns sagt <i>(Aurélie Fischer)</i>	36
Kapitel 3.	Precision Health 2050	39
3.1	Augmented Humans - Augmented Doctors <i>(Jochen Klucken)</i>	40
3.2	Tele-Health - moderne Technologien verbessern die Patientenversorgung <i>(Guy Fagherazzi)</i>	42
3.3	Der One-Health-Ansatz - alles ist miteinander vernetzt <i>(Guy Fagherazzi)</i>	44
Kapitel 4.	Berufe in der Präzisionsmedizin	47
4.1	Datenmanager:in & Data-Steward <i>(Michel Vaillant)</i>	48
4.2	Datenspezialist:in & Bioinformatiker:in <i>(Petr Nazarov)</i>	49
4.3	Forschungsingenieur in Signalverarbeitung <i>(Bernd Grimm)</i>	50
4.4	Forschungskrankenpflege, wissenschaftliche Mitarbeit und Koordination für klinische Studien <i>(Manon Gantenbein)</i>	52
4.5	Datenschutzbeauftragter <i>(Laurent Prévotat)</i>	54
4.6	Forscher:in <i>(Guy Fagherazzi)</i>	56
4.7	Noch unbekannte Berufsfelder <i>(Guy Fagherazzi)</i>	58
	Referenzen	60
	Glossar	61



Vorwort

Unsere Vision

Ulf Nehrass

Liebe Leserin, lieber Leser,

bei dem Wort „Forschung“ denkst Du jetzt wahrscheinlich an Wissenschaftler mit Reagenzglas, die durch ein Mikroskop schauen. Stell' Dir vor, was passiert, wenn dieses traditionelle Rollenbild auf das Universum der neuen digitalen Technologien trifft und künstliche Intelligenz, maschinelles Lernen sowie nicht nur Terabytes, sondern Petabytes an Echtzeitdaten hinzukommen. Eine Revolution!

Ja, wir bewegen uns weg vom Stereotyp der „Wissenschaftler:innen im Labor“ und hin zu „Wissenschaftler:innen als Säule des modernen Gesundheitswesens“. Innovative und modernste Technologien sind dabei die neuen „Bausteine“. Die Corona-Pandemie hat uns außerdem gezeigt, was für eine wichtige Rolle Wissenschaft und Forschung im Umgang mit aktuellen und künftigen medizinischen Herausforderungen spielen, besonders wenn steigende Patientenzahlen in Zukunft unsere Gesundheitssysteme zunehmend unter Druck setzen werden. All das sind Gründe, weshalb die biomedizinische Forschung der nächsten Generation effizienter und eben präziser werden muss. Der Fokus richtet sich hierbei auf Prävention, intelligente und frühzeitige Diagnostik, digitale Gesundheitsdienste und personalisierte Medizin, also die bestmögliche individuelle Behandlung für individuelle Patientinnen und Patienten zur rechten Zeit.

Am Luxembourg Institute of Health (LIH) nutzen wir den technischen Fortschritt, um die Gesundheit der Menschen unmittelbar und nachhaltig zu verbessern. Deshalb stellen wir bei allem, was wir tun, die Patientinnen und Patienten in den Mittelpunkt. Unser Wissenschaftspersonal erforscht die Rolle des Immunsystems an der Schnittstelle zwischen Gesundheit und Krankheit. Es ist der gemeinsame Nenner hinter verschiedensten Krankheiten wie Krebs, immunologischen Störungen bis hin zu neurodegenerativen Erkrankungen. Dazu arbeiten wir eng mit Patientinnen und Patienten, der Ärzteschaft und Krankenhäusern in einem geschlossenen Kreislauf zwischen Krankenbett und Forschungslabor zusammen. Der Nutzen für Patientinnen und Patienten steht für uns im Vordergrund: Daten und Proben werden von ihnen entnommen und ermöglichen uns, neue Therapien und Diagnostiklösungen zu entwickeln, die ihnen direkt wieder zugutekommen und ihren unerfüllten medizinischen Bedürfnissen gerecht werden. Das ist der Kern unserer Vision für translationale und präzise Gesundheitsversorgung.

In dieser Publikation nehmen wir Dich mit auf eine Reise in das sich stetig erweiternde Feld der biomedizinischen Forschung. Wir hoffen, Dich dazu motivieren zu können, eine Karriere in diesem spannenden Fachbereich anzustreben. Wir ermutigen Dich, die Grenzen traditioneller Berufe neu auszuloten und zu definieren, und so die Zukunft der Präzisionsmedizin mitzugestalten.

Viel Spaß beim Lesen wünscht Dir

Ulf Nehrass, Generaldirektor des LIH



Wer wir sind: Luxembourg Institute of Health & IBBL

Frank Glod, wissenschaftlicher Direktor des LIH



Das Luxembourg Institute of Health (LIH) entstand 2015 aus der Fusion des ehemaligen Centre de Recherche Publique de la Santé und der Integrated Biobank of Luxembourg (IBBL), und besteht aus drei Forschungsabteilungen: dem Department of Cancer Research (DoCR), dem Department of Infection and Immunity (DII) und dem Department of Precision Health (DoPH). Die IBBL ist nun Teil unseres Translational Medicines Operations Hub (TMOH), welcher die Projekte unserer Forschungsabteilungen maßgeblich unterstützt. Seit seiner Gründung hat sich das LIH als eines der führenden Institute für Präzisionsmedizin etabliert mit dem Ziel, die Ergebnisse der Spitzenforschung für Patienten sinnvoll zu nutzen und auf lange Sicht Krankheiten vorzubeugen.

Die Exzellenz des LIH liegt in unseren 425 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, von denen 326 Wissenschaftler:innen mit Spezialisierung in den Bereichen Zell- und Molekularbiologie, Bioinformatik, Statistik, klinische Forschung und Epidemiologie sind. Ihre hervorragende Arbeit hat das LIH an die Spitze der Forschungsinstitute in Europa und der Welt gebracht, und noch attraktiver für junge und etablierte Forscher:innen gemacht.

Insbesondere das DoPH beschäftigt sich damit, wie die Gesundheit der Gesamtbevölkerung durch neue digitale Technologien im modernen Gesundheitswesen verbessert werden kann. Das DoCR und das DII erforschen, wie Funktionsstörungen des Immunsystems zu komplexen Erkrankungen wie Krebs oder immunologischen Störungen führen können. Dafür steht ihnen eine einzigartige Infrastruktur zur Verfügung, mit deren Hilfe sie eng mit Ärzten und Patienten zusammenarbeiten, um die Mechanismen hinter diesen Erkrankungen zu untersuchen und die Entwicklung neuer Behandlungsmöglichkeiten voranzutreiben. Die translationalen Teams am LIH und seine einzigartige Biobank erleichtern die Übertragung der Forschungsergebnisse aus dem Labor an Patientinnen und Patienten. Sie tragen so zur Gestaltung von Forschungsprojekten mit einer wahrhaft klinischen Dimension bei, angefangen von der Patientenrekrutierung und Entnahme biologischer Proben bis hin zur Erprobung neuer Therapien im Rahmen von klinischen Studien. Im Zentrum dieses Ansatzes stehen ärztliche Fachkräfte und Pflegepersonal, die eng mit dem LIH zusammenarbeiten, sowie zahlreiche Kooperationen mit luxemburgischen und internationalen Krankenhäusern. Die IBBL spielt ebenfalls eine zentrale Rolle und ermöglicht die Erhebung, Analyse und Aufbewahrung von qualitativ hochwertigen Proben und Daten von Patientinnen und Patienten. Bis Ende 2020 wurden 2,1 Millionen biologische Proben wie etwa Blut-, Urin- und Stuhlproben an der IBBL gelagert, die nun für klinische Studien zur Verfügung stehen.

Das Hauptziel der Forscher am LIH ist letztlich, die Gesundheit der Patientinnen und Patienten in Luxemburg und Europa nachhaltig zu verbessern.



© Shutterstock

Kapitel 1

Precision Health & Präzisionsmedizin

1.1 Präzisionsmedizin, Präzisionsprävention, Precision Health Was bedeutet das eigentlich?

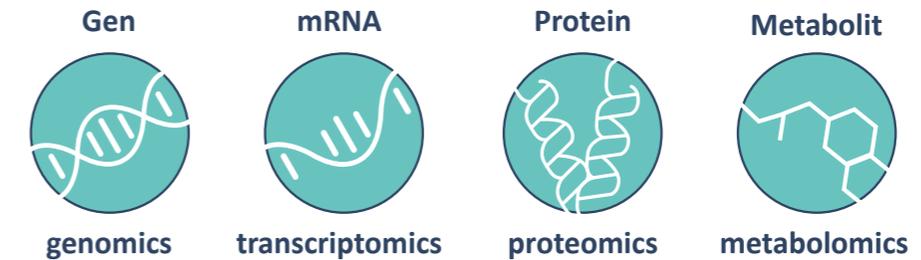
Guy Fagherazzi

Wir sind gerade dabei, unsere Sichtweise auf Gesundheitsvorsorge und Medizin zu revolutionieren - weg von „einer Behandlung für alle“ und hin zu individuell angepassten, personalisierten Behandlungen und Therapien.

Der Begriff Präzisionsmedizin enthält das Versprechen, dass wir mit Hilfe großer Datenmengen eines Tages in der Lage sein werden, für jede:n Einzelne:n die individuell beste Behandlung zum richtigen Zeitpunkt einzusetzen, anstatt alle Patientinnen und Patienten nur nach ihrer Erkrankung zu behandeln. Mit anderen Worten: Es wird keine Standardbehandlung mehr verordnet, sondern aufgrund eines persönlichen Profils (d.h. unter Berücksichtigung aller persönlichen, kontextuellen, biologischen und klinischen Eigenschaften) wird für eine:n Patient:in die zum jeweiligen Zeitpunkt beste Option ausgewählt.

Precision Health ist als Begriff sogar noch weiter gefasst: Dazu gehören alle Dimensionen von Gesundheit, also neben der medizinischen Behandlung von Krankheiten auch deren Prävention und das öffentliche Gesundheitswesen. In diesem Rahmen versuchen Wissenschaftler:innen und medizinische Fachkräfte, die beste Lösung zu finden, um das Auftreten von Krankheiten zu verhindern oder zu verzögern, und den Alltag von Menschen, die mit einer Krankheit leben, zu verbessern.

Die Einbeziehung des Konzepts der Precision Health in unseren Alltag ist unheimlich spannend und nur dank des großen Fortschritts in unserer wissenschaftlichen Herangehensweise möglich. Anstatt die einzelnen Wissenschaften als voneinander unabhängig zu betrachten, bringen Wissenschaftler:innen ihre Fachbereiche in einer neuen, als „multi-omics Ansatz“ bezeichneten Arbeitsweise immer mehr zusammen. Dazu gehört zum Beispiel die Erforschung unserer Gene (Genomics), oder unseres Stoffwechsels (Metabolomics). All diese Disziplinen, einst als höchstens lose verwandt betrachtet, werden nun „kombiniert“, was ein neues Verständnis von Gesundheit als Ganzes ermöglicht. Der zunehmende Einsatz digitaler Technologien, Fortschritte in der Entwicklung künstlicher Intelligenz und die Steigerung der Rechenleistung waren dafür unerlässlich, da nur so die riesige Menge an Daten von Einzelpersonen und der Bevölkerung analysiert werden kann. Wenn wir Gesundheit aus allen möglichen Blickwinkeln, von innen und außen,

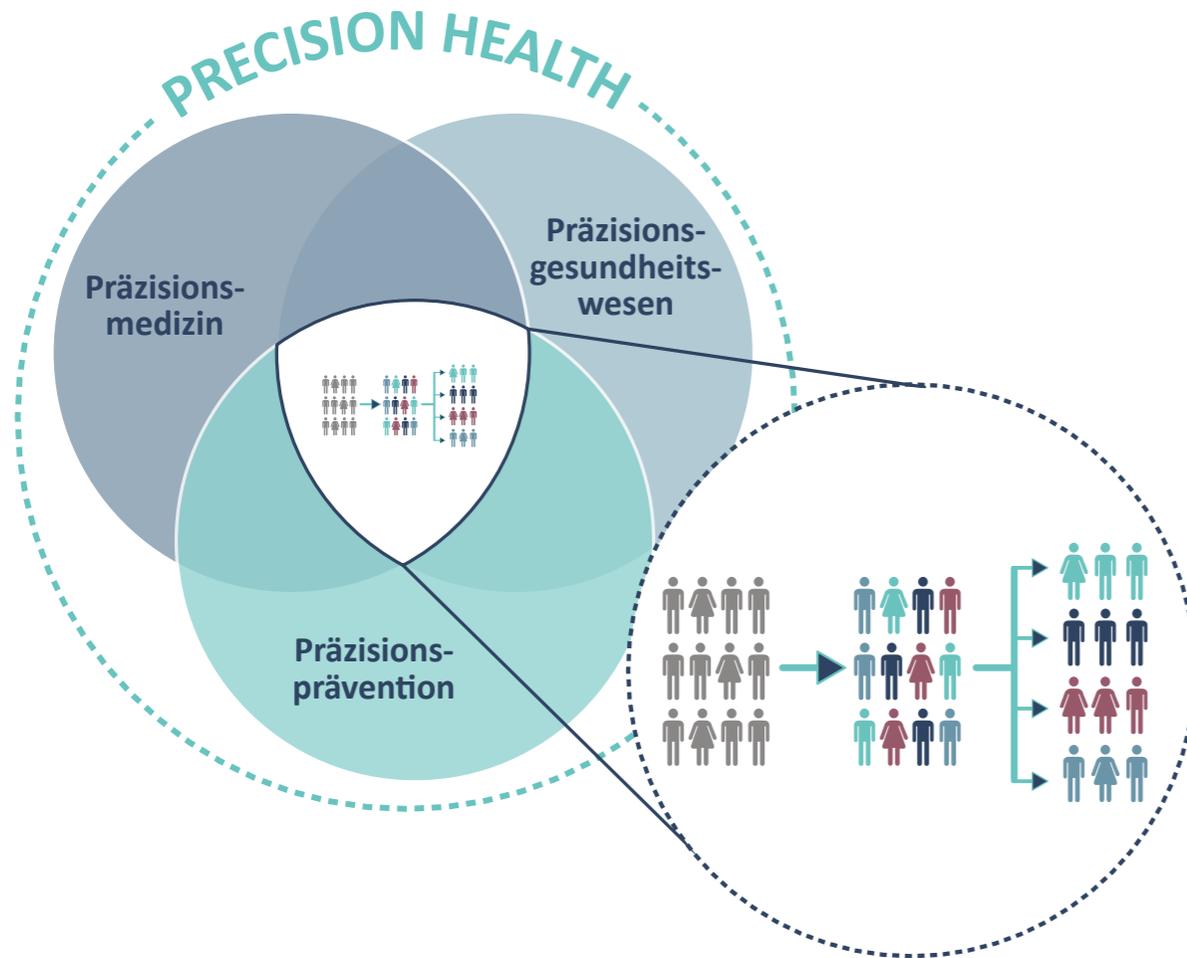


Der 'multi-omics'-Ansatz untersucht Krankheiten in all ihren Facetten durch die Kombination mehrerer Wissenschaften.
Abbildung adaptiert von: <https://www.ebi.ac.uk/training/online/courses/metabolomics-introduction/what-is/>

betrachten, gelingt es uns, Krankheiten besser zu verstehen. Wir können auf diese Weise ebenso besser herausfinden, wie man Krankheiten so behandeln oder sogar vorbeugen kann, dass auch die Lebensqualität von Betroffenen gesteigert wird.

