

Das Magazin des Paul Scherrer Instituts

01 / 2024

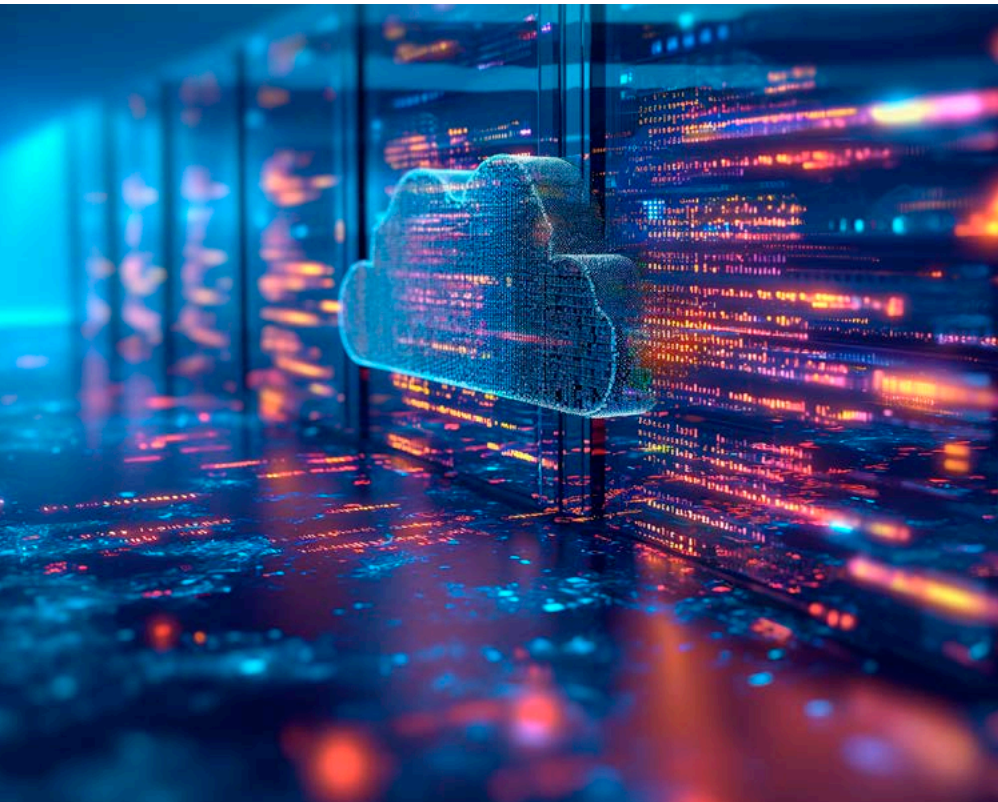
2025

SCHWERPUNKTTHEMA

SCHNELLER ZU MEHR WISSEN – MIT KI



SCHWERPUNKTTHEMA: SCHNELLER ZU MEHR WISSEN – MIT KI

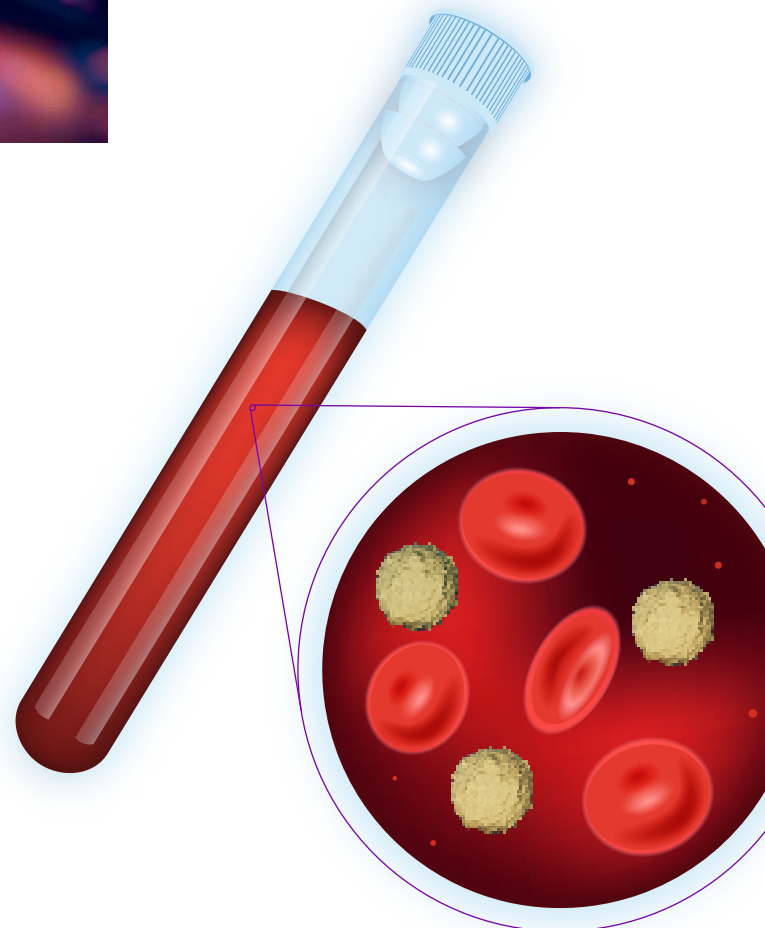


HINTERGRUND

Eine mögliche Abkürzung

Forschende am PSI erschliessen sich neue Wege zur Erkenntnis. So entdecken sie beispielsweise neuartige Materialien, verbessern die Sicherheit von Kernkraftwerken oder optimieren Aerosolanalysen in der Atmosphärenforschung.

Seite 10





HINTERGRUND

Grundlegend anders

Proteine sind die Arbeitspferde des Lebens. Ohne sie geht in biologischen Zellen kaum etwas vonstatten. Entscheidend für ihre Funktionalität ist ihr Aufbau aus verschiedenen Aminosäuren. Aneinandergereiht wie eine Perlenkette, bestimmen sie, welche Eigenschaften ein Protein hat. Forschende am PSI sind mithilfe von künstlicher Intelligenz dabei, diesen Code zu entschlüsseln.

Seite 18

INFOGRAFIK

Tumore im Visier

Künstliche Intelligenz kann unter anderem schnell und treffsicher Muster erkennen. Der Clou: Sie kann mit entsprechendem Training auch ihr bislang unbekannte Muster identifizieren. Forschende des PSI nutzen das, um sowohl die Tumordiagnose als auch die Überwachung eines Therapieerfolges zu verbessern.

Seite 16

INHALT

EDITORIAL	4
ALLTAG	
Schön bunt	6
FORSCHUNG	
Produktion optimieren	7
 SCHWERPUNKTTHEMA: SCHNELLER ZU MEHR WISSEN - MIT KI	8
 HINTERGRUND Eine mögliche Abkürzung	10
 INFOGRAFIK Tumore im Visier	16