Die Verwendung von Biomarkern war ebenfalls ein Durchbruch im Bereich Precision Health. Die Biomarker sind nicht subjektiv im Gegensatz zu medizinischen Symptomen, die von Menschen mit Erkrankung berichtet oder von den Ärztinnen und Ärzten eingeschätzt werden. Sie sind objektive Maßstäbe für die Gesundheit oder Krankheit eines Menschen. Ein Biomarker kann ein Blutwert sein, aber auch ein spezieller Stimmklang oder einfach nur bestimmte Puls- und Blutdruckwerte. Dank neuer Methoden mit künstlicher Intelligenz wird das Messen und Beobachten von Biomarkern jeden Tag etwas leichter. Immer häufiger werden sie eingesetzt, um Krankheiten vorherzusagen, zu messen, zu beobachten, zu diagnostizieren und zu behandeln. Für sich genommen enthalten sie nicht mehr Information als vielleicht über den aktuellen Puls oder die Schlafgewohnheiten, aber in Kombination können sie Aufschluss über den Gesundheitszustand geben und zur Diagnose, Behandlung und Forschung nicht nur für den Einzelnen, sondern für die gesamte Bevölkerung beitragen.

In den folgenden Kapiteln gehst Du auf eine Reise durch die Zukunft der Medizin und des Gesundheitswesens. Du wirst entdecken, was Precision Health im Kontext verschiedener Bereiche als auch in der immer wichtiger werdenden Datenerhebung bedeutet. Außerdem bekommst Du einen Eindruck davon, welche Berufsaussichten es im Gesundheitswesen und in der Gesundheitsforschung gibt.



1.2 Künstliche Intelligenz - die rechte Hand von Arzt/Ärztin

Guy Fagherazzi

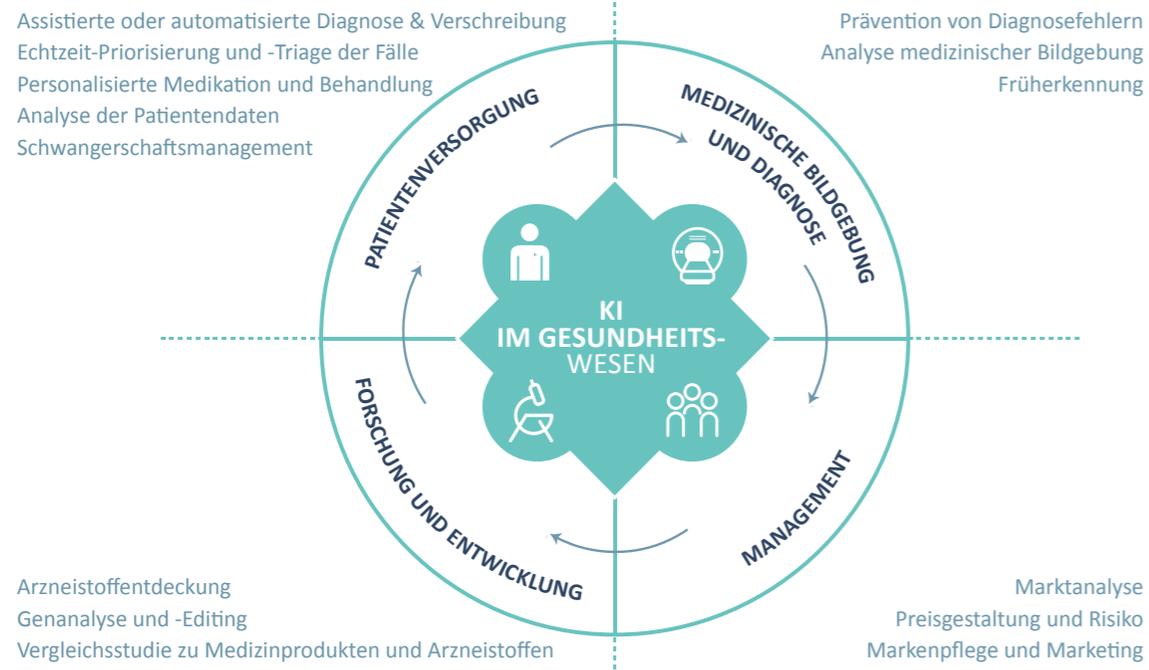
Künstliche Intelligenz, oder auch KI, kann das Gesundheitssystem verbessern und vereinfachen. Maschinen können einige Aufgaben des Menschen übernehmen oder Aufgaben ausführen, die für den Menschen unmöglich sind. Heute wird KI bereits überall im Gesundheitswesen eingesetzt. Man findet sie im Krankenhaus, wo sie automatisch Tumore auf Aufnahmen erkennt, aber auch zu Hause, wo sie für Diabetiker:innen den aktuell benötigten Insulinbedarf errechnet.

Trotzdem stellt uns KI vor viele Herausforderungen. KI braucht Algorithmen, d.h. Anweisungen in „Computersprache“, die der Maschine sagen, wie sie ihre Aufgabe ausführen soll. Für das Training von Algorithmen im Gesundheitswesen brauchen wir in der Regel große Datenmengen, die auch als Big Data bezeichnet werden und von denen die Maschine lernen kann. Allerdings müssen wir dafür sorgen, dass diese Daten von guter Qualität sind und vielfältig genug, um alle möglichen Szenarien, mit denen der Algorithmus in der Praxis konfrontiert wird, abzubilden. Auch wenn das sehr kompliziert klingt, ist das Training des KI-Algorithmus die leichtere Aufgabe. Die größte Herausforderung besteht darin, genügend hochwertige Daten zu erheben, damit die Maschine lernen kann, wie sie Probleme richtig löst. Andernfalls funktioniert der Algorithmus in bestimmten Situationen nicht richtig, erzeugt Systemfehler oder verzerrt die Ergebnisse.

Konkret folgendes Beispiel: Die meisten Datensätze in der Medizin stammen von weißen männlichen Patienten, und für diese Gruppe funktionieren die Algorithmen in der Regel auch gut. Bei Frauen oder anderen ethnischen Gruppen erleben wir ab und an Verzerrungen, weil nicht genügend Daten zur Verfügung stehen, um den Algorithmus für diese Gruppen zu trainieren. Ein Teil der Aufgabe von KI-Forschern ist also, ihre Algorithmen an verschiedenen Bevölkerungsgruppen zu erproben und zu validieren, um dafür zu sorgen, dass ihre Lösungen für alle sicher funktionieren. So erhält niemand eine falsche Diagnose oder Behandlung nur, weil er andere Eigenschaften hat, als die Gruppe, mit deren Daten der Algorithmus trainiert wurde.

Ziel von Precision Health ist es, sicherzustellen, dass die richtige Person zum richtigen Zeitpunkt die beste Behandlung erhält.

©LIH



Aktuell wird KI in vielen Bereichen des Gesundheitswesens genutzt. Die Anwendungsmöglichkeiten werden kontinuierlich erweitert.
Abbildung adaptiert von: <https://research.aimultiple.com/healthcare-ai/>

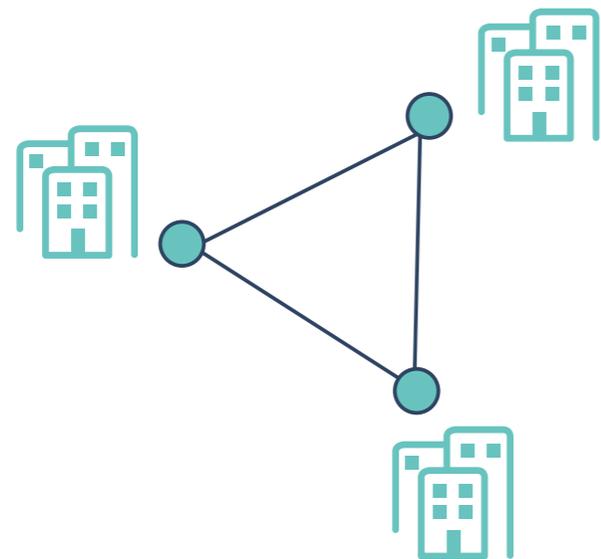
1.3 Clinnova - das Potential von Gesundheitsdaten

Jasmin Schulz

Wir haben gelernt, dass es maßgeblich von der Erhebung der richtigen Daten abhängt, ob ein KI-Algorithmus funktional oder verzerrt ist, und ob er entsprechend richtige oder falsche klinische Ergebnisse hervorbringt. Doch woher kommen diese Daten überhaupt?

Wenn wir erwachsen und schließlich älter werden, ändert sich unsere Adresse, unser Hausarzt und vielleicht ziehen wir auch ins Ausland. Unsere Gesundheitsdaten, Impfnachweise und Krankenakten befinden sich als Stückwerk in den jeweiligen Arztpraxen oder verstauben irgendwo in unseren eigenen Schreibtischschubladen. Doch was, wenn das anders wäre? Was wäre, wenn all unsere medizinischen Informationen digital gespeichert wären und wir entscheiden könnten, Ärzten oder der Forschung Zugriff auf diese Daten zu gewähren? Könnten sie dann nicht genutzt werden, um mit Hilfe unserer Krankengeschichte und unserer Symptome unsere Gesundheitsversorgung zu verbessern?

Die Antwort lautet ja. Angesichts der Zunahme von komplexen chronischen Erkrankungen und einer alternden Bevölkerung hinkt das Gesundheitswesen bei der Digitalisierung jedoch hinterher. Es gibt keinen umfassenden, langfristigen Überblick über die Krankengeschichte einer Einzelperson. Um zur Lösung dieses Problems beizutragen, hat Luxemburg das Clinnova-Programm ins Leben gerufen. Clinnova ist ein Programm der Präzisionsmedizin, das klinische, biomedizinische und patientenspezifische Daten von prospektiven Patientengruppen verwendet wird, um Behandlungsentscheidungen zu unterstützen. In Zusammenarbeit mit Baden-Württemberg und dem Saarland in Deutschland, der Region Grand Est in Frankreich und Basel in der Schweiz baut Clinnova ein Netzwerk von Partnerzentren auf. Der Fokus liegt dabei hauptsächlich auf drei immunologischen Erkrankungen (chronisch-entzündliche Darmerkrankungen, rheumatische Erkrankungen und multiple Sklerose). Clinnova wurde auf die Bedürfnisse spezifischer Krankheiten zugeschnitten und nutzt Daten aktiver Fälle, aber auch Rückmeldungen von Ärzten und Betroffenen. Mit hohen Ansprüchen an Datenqualität und Standardisierung für das Training wirksamer KI-Algorithmen will Clinnova personalisierte Behandlungsoptionen für Patientinnen und Patienten unterstützen.



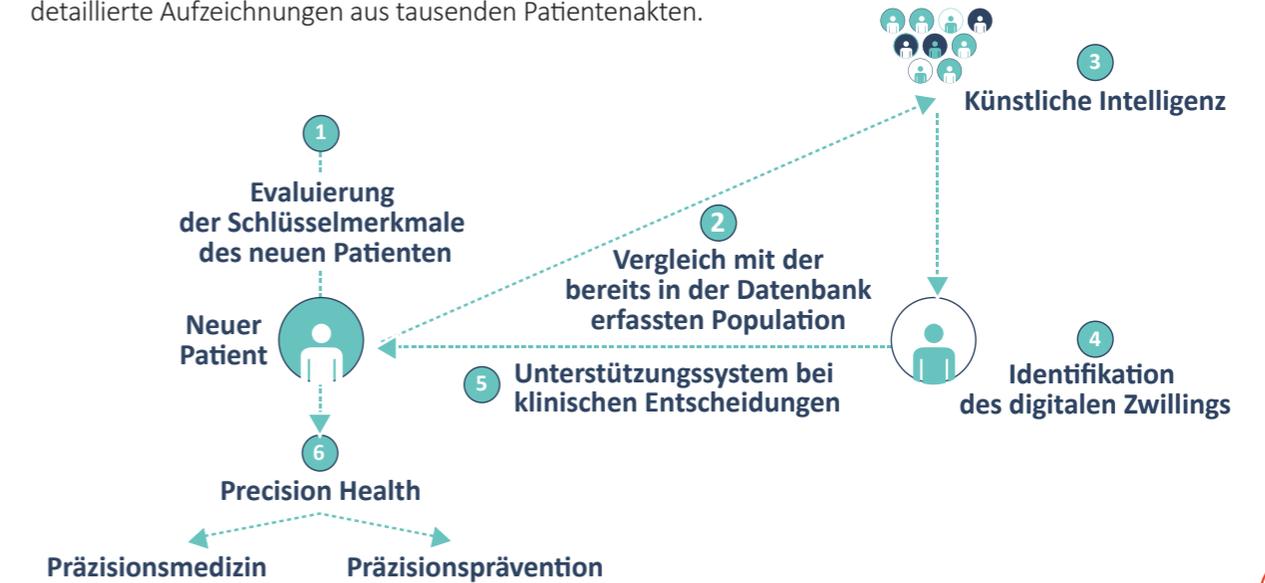
Netzwerk lokaler Zentren

Die Basis des Clinnova-Konzeptes ist, Patientendaten in lokalen Daten-Integrationszentren zu speichern und mittels föderierter Analyse auszuwerten.
©LIH

1.4 Digitaler Zwilling - ein „Ich“-Bild bestehend aus Daten von allen

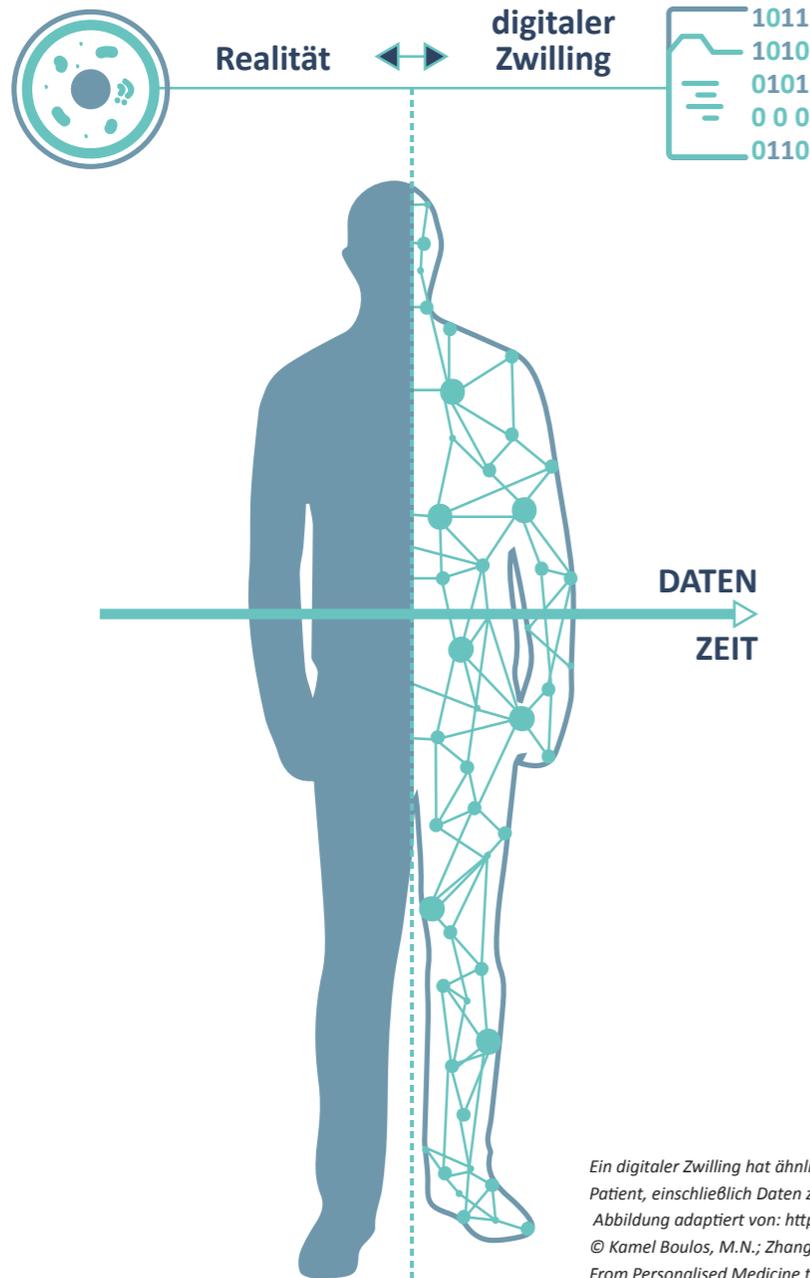
Guy Fagherazzi

Jeder von uns ist einzigartig, sowohl als Mensch als auch als Patient:in. Warum bekommen wir dann alle die gleiche Behandlung, die ausschließlich auf unsere Symptome ausgerichtet ist? Wenn Precision Health tatsächlich Wirklichkeit wird, könnten wir Behandlungen bald mit Hilfe des „digitalen Zwillings“ personalisieren. Der digitale Zwilling ist ein neues Konzept in der Gesundheitsforschung. Es stammt aus der Industrie, wo virtuell ein digitaler Avatar eines physischen Objektes (z.B. eines Flugzeugs oder Motors) mit den gleichen Elementen und dynamischen Eigenschaften nachgebaut wird, um vorherzusagen, wie es sich in Wirklichkeit verhalten wird. Digitale Zwillinge könnten in der Medizin genutzt werden, um die Gesundheit und andere individuelle Eigenschaften eines Menschen mit Erkrankung zu analysieren und vorherzusagen, wie sich die Gesundheit im Laufe der Zeit verändern wird. Das Prinzip ist einfach: jemand wird krank und geht zu einer Arztpraxis, die noch keine Patientenakte zu dieser Person hat. Ein Arzt untersucht die erkrankte Person und sucht dann in einer großen Datenbank von Menschen, die alle dieselbe Krankheit haben, nach einer Durchschnittsperson, die dieselben oder ähnliche Gesundheitseigenschaften wie der neue Patient hat. Anhand der Daten dieses „digitalen Zwillings“ kann der Arzt erkennen, wie sich dessen Gesundheit im Laufe der Zeit entwickelt hat. Der Arzt kann diese Daten nutzen, um vorherzusagen, wie sich die Krankheit bei seinem neuen Patienten entwickeln wird. Dementsprechend kann er den Patienten beraten und Änderungen in der Behandlung vorschlagen, oder ein personalisiertes Präventionsprogramm zusammenstellen, das zum Profil des Patienten passt. Dies ermöglicht es Ärzten, sich nicht mehr ausschließlich auf die Erfahrung zu verlassen, die sie in den Jahren ihrer Tätigkeit erworben haben, sondern zusätzlich auf detaillierte Aufzeichnungen aus tausenden Patientenakten.



Zahlreiche Daten werden aufgrund einer großen Patientengruppe gesammelt, um so Untergruppen zu identifizieren, deren Gesundheit durch gezielte Behandlung verbessert werden kann.

©LIH



Ein digitaler Zwilling hat ähnliche oder identische Gesundheitsmerkmale wie der Patient, einschließlich Daten zur Veränderung der Gesundheit im Laufe der Zeit.
 Abbildung adaptiert von: <https://doi.org/10.3390/jpm11080745>
 © Kamel Boulos, M.N.; Zhang, P. Digital Twins:
 From Personalised Medicine to Precision Public Health. *J. Pers. Med.* 2021, 11, 745.

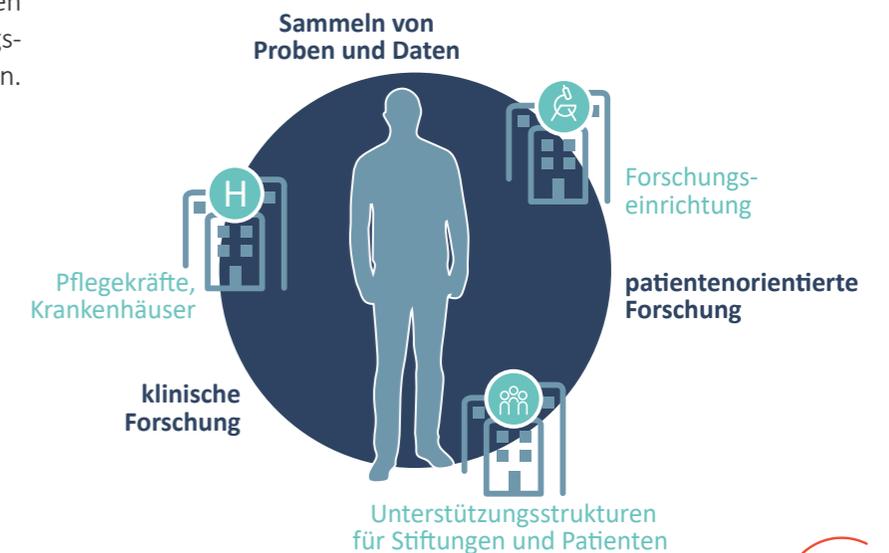
1.5 Gemeinsam die Krebsbehandlung personalisieren

Simone Niclou / Lars Geffers / Yong-Jun Kwon / Barbara Klink / Guy Berchem

Krebs ist für die Gesellschaft nach wie vor eine große psychische, klinische und finanzielle Belastung. Aufgrund der alternden Bevölkerung werden die Fallzahlen in den nächsten Jahrzehnten eher noch steigen. Das LIH widmet sich der patientenzentrierten Krebsforschung und will die Übertragung („Translation“) der Ergebnisse aus der Grundlagenforschung in Ergebnisse, die den Patientinnen und Patienten einen direkten Nutzen bringen, fördern. Dafür hat das LIH beschlossen, seine Expertise in der Krebsforschung zu bündeln und das Programm National Centre of Translational Cancer Research (NCTCR) in Luxemburg ins Leben zu rufen.

Das NCTCR will Menschen mit Krebs, Pflegekräfte, Krankenhäuser, Forschungseinrichtungen, Stiftungen und Patientenorganisationen unter einem Dach zusammenbringen. Dadurch soll die Versorgung mit Hilfe von innovativen, individuell zugeschnittenen (personalisierten) Krebsbehandlungen und -therapien verbessert werden. Dazu gehören unter anderem: translationale Forschung für Präzisionsonkologie, insbesondere für ein besseres Verständnis einzelner Tumoren auf Zell-Ebene, „Krebsmodelle“ auf der Basis von entnommenen Tumoren zur Erprobung von Medikamenten oder Erforschung der Biologie von Krebs, sowie innovative Immunzelltherapien im Kampf gegen den Krebs. Neue digitale Tools (Apps) für das Patientenmonitoring und die Kommunikation werden in dem Programm eine Schlüsselrolle spielen. Das Hauptziel des NCTCR ist, mit Hilfe von klinischen Studien die Wirksamkeit neuer Behandlungs- und Präventionsansätze zu untersuchen.

Ausgehend von jedem einzelnen Krebspatienten wird das NCTCR in den Bereichen Sammeln von Proben und Daten, patientenorientierter Forschung und klinischen Studien arbeiten.
 ©LIH



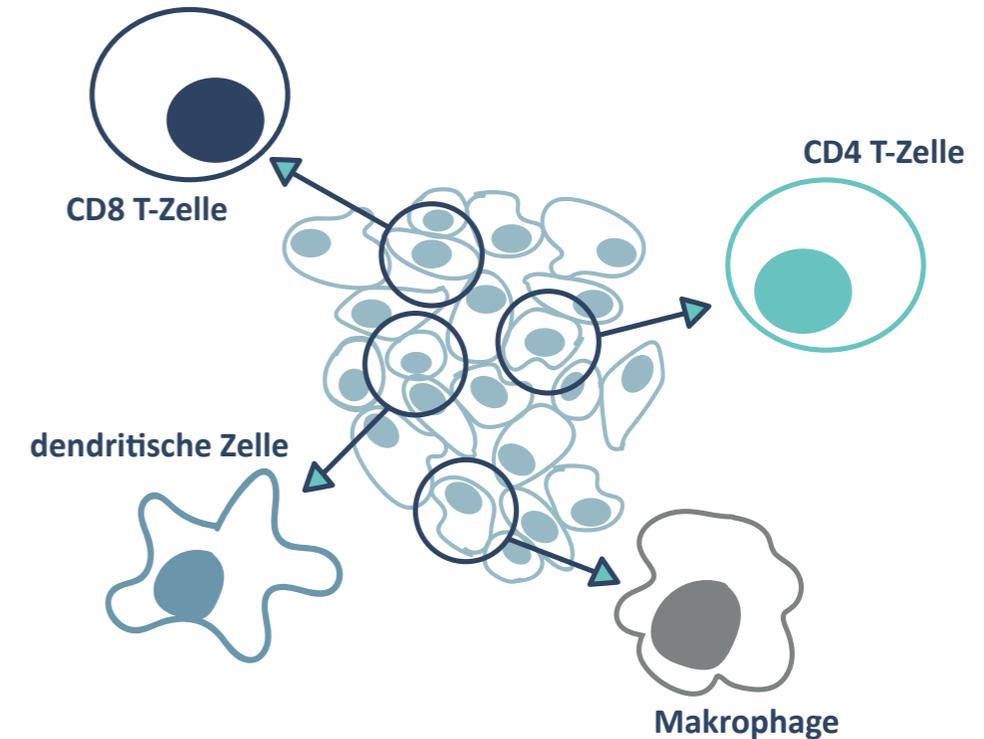
1.6 Deep Immunophenotyping - unsere Zellen sind so einzigartig wie wir selbst

Markus Ollert / Feng He

Wenn unser Körper von fremden Eindringlingen angegriffen wird (z.B. Bakterien, Viren oder Pilze) oder sich anderweitig in einem Krankheitszustand befindet (z.B. Krebs), dann bekämpft das Immunsystem die Eindringlinge oder die kranken Zellen und Gewebe. Wie eine Armee besteht das Immunsystem aus verschiedenen Arten von Zellen, die jeweils eine eigene Funktion erfüllen. Jede Art der Fehlregulierung in den betroffenen Immunzellen kann zu Krankheit führen.

Immer weitere Erkenntnisse deuten darauf hin, dass Immunderegulation nicht nur bei Infektionskrankheiten, sondern auch bei Krebs, neurodegenerativen und Autoimmunerkrankungen sowie vielen weiteren, wenn nicht gar allen, Erkrankungen eine große Rolle spielt. Menschliche Krankheiten könnten sogar vollständig auf die reduzierte Fähigkeit der Immunregulation, Angriffe gegen die normalen Körperzellen abzuwehren, zurückzuführen sein. Daher ist es wichtig, eine Strategie für Deep Immunophenotyping zu haben.

Deep Immunophenotyping (tiefe Immunphänotypisierung) dient dazu, den genauen Immunstatus eines Menschen mit Erkrankung zu beschreiben. Mit Hilfe von Markern an der Zelloberfläche kann so jede Zelle aufgespürt werden, die an der Erkrankung beteiligt ist. So können wir die Ursache und Entwicklung von Infektionskrankheiten besser nachvollziehen, aber auch von Krebs, neurodegenerativen Erkrankungen (wie etwa Alzheimer oder Parkinson), sowie Autoimmunerkrankungen (z.B. Gelenkrheumatismus). Und nicht nur das: mit Deep Immunophenotyping lässt sich vorhersagen, welche Betroffenen die stärksten Symptome haben werden oder länger brauchen, bis sie vollständig genesen sind. Im Kontext der Präzisionsmedizin ist das besonders relevant, denn das menschliche Immunsystem ist individuell einzigartig. Damit die Medizin wahrhaft personalisiert werden kann, müssen sowohl Diagnose als auch Behandlung verschiedener Erkrankungen auf Informationen basieren, die nur durch personalisiertes Deep Immunophenotyping zu ermitteln sind.



Durch Deep-Immunophenotyping kann jede Zelle identifiziert werden, die bei einer Krankheit eine Rolle spielt.
©LIH



Kapitel 2

Daten, das neue Gold

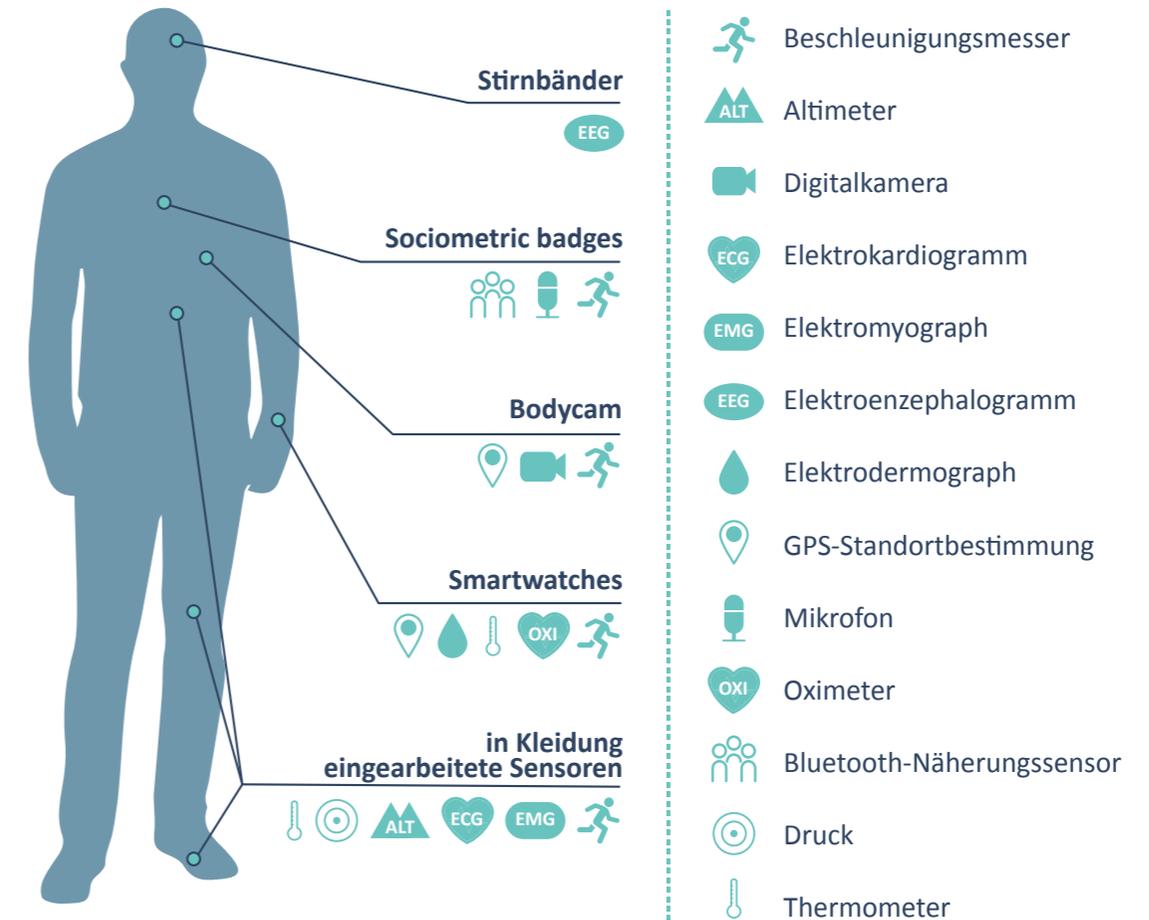
2.1 Connected Health - die Daten um uns herum

Laurent Malisoux

Wenn Du eine Smartwatch hast oder mit dem Smartphone täglich Deine Schritte zählst, dann bist Du nicht allein. Im Jahr 2019 nutzten etwa 86 % der Erwachsenenbevölkerung in Europa ein Smartphone. Der Smartwatch-Markt verzeichnete 2020 fast 7 Millionen verkaufte Produkte. Die Sensoren, die in solchen „Wearables“ verbaut sind, erheben große Mengen an digitalen Daten, z.B. über unsere Lebensweise (Schlaf, körperliche Aktivität) oder unseren Körperzustand (Herzschlag, Schweißbildung). Doch hast Du jemals darüber nachgedacht, was man alles mit diesen Daten anfangen könnte?

Von Endverbrauchern ohnehin genutzte Technologien können im Gesundheitswesen eingesetzt werden, um Patientinnen und Patienten außerhalb von Krankenhaus und Arztpraxis mit Hilfe eines „Connected Health“-Konzepts zu betreuen. Dazu werden Geräte und Dienstleistungen für die Bedürfnisse der Menschen mit Erkrankung entwickelt und die Gesundheitsdaten so mit den Akteuren des Gesundheitssystems geteilt, dass die Menschen auf eine möglichst proaktive und effiziente Art und Weise versorgt werden können. Tragbare Sensoren werden immer mehr dafür eingesetzt, die Gesundheit von Menschen zu überwachen und bei Erkrankungen diese entweder frühzeitig zu erkennen oder bei der Diagnosestellung zu assistieren. Damit trägt Connected Health zur „Medizin der Zukunft“ bei, die ein wichtiger Bestandteil von Precision Health ist.

Wissenschaftler:innen nutzen diese Technologie beispielsweise bereits, um Fitness zu erforschen. „Wearables“ wie etwa druckempfindliche Einlagen können wichtige Informationen über Faktoren wie Ermüdung und Laufstil geben. Wenn man versteht, wie die Sportler:innen sich bewegen, können Verletzungen vorhergesagt und somit verhindert werden. Diese Daten können mit Informationen zu Schlaf, körperlicher Aktivität und Stoffwechsellmarkern wie etwa dem Blutzuckerspiegel kombiniert werden, damit wir Fitness und Gesundheit besser messen und verstehen können.



Es gibt viele tragbare Geräte und jedes kann ein anderes Gesundheitsmerkmal überwachen.

Abbildung adaptiert von: <https://journals.plos.org/plosmedicine/article?id=10.1371/journal.pmed.1001953> © 2016 Piwek et al.

2.2 Alles rund um die Probe

Hermann Thien

Wahrscheinlich hattest Du schon mehr als einmal in Deinem Leben mit biologischen Proben zu tun. Bis zum Erreichen der Volljährigkeit haben die meisten von uns bereits mehrere Urinproben abgegeben und vielleicht wurde Dir auch schon einmal Blut für eine Untersuchung abgenommen. In der Forschung werden viele biologische Proben verwendet, denn durch sie können wir verstehen, was ein und dieselbe Krankheit mit unterschiedlichen Menschen macht und wie sie auf eine Therapie ansprechen. Damit biologische Proben für die Forschung, aber auch für Deinen Arzt oder Deine Ärztin, aussagekräftig bleiben, müssen sie unbedingt sachgerecht behandelt werden, damit die Ergebnisse auch das widerspiegeln, was in der Probe enthalten war, und nicht etwas, das erst im Entnahmeprozess hinzugekommen ist.

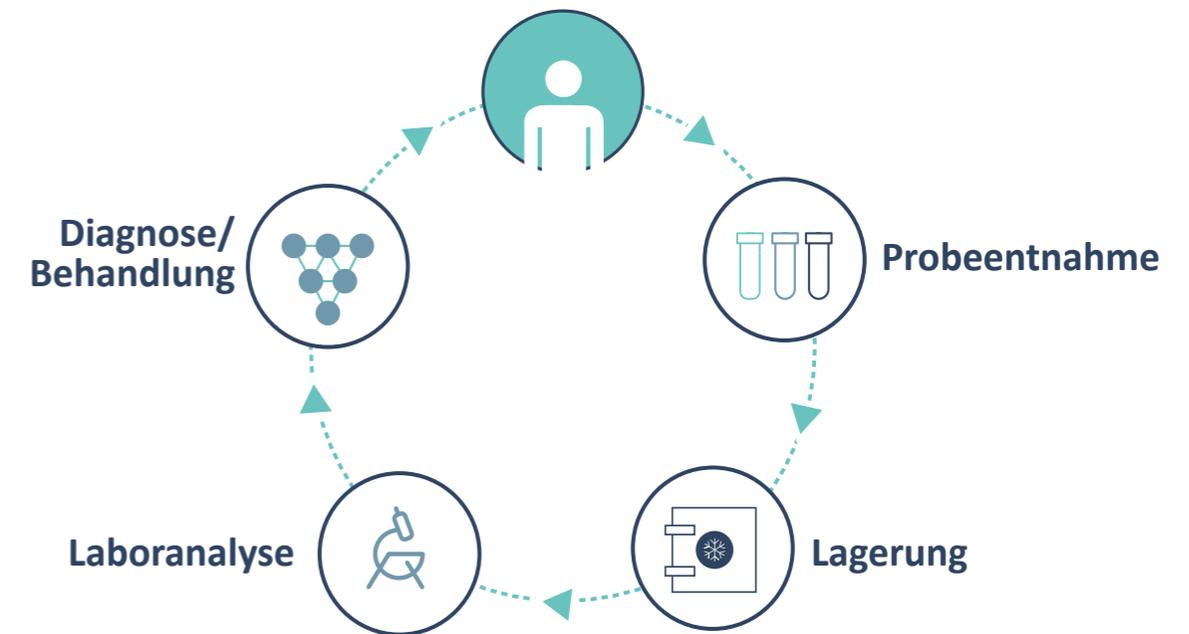
Am LIH verfügen wir über Teams von Spezialisten, die biologische Proben und die dazugehörigen Daten für eine künftige Nutzung erheben, speichern und bereitstellen. Ihre Arbeit beginnt bereits vor der Probenentnahme. Sie unterstützen die Wissenschaftler:innen dabei, den Entnahmeprozess so gut wie möglich zu gestalten, damit die Probe (z.B. Blut, Urin, Stuhl) mit Hilfe von „Entnahme-Sets“, die alle benötigten Materialien enthalten, effizient und standardisiert entnommen werden kann.

Nach der Entnahme müssen die Proben katalogisiert und bei der richtigen Temperatur gelagert werden. Die Vorgaben dafür mögen willkürlich erscheinen, doch es handelt sich um einen extrem präzisen Vorgang. Schon ein paar Grad Unterschied können dazu führen, dass beispielsweise die Proteine in der Probe ihre Form verändern oder beginnen, sich abzubauen, was das spätere Analyseergebnis beeinflussen würde. Ein ganzes Team ist dafür zuständig, eventuelle Verbesserungsmöglichkeiten für Transport und Lagerung zu finden, Prozesse zu entwickeln, die die Bedingungen noch besser kontrollierbar machen, und die Qualitätskontrollen durchzuführen bevor die Proben den Wissenschaftler bereitgestellt werden.

Doch auch dort endet ihre Arbeit noch nicht. Die Forscher:innen sind immerzu darauf bedacht, bestehende Verfahren und Methoden zu verbessern. Sie versuchen, die unbeabsichtigten Veränderungen zu verstehen, welche die Proben während der Lagerung untergehen, warum es dazu kommt und wie

sichergestellt werden kann, dass sie die medizinische Forschungstätigkeit nicht beeinflussen. Es gibt sogar ein Team, das die Forscher:innen dabei unterstützt, zu überprüfen, ob die gewählte Analysemethode überhaupt die Ergebnisse erzeugen kann, die untersucht werden sollen.

Dank ihrer Arbeit können den Proben entscheidende Informationen entnommen werden, um beispielsweise einen Tumor zu diagnostizieren und eine gezielte Behandlung zu entwickeln, und somit einen personalisierten medizinischen Ansatz zu verfolgen.



Nach ihrer Entnahme durchlaufen Proben mehrere Schritte, bevor sie dem Patienten zugute kommen können.
©LIH

2.3 Einbeziehung von Menschen mit Erkrankung und Öffentlichkeit - Wir alle sind Forscher:innen

Gloria Aguayo

In der personalisierten Gesundheitsfürsorge steht der Mensch mit Erkrankung im Zentrum der Gesundheitsmaßnahmen und -forschung. Patientinnen und Patienten sind einbezogen und beteiligen sich aktiv am Erhalt ihrer Gesundheit. Sie können aber noch mehr tun, als „nur“ Daten zu generieren. Sie können an verschiedenen Stufen des Gesundheits- und Forschungsprozesses teilnehmen.

Eine Möglichkeit der direkten Patientenbeteiligung sind Patienteneinschätzungen, so genannte Patient-Reported Outcomes (PRO). PRO enthalten Informationen über eine Krankheit, welche direkt von den Betroffenen selbst kommen, ohne Interpretation durch beispielsweise eine:n Mediziner:in. PRO sind unerlässlich, wenn es darum geht, verfügbare Medikamente „im echten Leben“, d.h. auf dem Markt, weiter zu beobachten. Das ermöglicht der Pharmaindustrie, Nebenwirkungen zu erkennen und das Medikament so anzupassen, dass diese künftig nicht mehr auftreten. Außerdem können so weitere Symptome von Krankheiten erkannt und somit noch besser diagnostiziert werden.

Neben den PRO können Menschen mit Erkrankung sich auch an anderen Stellen einbringen. Forschung, die mit oder von Patientinnen und Patienten selbst durchgeführt wird, ist als Patient and Public Involvement (Einbeziehung von Patienten und Öffentlichkeit; PPI) bekannt. Dadurch werden Menschen mit Erkrankung zu Forschungspartnern und nehmen aktiv am Forschungsprozess teil. Studien gewinnen an Relevanz durch PPI und bringen auch den Patientinnen und Patienten größere Vorteile. Darüber hinaus macht PPI es wahrscheinlicher, dass die Forschungsergebnisse auch angewendet werden und zur Entwicklung neuer Forschungsprojekte beitragen, die noch mehr Nutzen für Menschen mit Erkrankung generieren. Oftmals werden solche Studien in den sozialen Medien angekündigt.



*Patientenbeteiligung kann in der Forschung viele Formen annehmen.
©LIH*

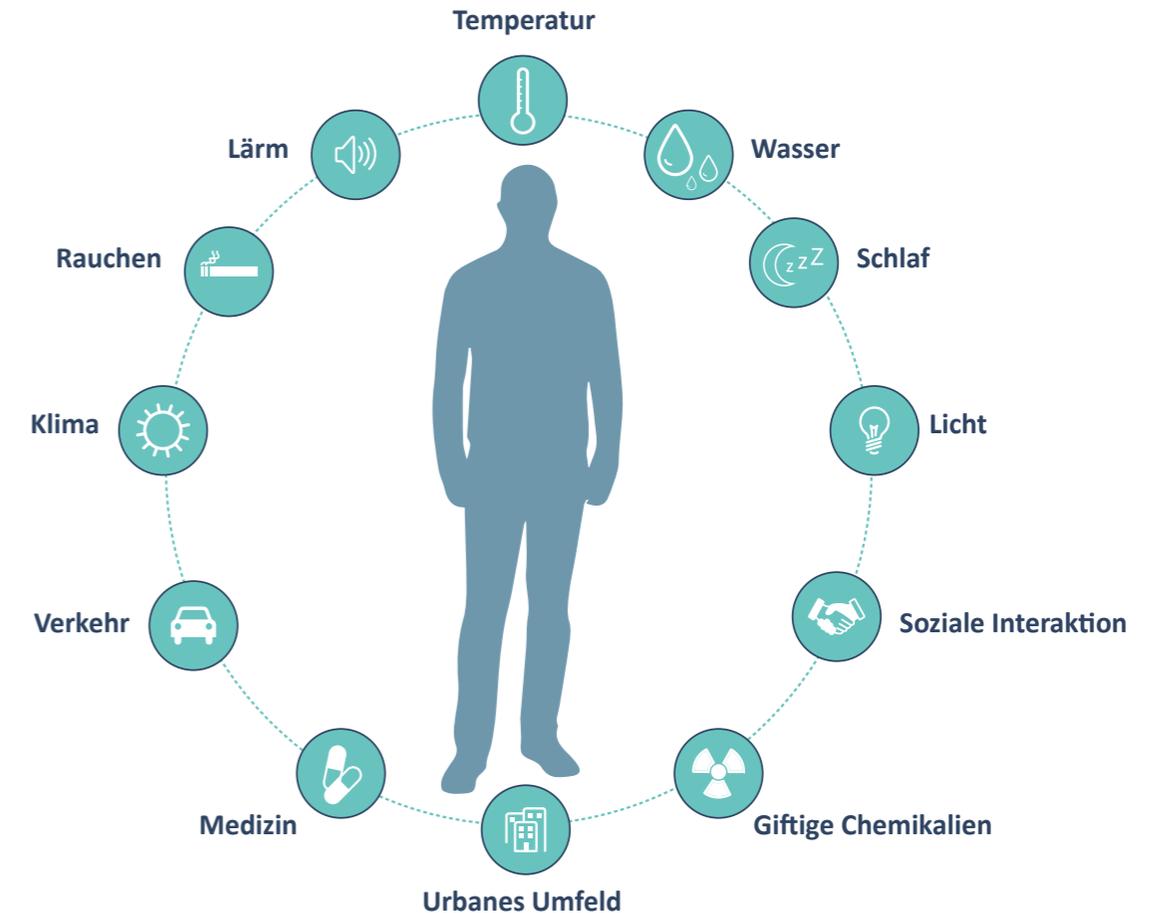
2.4 Was genau ist ein Exposom?

Brice Appenzeller

Menschen sind ständig verschiedensten Schadstoffen ausgesetzt. Täglich kommen neue Chemikalien auf den Markt, die durch Lebensmittel (z.B. Pestizide), aber auch andere Materialien (Flammhemmer, Weichmacher, antimikrobielle Beschichtungen) in direkten Kontakt mit dem Menschen kommen. Schätzungen zufolge gingen im Jahr 2015 weltweit 9 Millionen vorzeitige Todesfälle auf Erkrankungen zurück, die durch Schadstoffe verursacht wurden. Das sind mehr als für HIV, Tuberkulose und Malaria zusammengerechnet. Die Auswirkungen dieser Schadstoffexposition auf die menschliche Gesundheit und die Krankheiten, die durch neue Schadstoffe (wie neue Pestizide oder Nano-Partikel) entstehen, sind bisher noch nicht umfassend erforscht.

Jede dieser Chemikalien kann für sich genommen bereits toxisch sein, kann aber im Zusammenspiel mit anderen Schadstoffen noch weit gravierendere Auswirkungen haben. Um den Anteil all dieser Chemikalien am Entstehen verschiedener Erkrankungen besser zu verstehen, werden enorme Anstrengungen unternommen, die Exposition des Menschen gegenüber Schadstoffen zu charakterisieren. Dabei spricht man vom sogenannten „Exposom“. Der Begriff Exposom umfasst alles, womit Menschen von der Geburt bis zum Tod in Berührung kommen. Dazu gehören Schadstoffe in der Atemluft, Chemikalien im Essen und sogar die Mineralstoffe im Wasser, mit dem wir uns waschen. Alles, womit wir im Laufe unseres Lebens in Kontakt kommen, kann einen Einfluss auf unsere Gesundheit haben.

Um das Exposom zu erfassen, werden biologische Proben entnommen (Blut, Urin und seit Kurzem auch Haare), in denen mit hochsensiblen Methoden der Schadstoffgehalt gemessen wird. Dank des wissenschaftlichen Fortschritts können so hunderte Schadstoffe identifiziert werden und es entsteht ein wesentlich detaillierteres Bild des „chemischen Exposoms“ eines Menschen. Dieser neue Forschungsbereich fügt eine ganz neue Dimension zur Krankengeschichte hinzu. Durch eine Messung des chemischen Exposoms in der personalisierten Medizin wird es in Zukunft noch besser möglich sein, Krankheitsursachen zu finden, über die bisher nur wenig bekannt war, um so Prävention und Patientenversorgung zu verbessern.



Alles, mit dem wir im Laufe unseres Lebens in Kontakt kommen, ist Teil unseres "Exposoms". Hier nur einige Beispiele.
©LIH

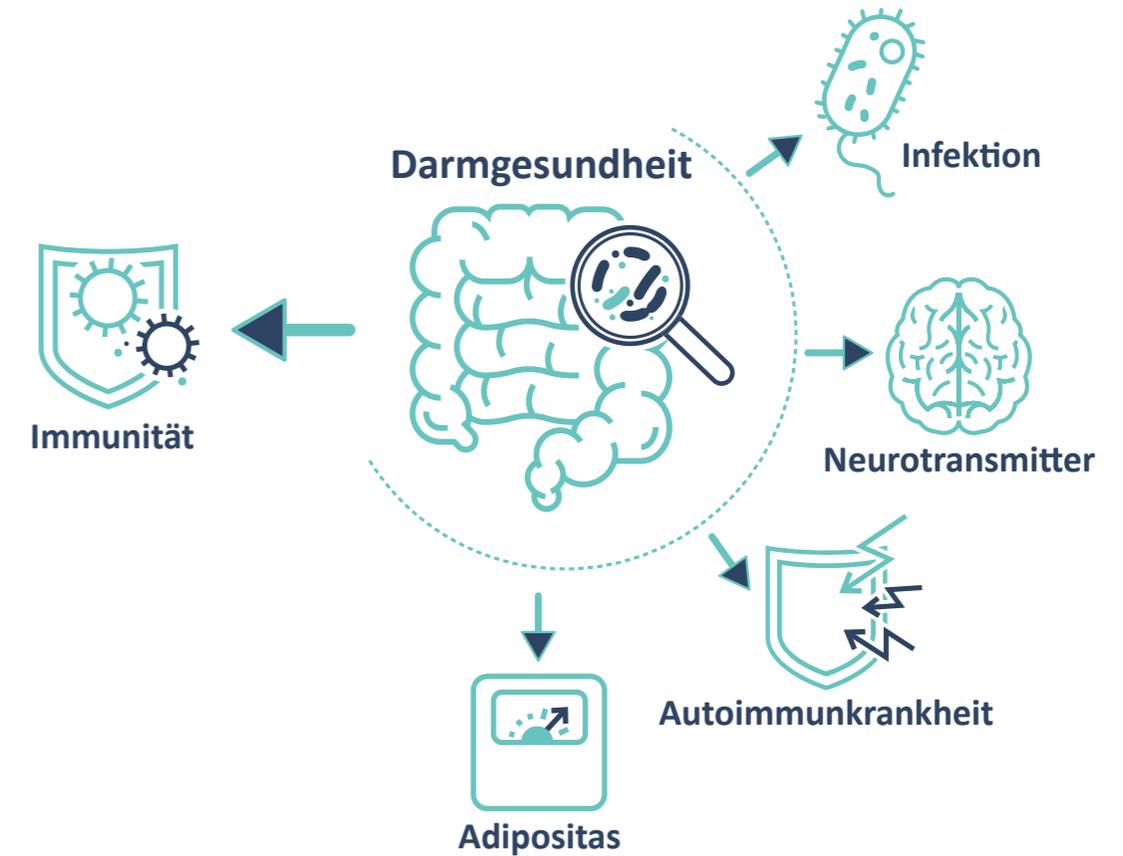
2.5 Sie nennen es Bakterien, wir nennen es Mikrobiom

Mahesh Desai / Torsten Bohn

Bakterien gibt es zwar im ganzen Körper (auf jede Zelle in unserem Körper kommt auch mindestens eine Bakterienzelle), doch die meisten befinden sich im Dickdarm, wo sie von den Bestandteilen unserer Nahrung leben, die bis dorthin nicht verdaut wurden. Dieser unverdaute Bestandteil, hauptsächlich Ballaststoffe, kann von den Darmbakterien noch zu einem gewissen Teil durch Gärung in Energie umgewandelt werden. Die dabei entstehenden Stoffwechselprodukte können einen Einfluss auf die menschliche Gesundheit haben.

Der Begriff „Mikrobiom“ umfasst alle Mikroorganismen, die in einer bestimmten Körperregion leben. Oftmals bezieht sich der Begriff auch nur auf die Bakterien in einer bestimmten Umgebung. Das Mikrobiom steht erst seit einigen Jahren unter genauester Beobachtung, denn bisher war nicht bekannt, was für eine wichtige Rolle diese „gesunden“ Bakterien für unser Wohlbefinden spielen. Beispielsweise kann schon eine Verringerung der Menge an Ballaststoffen in unserer Ernährung dazu führen, dass die Darmbakterien anfangen, die Schleimhaut im Dickdarm zu zersetzen. Dadurch entstehen Schwachstellen, an denen es zu Infektionen durch schädliche Bakterien kommen kann, die wir mit der Nahrung aufnehmen, etwa Salmonellen oder *E.coli*. Der Einfluss des Darmmikrobioms geht aber noch über den Schutz der physischen Darmbarriere hinaus, die Krankheiten von uns abwendet: die Bakterien in unserem Mikrobiom steuern Entzündungsprozesse, beeinflussen die Darm-Hirn-Achse und sondern Stoffe ab, die wie Hormone wirken können.

Das Ziel der Erforschung des Mikrobioms ist es, besser zu verstehen, welche Bakterien oder Moleküle genutzt werden können, um das Zusammenspiel unseres Immunsystems mit der Darmflora genauer zu steuern. Es wird zunehmend deutlich, dass die Unterschiede im Ansprechen auf Diäten oder Behandlungen für verschiedene Krankheiten wie Übergewicht, Krebs oder Autoimmunerkrankungen mit den Unterschieden in unserem individuellen Mikrobiom zusammenhängen. In Zukunft wird die Prävention bzw. Behandlung dieser Krankheiten Erkenntnisse über unser individuelles Darmmikrobiom bringen und darüber, wie es am besten reguliert werden kann, um die Behandlungsergebnisse zu verbessern.



*Unser Mikrobiom spielt eine entscheidende Rolle für unsere Gesundheit, weit über die Verdauung hinaus.
icons © Shutterstock/doublebrain*

2.6 RNA-Biomarker - wie die DNA Aufschluss über unsere Gesundheit gibt

Yvan Devaux / Amela Jusic

Die aus der DNA kodierten RNA Moleküle sind in der Regel zuständig für die Bildung von Proteinen, den Bausteinen des menschlichen Körpers. Lange Zeit galt dies als einziger Zweck von RNA. Doch etwa zehn Jahre nachdem erstmals ein Genom vollständig sequenziert werden konnte, wurde entdeckt, dass ein kleiner Teil RNA-Moleküle niemals eine Proteinbildung anstößt. Sie sind heute als „nichtkodierende RNA“ bekannt und haben eine andere Aufgabe. Mit fortschreitender Forschung stieg auch die Bedeutung der RNA. Schließlich wurde herausgefunden, dass RNA nicht nur innerhalb einer Zelle vertreten ist, sondern auch Botschaften von einer Zelle zur nächsten transportieren kann und dadurch möglicherweise eine Reihe biologischer Prozesse im menschlichen Körper steuert. In der jüngsten Vergangenheit wurden mit Hilfe von RNA Impfstoffe gegen COVID-19 entwickelt.

Wir erleben gerade den Beginn eines neuen Zeitalters, in dem RNA auch als Biomarker und Medikament in der Präzisionsmedizin eingesetzt wird. RNA kann tatsächlich zu Diagnosezwecken (also der Feststellung, dass eine Krankheit vorhanden ist), Patientenstratifizierung (Einteilung von Patientinnen/Patienten in Untergruppen nach ihren klinischen Eigenschaften) und zur Identifizierung von Menschen mit einem hohen Krankheitsrisiko oder einem Risiko für einen schwereren Krankheitsverlauf genutzt werden. Trotzdem muss noch weiter geforscht werden, bis die RNA einmal als Routinewerkzeug in der Präzisionsmedizin ihren Platz findet. Gemeinsame Projekte von verschiedenen Forschungsinstituten sowie Nachwuchsforscher in der Biomedizin spielen eine wichtige Rolle, wenn es darum geht, die Entwicklung von Biomarkern und Medikamenten auf Basis von RNA voranzutreiben.



Ausgehend von DNA werden RNA-Moleküle geschaffen. Erst jetzt beginnen wir die vielen Rollen zu verstehen, die sie für die Überwachung unserer Gesundheit spielen.

©LIH

2.7 Was unsere Stimme über uns sagt

Aurélie Fischer

Informationen über unsere Gesundheit kommen aus vielen Quellen, auch aus unserer Stimme. Durch die Modulation von Ton, Geschwindigkeit und Intensität in Sprache und Stimme drücken wir nicht nur Gefühle aus, sondern geben auch Hinweise auf unseren Gesundheitszustand. Ein vokaler Biomarker ist ein Merkmal oder eine Kombination von Merkmalen der Stimme oder der Sprache, die durch Studien mit einer Krankheit oder einem Symptom in Verbindung gebracht wurden.

Vokale Biomarker werden durch Sprachaufnahmen erfasst, zusammen mit weiteren Gesundheitsdaten der Patientinnen und Patienten. Die Aufnahmen werden vorbearbeitet, um Hintergrundgeräusche zu entfernen, die Tonqualität zu vereinheitlichen und diejenigen Merkmale auszuwählen und auszukoppeln, die von einem KI-Algorithmus analysiert werden. Die Tonsignale können auch in Bilder umgewandelt werden, um Deep-Learning-Algorithmen zu trainieren. Nach Erprobung im klinischen Setting werden vokale Biomarker schließlich in Apps für das Smartphone, Chat-Bots oder Sprachassistenten integriert.

Vokale Biomarker sind ein gutes Beispiel für nicht-invasive Tools in der Präzisionsmedizin, die nicht nur zu Diagnose und Überwachung des Fortschreitens einer Krankheit eingesetzt werden können, sondern auch, um eine personalisierte und rechtzeitige Behandlung anzustoßen. Derzeit werden viele stimm- und sprachbasierte Anwendungen entwickelt, mit denen die Lebensqualität und Versorgung von Menschen mit Erkrankung signifikant verbessert werden kann.



Vokale Biomarker können durch Aufnahmen identifiziert werden. Jede Aufnahme gibt wichtige Einblicke in unsere Gesundheit.
©LIH



© Shutterstock/RossHelen

Kapitel 3

Precision Health 2050

3.1 Augmented Humans - Augmented Doctors

Jochen Klucken

Stell Dir vor, Du bist Student:in oder Student im Jahr 2050 und möchtest einen Beruf im Gesundheitswesen oder in der Medizin ergreifen. Precision Health ist inzwischen Alltag im Gesundheitswesen geworden. Das Wort „Arzt“ ist Synonym für jegliche Art von Gesundheitsberuf geworden, einschließlich therapeutischen und psychologischen Fachkräften, Pflegekräften, etc., denn alle arbeiten in einem interdisziplinären Netzwerk zusammen, in dem die Gesundheitsbedürfnisse der Patientinnen und Patienten mit digitaler Unterstützung versorgt werden.

Wir unterscheiden nicht mehr zwischen den medizinischen Daten aus klinischen Forschungsstudien und den medizinischen Daten, die beim Arztbesuch erhoben werden. Alle erhobenen Daten werden in einer patientenzentrierten elektronischen Akte gespeichert und stehen damit allen Beteiligten im Versorgungsprozess zur Verfügung (Patientinnen und Patienten, medizinischem Personal, Krankenversicherung) sowie auch der Forschung, die den medizinischen Fortschritt vorantreibt.

Reale Daten werden von einer Vielzahl von Sensoren, Smartphone-Apps, Ortungsgeräten, Monitoring Systemen und sogar den sozialen Medien bereitgestellt. Dadurch können intelligente Algorithmen (bekannt als „künstliche Intelligenz“) Krankheitszustände und Diagnosen besser vorhersagen und zu individuelleren Behandlungsentscheidungen und Beobachtungszyklen beitragen. Die Aufgabe von Ärztin/Arzt hat sich durch die Verfügbarkeit der realen Daten und der Vielzahl verschiedener Algorithmen grundlegend verändert, es besteht viel mehr Transparenz zwischen Arzt, Patient und allen weiteren Beteiligten. Die Verfügbarkeit der patientenzentrierten realen Daten hat auch Auswirkungen auf die Einbeziehung von Patienten und Ärzten in Forschung und Innovation. Menschen mit Erkrankung können bei der Auswahl von menschlichen und digitalen Dienstleistungen mitentscheiden. Die Daten, die von diesen Dienstleistungen aufgezeichnet werden, dienen als Grundlage für Innovationen und die Entwicklung weiterer verbesserter Dienstleistungen. Zugleich zeichnen Ärzte ihre eigenen Daten auf und beteiligen sich so einerseits an der Forschung und tragen andererseits zu Innovationen und Qualitätskontrolle im Gesundheitswesen bei.

Medizin basiert nicht mehr auf Daten, sondern auf dem Mehrwert für Patientinnen und Patienten. Daten werden nur noch für Innovation, Evaluation und Qualitätskontrolle herangezogen. Der Zugang zu Daten

ist einer der wichtigsten Treiber und Kontrollpunkte. In der Schule hast Du bereits alles gelernt, was Du für diese Herausforderung brauchst, und natürlich weißt Du ganz genau, wie wichtig Datenschutz und -sicherheit sind. Du begreifst die Themen Gesundheit und Medizin als ein interdisziplinäres Konzept und hast schon viel über die gesellschaftlichen und ethischen Folgen dieser neuen Dimension erfahren. Außerdem bist Du gerüstet, einen möglichen Missbrauch wirksam zu bekämpfen. Während Deiner Ausbildung hast Du neben klinischen Fertigkeiten und Kenntnissen über die einzelnen Erkrankungen auch Fachwissen zu technischen und Datensicherheitsanforderungen erworben. Du hast Kurse zu digital unterstützter Kommunikation auf der Basis von Patientenbedürfnissen besucht und hast die Definitionen von Datenschutz und Identität im Detail verinnerlicht, denn Du bist ein Kind der Zeit nach der Digitalwende.

Mit Anfang 20 bist Du in einer ähnlichen Situation wie die „Digital Immigrants“, die vor 40-50 Jahren geboren wurden, als es noch kein Internet gab. Also, keine Angst. Stell es Dir einfach vor...



In naher Zukunft werden sich Ärzte mit ihren Patienten verbinden können dank moderner Technologien, die ihre Gesundheitsparameter kontinuierlich überwachen.
©LIH

3.2 Tele-Health - moderne Technologien verbessern die Patientenversorgung

Guy Fagherazzi

Mit der zunehmenden technischen Entwicklung leben wir nun in einer Welt, in der Telemedizin immer mehr zur Norm wird. Telemedizin ermöglicht Patientenversorgung trotz räumlicher Trennung zur Arztpraxis durch den Einsatz von Technologien und Telekommunikationssystemen. Tele-Health als Begriff ist noch weiter gefasst und beinhaltet die Telemedizin. Er lässt sich definieren als die Übermittlung von Gesundheitsversorgung, -aufklärung und -informationsdiensten mittels Remote-Technologien. Bald schon werden Diagnose, Beobachtung und Behandlung dank digitaler Technologien so verbessert werden, dass der Behandlungsweg vereinfacht und das Leben sowohl von Patientinnen und Patienten als auch von medizinischen Fachkräften leichter wird. Von Prävention bis Krankheitsmanagement ermöglichen Tele-Health-Lösungen eine besser auf die individuelle Situation der Patientinnen und Patienten zugeschnittene Versorgung.

Die Möglichkeiten sind schier endlos. Nehmen wir beispielsweise Anna, eine 45-jährige Frau, die im Jahr 2050 wegen Brustkrebs in Behandlung war. Sie bekommt im Anschluss eine Hormontherapie, die von einem auf Präzisionsmedizin spezialisierten Apotheker genau auf ihr biologisches Profil abgestimmt wurde. Sie nutzt eine App auf ihrer Smartwatch, die regelmäßig dutzende Biomarker evaluiert, um Anna's Allgemeinzustand zu überprüfen. Jeden Morgen misst sie den Grad ihrer Müdigkeit mit Hilfe von Sprachaufnahmen und eines Smart Spiegels, der Bilder von ihr analysiert. Im Krankenhaus können sowohl der Onkologe als auch das Pflegepersonal die Entwicklung ihrer KI-basierten digitalen Biomarker in Echtzeit auf einem Dashboard verfolgen. Jede Änderung im Muster generiert einen Alarm, so dass Anna schnell einen Termin bei ihrem Onkologen erhält. Anstatt also monatelang auf ihre routinemäßige Nachsorgeuntersuchung zu warten, wird ein eventueller Rückfall frühzeitig in der digitalen Überwachung erkannt. So wird Anna unter Umständen vor einem neuen aggressiveren Tumor geschützt.



Telemedizin nutzt Technologie, um die Entfernung zwischen Patienten und Mitarbeitern des Gesundheitswesens unabhängig von ihrem geographischen Standort zu überbrücken.

© Shutterstock/Dubrovina Olga

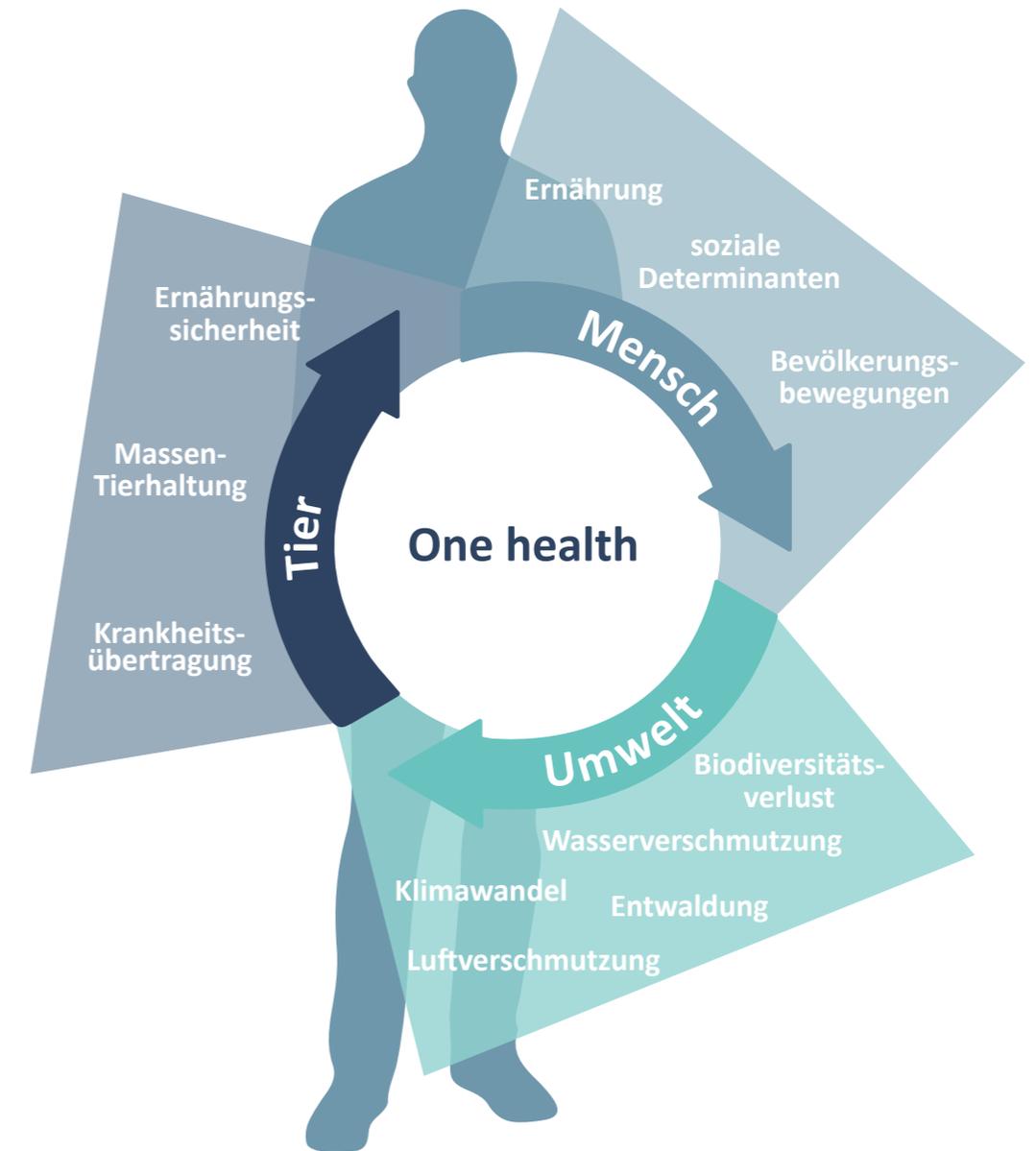
3.3 Der One-Health-Ansatz - alles ist miteinander vernetzt

Guy Fagherazzi

Alles ist miteinander vernetzt. Das wurde vor allem während der Corona-Pandemie deutlich. Mindestens 60 % der Infektionskrankheiten beim Menschen sind tierischen Ursprungs. Viele krankheitsauslösende Viren, wie etwa das Covid-19-, Zika- oder Ebola-Virus, die Vogelgrippe oder sogar HIV, lassen sich auf Tiere zurückführen. Aufgrund des Anstiegs der Weltbevölkerung, des zunehmenden Verkehrs, der fortgesetzten Umweltzerstörung und Stadtentwicklung ist mit solchen schweren Ausbrüchen nun regelmäßig zu rechnen. Menschliches Handeln spielt bei der Verbreitung von Infektionskrankheiten eine wichtige Rolle. Durch Waldrodung kommen beispielsweise Wildtiere mit Nutztieren in Kontakt, so dass neue Erreger schließlich auf den Menschen übertragen werden können.

In diesem Zusammenhang entstand das Konzept „One-Health“, das dafür sorgen soll, dass Menschen weltweit an einem Strang ziehen. Es berücksichtigt alle Faktoren, die zum Entstehen von Krankheiten beitragen. Die Herausforderung besteht darin, wirksame Kooperationen von Forschungsorganisationen in der Human- und Veterinärmedizin sowie in der Umweltforschung aufzubauen. Das Konzept wird von internationalen Organisationen wie der Weltgesundheitsorganisation (WHO), der Weltorganisation für Tiergesundheit (OIE) und der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) unterstützt.

Wenn wir über Precision Health sprechen, wo es darum geht, die bestmögliche Gesundheitsversorgung für alle zu erreichen, unabhängig von Lebensstil, dem soziodemografischen Hintergrund und biologischen Eigenschaften, dann führt kein Weg mehr an One-Health vorbei.



Der One-Health-Ansatz regt uns dazu an, das Auftreten von Krankheiten ganzheitlich zu betrachten.

©LIH



© Shutterstock/metamorworks

Kapitel 4

Berufe in der Präzisionsmedizin

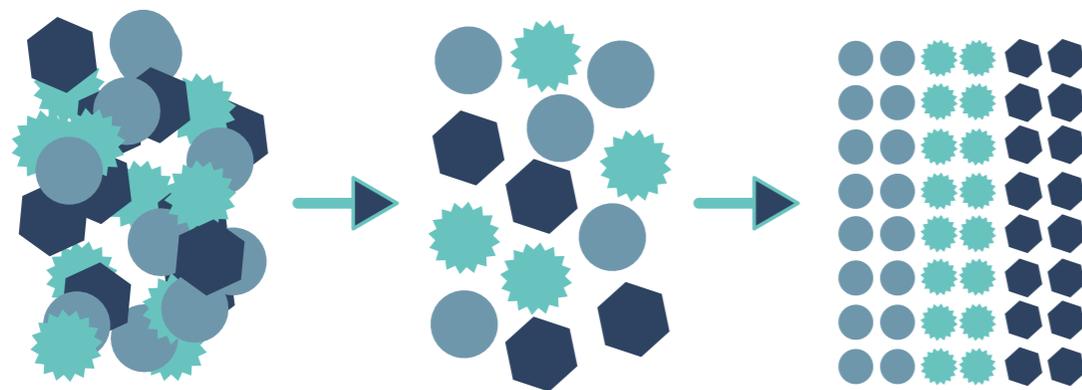
4.1 Datenmanager:in & Data-Steward

Michel Vaillant

Im Laufe des letzten Jahrhunderts gab es viele tiefgreifende Veränderungen im Bereich der Verwaltung klinischer Daten, als die Pharmaindustrie in ihrer Studiendokumentation von Papier zu Electronic Data Capture (EDC - elektronische Datenerfassung) Systemen wechselte. Ein neuer Ansatz basierend auf Echtzeitdaten, Risikoanalyse und individualisierten Strategien zur klinischen Überwachung setzte sich durch. Dieser Ansatz brachte wiederum die Erwartung mit sich, dass Daten aus klinischen Studien schneller verarbeitet werden.

Die Manager:innen klinischer Daten werden mehr und mehr zu Data Stewards oder Datenwissenschaftler:innen, spezialisiert im Verarbeiten klinischer Daten mithilfe neuer Strategien und Technologien zur Analyse großer Datenmengen. Die Manager:innen klinischer Daten kombinieren Wissen in den Bereichen Biologie und Informatik. Sie verstehen die Spezifität der Daten, die erhoben werden müssen und implementieren die Systeme, die diese Daten speichern und verwalten.

Data Stewards überwachen die Daten, welche die Datenmanager:innen bereitstellen, und integrieren die verschiedenen Datenquellen in eine Studie. Die Data Stewards sind an allen Prozessen beteiligt, in denen Daten langfristig gesammelt, verwaltet, ausgewählt, gespeichert und geteilt werden, um so das Sammeln verschiedener Datentypen zu organisieren und sie den jeweiligen Probanden zuzuordnen. Data Stewards überwachen ebenfalls den Datenfluss, welcher zwischen den verschiedenen Akteuren während der Studie entsteht.



Datenmanager:innen und Data-Stewards im klinischen Bereich nutzen neue Technologien, um große Datenmengen zu verarbeiten und zu bereinigen.
©LIH

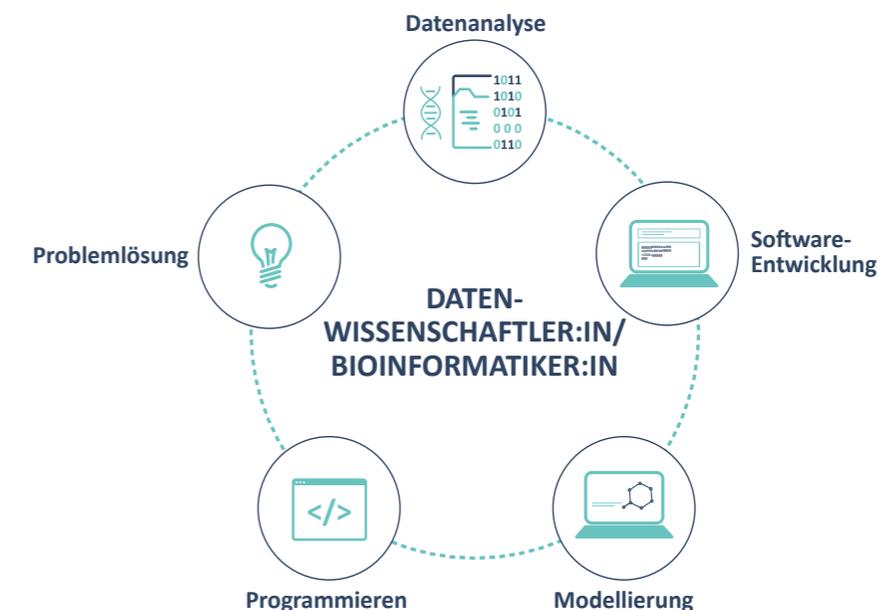
4.2 Datenspezialist:in & Bioinformatiker:in

Petr Nazarov

Heutzutage gewinnt die Datenanalyse immer mehr an Bedeutung für die moderne Medizin und Biologie. Diese beiden Bereiche sind in die Ära von Big Data eingetreten, in der Informationen nicht mehr ohne die Hilfe von Computern extrahiert und verarbeitet werden können. Das interdisziplinäre Feld, das sich mit der Extraktion und Bereitstellung der Informationen aus Bereichen wie der Biomedizin und der Datenwissenschaft beschäftigt, ist die Bioinformatik.

Ein:e Bioinformatiker:in befasst sich mit den folgenden drei Bereichen: Datenanalyse (die Suche nach relevanten Fakten in den Daten), Software-Entwicklung (Algorithmen, neue Visualisierungsmethoden, etc.) und Modellierung. Oftmals müssen diese drei Aspekte kombiniert werden, um sich an die wissenschaftliche Fragestellung anzupassen, die es zu beantworten gilt.

Kannst Du ein:e Bioinformatiker:in werden? Höchstwahrscheinlich! Du musst dazu angemessene Fähigkeiten im Bereich Programmieren erlernen und zumindest ein Basisverständnis für Statistik und Biologie vorweisen. Am wichtigsten ist aber, dass Du neugierig bist! Du solltest Dich für Deine Arbeit einbringen und mit Leidenschaft neue Entdeckungen verfolgen. Ein Beruf in der Bioinformatik ist sehr bereichernd: Du stehst an erster Stelle und im Zentrum vieler Forschungsprojekte. Der Beruf entwickelt sich beständig weiter und bedient sich der derzeit modernsten Verfahren, die aber wahrscheinlich in fünf Jahren bereits überholt sein werden. Die Kompetenzen, die Du Dir als Bioinformatiker:in und Datenwissenschaftler:in aneignest, werden immer wichtiger in zahlreichen Sektoren.



©LIH

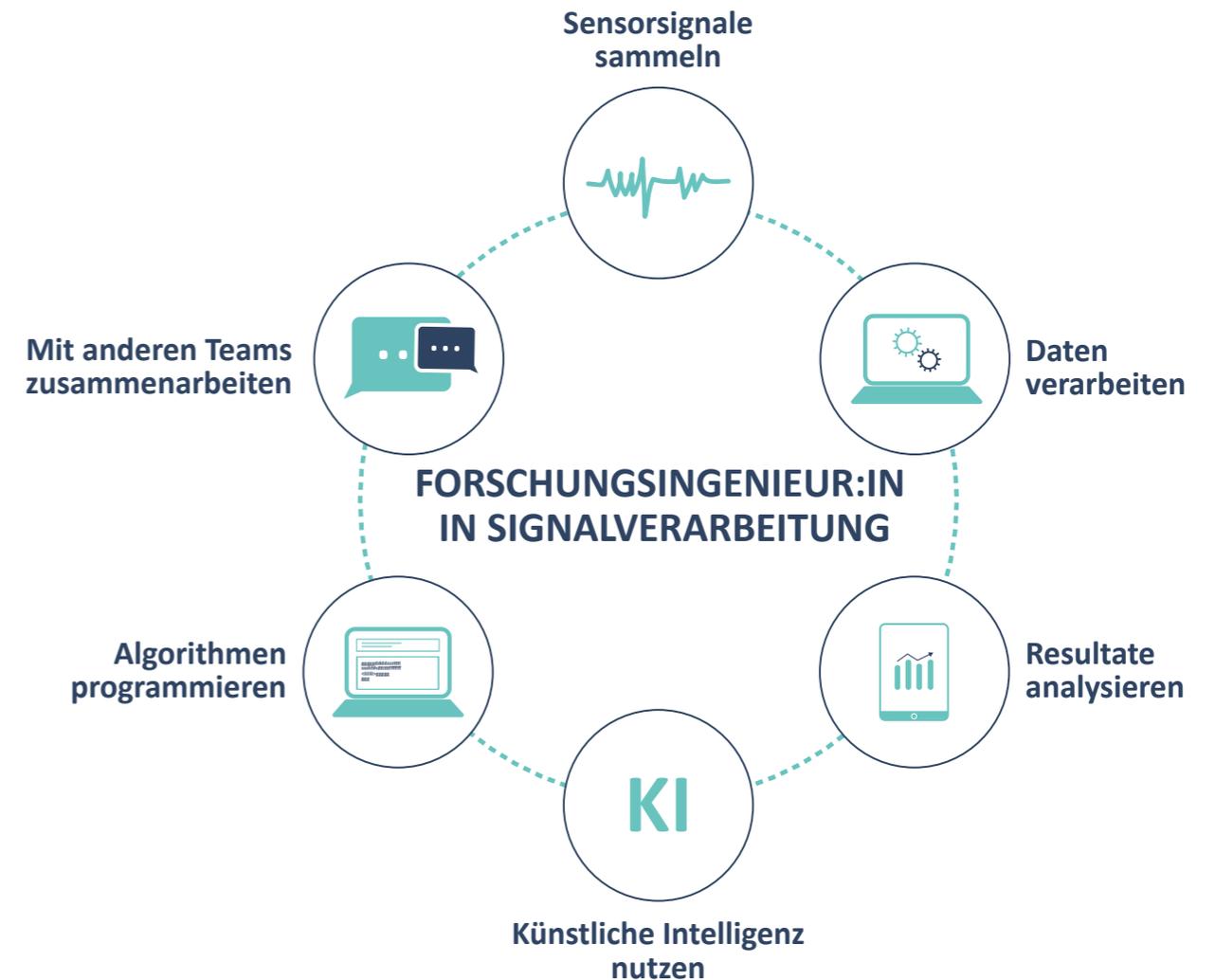
4.3 Forschungsingenieur:in in Signalverarbeitung

Bernd Grimm

Im Laufe des letzten Jahrzehntes wurden tragbare Sensoren immer genauer, kleiner, leichter und preiswerter. Die so von neuen Technologien gesammelten Biosignale und biometrischen Daten haben in Kombination mit Fortschritten im Bereich der Signalverarbeitung mittels maschinellen Lernens eine Revolution ausgelöst in den Bereichen der Medizin, der Gesundheit und der Sportwissenschaft. Dadurch können medizinische Behandlungen weiter personalisiert werden.

Ein:e „Forschungsingenieur:in in der Signalverarbeitung“ arbeitet im Zentrum der Innovation, an der Schnittstelle von Ingenieurwesen und Medizin. Ingenieurinnen und Ingenieure wissen Sensortechnologie im Labor und im realen Leben einzusetzen sowie auch Sensorsignale zu sammeln, zu verarbeiten, zu analysieren und zu visualisieren, um aus ihnen medizinisch relevante Daten abzuleiten. Sie statten so z.B. eine Schuhsohle mit Druck- oder Bewegungssensoren aus, führen Experimente durch, um Sensorsignale zu sammeln, und verarbeiten dann diese Daten. Ein:e Signalverarbeitungsingenieur:in wendet ebenfalls Methoden aus den Bereichen des maschinellen Lernens und der KI an, um die Daten zu verarbeiten. Wenn z.B. große Audiodatenmengen gesammelt wurden, indem Probanden in ein Smartphone husteten, kann ein:e Signalverarbeitungsingenieur:in dabei helfen, dass an COVID-19 erkrankte Personen identifiziert und somit Kosten und Aufwand der Testung reduziert werden können.

Ein:e „Forschungsingenieur:in in Signalverarbeitung“ bringt ein Interesse an der Arbeit mit neuen Technologien mit (z.B. Sensoren), eine Leidenschaft für das Erkunden von Daten und Erstellen von Algorithmen zur Identifizierung relevanter Daten. In diesem Berufsfeld arbeitet man mit zahlreichen Teams zusammen, dazu zählen medizinisches Fachpersonal und Wissenschaftler:innen anderer Bereiche wie z.B. der Biologie, der Biomechanik oder Sportwissenschaften.



©LIH

4.4 Forschungsrankenpflege, wissenschaftliche Mitarbeit und Koordination für klinische Studien

Manon Gantenbein

Klinische Forschung ist integraler Bestandteil der Tätigkeit des LIH. Die fachübergreifenden und translationalen Studien des Instituts zielen immer auf die Entwicklung von Forschungsprojekten im klinischen Bereich ab, welche greifbare und zeitnahe gesundheitliche Nutzen für die Patientinnen und Patienten hervorbringen. Dafür werden hochspezialisierte Fachleute in der Durchführung klinischer Studien benötigt, wie z.B. Clinical Research Coordinator - CRC (Koordinator:in für klinische Studien) oder Clinical Research Associate - CRA (wissenschaftliche:r Mitarbeiter:in für klinische Studien).

CRCs und CRAs nehmen täglich vielseitige Aufgaben wahr. Diese gehen vom Management eines klinischen Forschungsteams oder der Studienergebnisse selbst bis hin zur Prozessüberwachung in den Bereichen Zulassung, Finanzen, Verwaltung oder in regulatorischen und juristischen Prozeduren. Diese Aufgaben setzen oft eine gute Schreibkompetenz voraus, denn CRCs und CRAs werden damit beauftragt, den zuständigen Behörden Forschungsanträge zukommen zu lassen oder Abschlussberichte sowie gelegentlich Manuskripte zu erstellen. Sie sind ebenfalls die Hauptansprechpartner:innen für Industrie, Hochschulen, Krankenhäuser sowie Forscher:innen und stehen im Kontakt mit Ärztinnen und Ärzten, öffentlichen oder privaten Einrichtungen, welche sich mit klinischer Forschung beschäftigen und Forschungsprojekte im klinischen Bereich entwickeln.

Die tägliche Arbeit in der Forschungsrankenpflege ist mehr auf die Studienteilnehmer:innen und ihre Betreuung ausgerichtet. Dazu zählt z.B. den Probanden die Studie vorzustellen, die Planung der Termine sowie die Ausführung bestimmter Auswertungen unter Anleitung von Arzt oder Ärztin. Forschungsrankenpflegekräften steht so mehr Zeit zur Verfügung, um den Probanden die Ziele und den Umfang der Studie zu erläutern, und sie sind ein wichtiger Ansprechpartner für die Studienteilnehmer:innen, ohne jedoch den forschenden Arzt zu ersetzen.



©LIH

4.5 Datenschutzbeauftragte:r

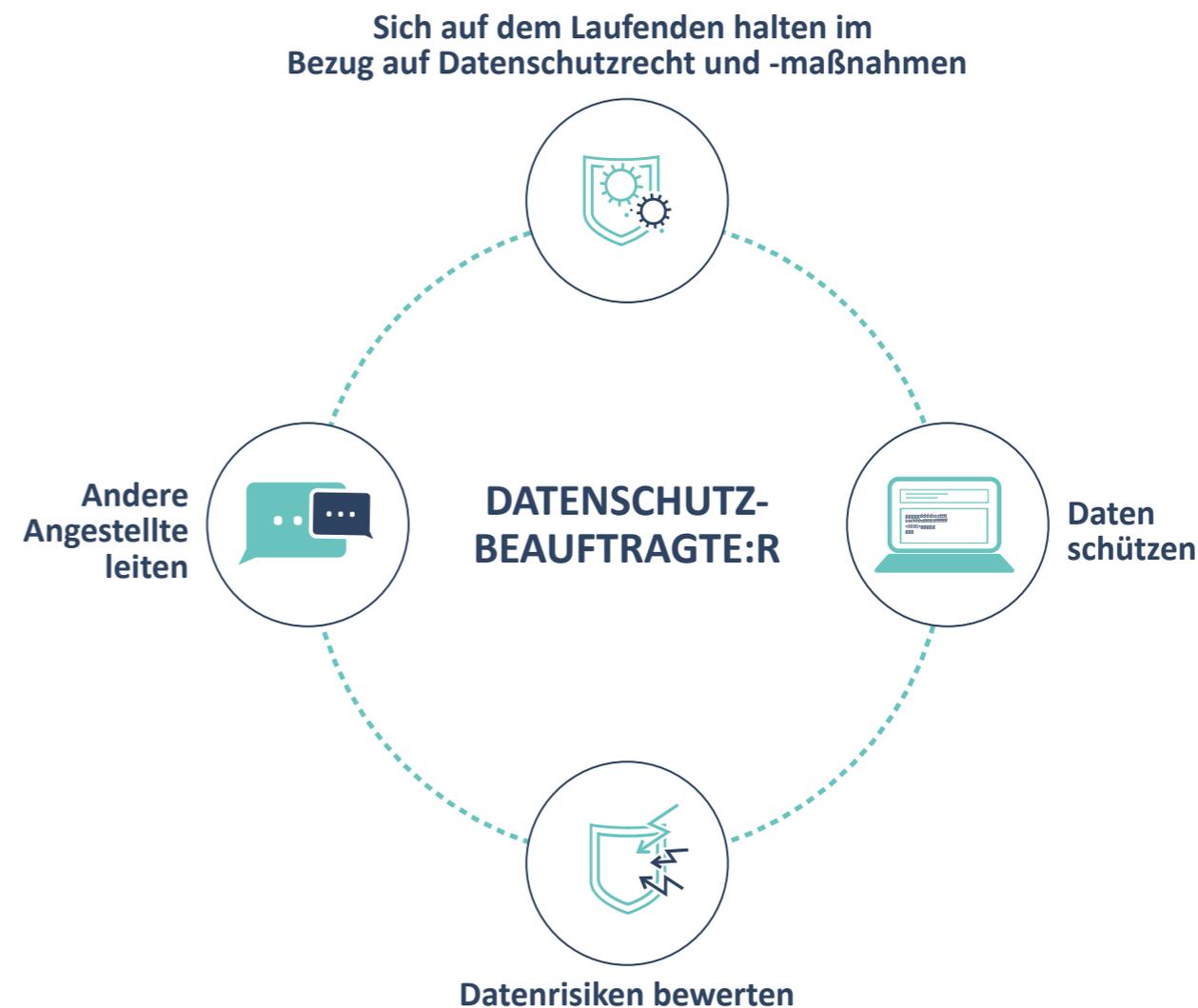
Laurent Prévotat

Es liegt auf der Hand, dass Forscher:innen, professionelles Pflegepersonal und Health-Tech Unternehmen im Bereich Precision Health große Datenmengen verarbeiten müssen, welche teilweise sensible Datensätze enthalten, wie z.B. gesundheitliche und genetische Informationen. Die Entscheidung von Interessenten zur Teilnahme an einer klinischen Studie hängt also hauptsächlich davon ab, ob ihre Daten entsprechend geschützt werden können.

Mit der Erhöhung der von der Präzisionsmedizin genutzten Datenmenge wird die Sicherheit dieser Daten immer mehr zu einem der wichtigsten Aspekte, da deren Missbrauch enorme Auswirkungen auf das Leben der Patienten/Studienteilnehmer haben könnte. Deswegen ist es umso wichtiger, dass Unternehmen der Präzisionsmedizin die Vorgaben der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) besonders streng einhalten und somit Patientinnen und Patienten das nötige Vertrauen vermitteln, um an einer Studie teilzunehmen.

Eine der wichtigsten Rollen, um dieses Ziel zu erreichen, ist die des Data Protection Officers - DPO (Datenschutzbeauftragte:r). DPOs müssen ein fundiertes Wissen in den Bereichen Datenschutzrecht und -maßnahmen, IT, Sicherheit und Risikomanagement vorweisen sowie ein ausgeprägtes Verständnis für das Umfeld, in denen sie ihre Tätigkeit ausüben. DPOs sollten eigenverantwortlich arbeiten, effizient kommunizieren und ihre Kollegen mit einem hohen Grad an Eigenständigkeit und Integrität anleiten können.

Datenschutzgesetze bedeuten erhebliche Anstrengungen für Organisationen, um die Daten, die sie verarbeiten, möglichst gut zu schützen. DPOs unterstützen ihre Arbeitgeber:innen darin, dass die Daten auf angemessene, sichere und rechtskonforme Weise verarbeitet werden.



© LIH

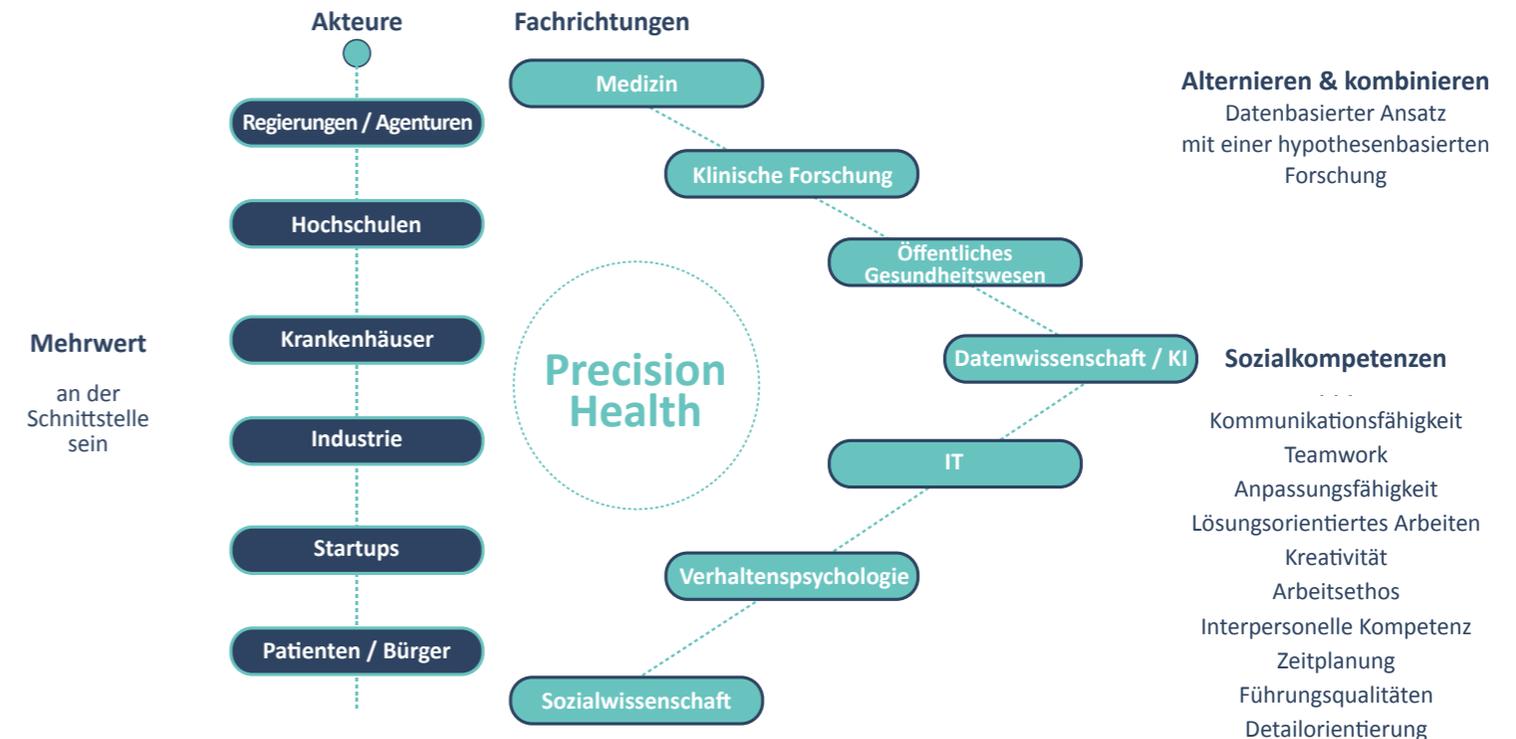
4.6 Forscher:in

Guy Fagherazzi

Aufgeschlossenheit ist der Grundstein für den Forschungsberuf im Bereich Precision Health. Die Zukunft des Gesundheitswesens liegt nicht länger in den Händen von Ärztinnen/Ärzten oder dem Pflegepersonal. Sie wird hingegen bald auf einem komplexen Netz von Akteuren aus verschiedenen Fachbereichen fußen, die miteinander interagieren, um die bestmögliche Gesundheitsversorgung anbieten zu können.

Precision Health liegt im Grunde an der Schnittstelle unterschiedlicher Fachbereiche. Dementsprechend hat ein:e Forscher:in im Bereich Precision Health ein hybrides Profil und verfügt über fundierte Kompetenzen in mehreren wichtigen Gesundheitsbereichen (z.B. Medizin, klinische Forschung, Biologie, Epidemiologie, öffentliches Gesundheitswesen, Sozialwissenschaften) und ein ausgeprägtes Wissen im Bereich der Datenverarbeitung und -valorisierung (z.B. KI, Bioinformatik, Datenwissenschaft, IT im Gesundheitswesen, Biostatistik). Die Wissenschaftler:innen können fachübergreifende Forschungsprojekte leiten und problemlos mit verschiedenen Interessengruppen kommunizieren. Soft Skills wie Kommunikation, Teamfähigkeit und Kreativität sind also ebenfalls sehr wichtig neben den Fachkenntnissen, die für die eigentliche Forschung nötig sind.

Forscher:innen im Bereich Precision Health arbeiten an der Lösung von Schlüsselproblemen, um mithilfe der Analyse großer Datenmengen die Gesundheit von Patientinnen und Patienten zu verbessern, und ihr Leben so leichter zu gestalten. Die Wissenschaftler:innen versuchen, ihre Lösungen an jeden Menschen mit Erkrankung individuell anzupassen. Die Nutzung digitaler Daten oder Technologien unterstützt sie bei ihrer Arbeit.



Forscher im Bereich Precision Health arbeiten an der Schnittstelle aller Akteure und Disziplinen des Gesundheitswesens.
©LIH

4.7 Noch unbekannte Berufsfelder

Guy Fagherazzi

Der Bedarf an Gesundheitsdaten, um die Pflege und Prävention auch in Zukunft zu gewährleisten, wird immer größer. Diese Tendenz führt zur Entwicklung immer neuer Berufe. Es wird oft erwähnt, dass wir 85 % der Berufe des Jahres 2030 noch gar nicht kennen, stell Dir das also mal für 2050 vor!

Im Bereich Precision Health wird es Augmented Doctors geben, die Technologie nutzen, um ihre Behandlungen noch weiter zu verbessern. Die Forschung wird sich auf KI und große Datenmengen stützen, um neue Therapiemöglichkeiten oder Biomarker zu entdecken und so das Leben von Millionen Patientinnen und Patienten zu erleichtern. Datenmanager:innen, Data Stewards, Datenwissenschaftler:innen oder Dateningenieur/-ingenieurinnen werden bei der Verwaltung, Bereitstellung, Verarbeitung, Analyse und Nutzung der Daten helfen, um die Gesundheitsversorgung zu verbessern.

In den vorhergehenden Kapiteln wurde bereits gezeigt, dass KI-Algorithmen sehr leistungsstark aber auch potentiell gefährlich sein können, wenn sie nicht korrekt genutzt oder geprüft werden. Außerdem entwickeln sich KI-Algorithmen durch die Erfassung neuer Daten kontinuierlich weiter, sie müssen also auch regelmäßig überprüft werden, um sicherzustellen, dass sie nach wie vor zuverlässig arbeiten und sie den Patientinnen und Patienten nicht schaden. Für diese Aufgaben werden im Laufe der nächsten Jahre Experten im Bereich „KI Audit“ ausgebildet und als unabhängige Prüfer:innen der KI-Algorithmen und ihrer Leistung fungieren, um so die Sicherheit der Menschen zu gewährleisten.

Die Bereiche Robotik und virtuelle oder erweiterte Realität werden ebenfalls sehr wichtig für das Gesundheitswesen und die medizinischen Anwendungen der Zukunft sein. In diesen wachsenden Gebieten werden Arbeitsplätze in neuen Berufen geschaffen, die nur darauf warten, erfunden zu werden.

Mit diesem Buch können wir lediglich einen kleinen Eindruck über die Veränderungen vermitteln, welche die Präzisionsmedizin im Gesundheitswesen im Laufe der nächsten Jahre hervorbringen wird. Der Rest liegt bei Dir.



*Der Bereich Precision Health verändert sich rapide - so auch die Berufe in diesem Feld. Vielleicht hält die Zukunft Deinen Traumberuf für Dich bereit?
©LIH*

Referenzen

Kapitel 1:

1. Topol EJ. Cell 2014;157:214-53.

Kapitel 2:

1. The mobile economy. Available at: <https://www.gsma.com/mobileeconomy/europe/> (Last accessed August 2022).
2. European Wearable Market Showed Positive Growth in 1Q21, Says IDC. Available at: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prEUR147995121> (Last accessed August 2022).
3. Caulfield BM and Donnelly SC. QJM 2013;106:703-7.
4. Pattichis CS and Panayides AS. Front Digit Health 2019;1:1.
5. Piwek L, et al. PLoS Med 2016;13:e1001953.
6. Vente JC, et al. Science 2001;291:1304-51.
7. Lander ES, et al. Nature 2001;409:860-921.
8. The ENCODE Project Consortium. Nature 2012;489: 57-74.
9. Goretti E, et al. Trends Mol Med 2014;20:716-25.
10. Badimon L, et al. Cardiovasc Res 2021;117:1823-1840.

Kapitel 3:

1. Prainsack B. Personalized Medicine: Empowered Patients in the 21st Century? NYU Press;2017.
2. Basch E, et al. Lancet Oncol 2006;7:903-9.
3. U.S. Department of Health and Human Services FDA Center for Drug Evaluation and Research, et al. Health Qual Life Outcomes 2006;4:79.
4. INVOLVE supporting public involvement in NHS, public health and social care research. Available at : <https://www.invo.org.uk/> (Last accessed October 2022).
5. Hoddinott P, et al. F1000Res 2018;7:752.
6. Rowe CK, et al. J Pediatr Urol 2018;14:322.e1-322.e6.
7. Aguayo GA, et al. J Med Internet Res 2021;23:e25743.

Kapitel 4:

1. Sender R, et al. PloS Biol 2016;14: e1002533.
2. Shortt C, et al. Eur J Nutr 2018;57:25-49.
3. Oliphant K and Allen-Vercoe E. Microbiome 2019;7:91.
4. McLoughlin RF, et al. Am J Clin Nutr 2017;106:930-945.
5. Dingeo G, et al. Food Funct 2020;11:8444-8471.
6. Bohn T, et al. Nutr Cancer 2013;65:919-29.
7. Sonnenburg ED, et al. Nature 2016;529:212-5.
8. Desai MS, et al. Cell 2016;167:1339-1353.
9. Wolter M, et al. Nat Rev Gastroenterol Hepatol 2021;18:885-902.

Glossar

- **Algorithmus:** Eine Reihe von Anweisungen, die befolgt werden müssen, um ein Problem oder eine Berechnung zu lösen.
- **Autoimmunerkrankung:** Ein Zustand, bei dem das Immunsystem irrtümlich gesundes Gewebe angreift und es als fremd ansieht.
- **Big Data:** Eine Reihe von Daten (in diesem Fall aus dem Gesundheitsbereich) mit einem sehr großen Volumen.
- **Biologische Marker (Biomarker):** Ein objektives Maß für das Wohlbefinden oder die Krankheit einer Person.
- **Biologische Probe:** Eine Probe (z.B. Blut, Urin, Speichel, Stuhl), die von einer Person entnommen wurde.
- **Chemisches Exposom:** Die Summe all dessen, dem der Mensch von der Geburt bis zum Tod ausgesetzt wird ; insbesondere im Zusammenhang mit Schadstoffen.
- **Darm-Hirn-Achse:** Die bidirektionale Kommunikation zwischen dem zentralen Nervensystem und dem Nervensystem des Verdauungstrakts.
- **Deep-Learning-Algorithmus:** Eine Art des maschinellen Lernens, die sich an dem neuronalen Netzwerk unseres Gehirns orientiert.
- **Desoxyribonukleinsäure (DNA):** Moleküle im Inneren der Zellen, die sämtliche genetische Informationen beinhalten.
- **Digitaler Zwilling:** Ein digitaler Avatar (eine digitale Nachbildung) einer physischen Einheit (z. B. eines Organs oder einer Person), der virtuell nachgebildet wird und ähnliche Elemente und Dynamiken aufweist, die eine Vorhersage seiner Leistung im wirklichen Leben ermöglichen.
- **Digitalisierung:** Die Umwandlung von Daten in eine digitale Form, die von einem Computer verarbeitet werden kann.
- **Einbeziehung von Patienten und Öffentlichkeit:** Forschung, die mit Patienten oder von den Patienten selbst durchgeführt wird.
- **Entzündung:** Die Immunreaktion des Körpers auf einen Reizstoff oder Krankheitserreger.
- **Genom:** Die genetische Information eines Organismus.
- **Infektionskrankheit:** Eine Krankheit, die durch einen Erreger wie ein Virus, ein Bakterium, einen Pilz oder einen Parasiten verursacht wird.
- **Künstliche Intelligenz:** Intelligenz, die von Maschinen (Computern) simuliert wird.
- **Mikrobiom:** Alle Mikroorganismen, die eine bestimmte Region des Körpers besiedeln.
- **Neurodegenerative Krankheit:** Eine Krankheit, die das zentrale Nervensystem betrifft.
- **Nicht-kodierende RNAs:** Ein RNA-Molekül, das nicht in ein Protein übersetzt wird.
- **Patientenbezogene Ergebnisse (Patient-Reported Outcomes, PRO):** Informationen über eine Krankheit, die direkt von den Patienten selbst geliefert werden, ohne dass eine externe Interpretation, z.B. durch Ärzte, erfolgt.
- **Präzisionsgesundheit:** Suche nach der besten Lösung, um das Auftreten von Krankheiten zu verhindern oder zu verzögern und das tägliche Leben der Erkrankten zu verbessern, unter Einbeziehung der Besonderheiten des Individuums.
- **Protein:** Biomolekül, das aus Aminosäuren besteht und für alle biologischen Funktionen der Zellen unerlässlich ist.
- **Ribonukleinsäure (RNA):** Molekül, das für die Regulierung und Expression von Genen unerlässlich ist.
- **Translationale Forschung:** Forschung, die darauf abzielt, Ergebnisse aus der Grundlagenforschung in einen direkten Nutzen für Patienten umzusetzen.
- **Tele-Health:** Die Erbringung von Dienstleistungen in den Bereichen Gesundheitsfürsorge, Gesundheitserziehung und Gesundheitsinformation über Ferntechnologien.
- **Telemedizin:** Die Nutzung von Technologien und Telekommunikationssystemen für die Gesundheitsversorgung von Patienten, die geografisch von Gesundheitsdienstleistern getrennt sind.
- **Vokaler Biomarker:** Merkmal oder eine Kombination von Merkmalen in der Stimme, die mit einer Krankheit oder einem Symptom im Zusammenhang stehen.

Danksagungen

Besonderer Dank gilt allen folgenden Autoren und Mitwirkenden, die dieses Buch möglich gemacht haben:

Laura Bella, Christopher Clarke, Arnaud d'Agostini, Malou Fraiture, Frank Glod, Katarzyna Golkowska, Dominique Hansen, Joanna „Asia“ Muz, Myriam Schmit, Luc Weis und der Service de Coordination de la Recherche et de l'Innovation pédagogiques et technologiques (SCRIPT), Thierry Flies und die Vereinigung Ingénieurs et Scientifiques du Luxembourg, und viele andere.

Lies dieses Buch auf Englisch, Deutsch und Französisch auf
www.precisionhealth.lu