 HINTERGRUND Grundlegend anders	18
IM BILD	
Mysterium Wolkenbildung	21
IN DER SCHWEIZ	
Hoffnung für krebskranke Kinder	22
Seit zwei Jahrzehnten ist die Expertise des Zentrums für Protonentherapie bei der Behandlung der jüngsten Patientinnen und Patienten schweizweit gefragt.	
IN KÜRZE	
Aktuelles aus der PSI-Forschung	26
<ol style="list-style-type: none"> 1 Studie zu klimaneutralem Fliegen 2 Einblick in 3-D-Druck 3 Bessere Batterien für E-Autos 4 Mechanische Reprogrammierung für Gewebe 	
GALERIE	
Ideen mit Pfiff	28
Wir haben Forschenden eine knifflige Aufgabe gestellt: Skizziere einmal die Grundidee deiner Forschung in einer einfachen Zeichnung. Herausgekommen sind pfiffige Resultate, die besser als tausend Worte erahnen lassen, worum es geht.	
ZUR PERSON	
Netzwerk als riesiger Vorteil	34
Torsten Tritscher arbeitet als Ingenieur für das US-Unternehmen TSI, das Geräte zur Messung der Luftqualität entwickelt und weltweit vertreibt. Vieles von dem, was er dafür braucht, hat er während seiner Promotion am PSI gelernt.	
WIR ÜBER UNS	38
IMPRESSUM	40
AUSBLICK	41



Christian Rüegg, PSI-Direktor



Ein grossartiges Werkzeug

Sie macht viel von sich reden und verändert die moderne Forschung: künstliche Intelligenz (KI). Sie verbessert die Art und Weise, wie wir Wissenschaft betreiben, und beschleunigt das Tempo, in dem Entdeckungen gemacht werden. In kurzer Zeit ist sie damit zu einem unverzichtbaren Werkzeug in der Forschung geworden und sie wird sicher dazu beitragen, bisher ungelöste Rätsel zu entschlüsseln.

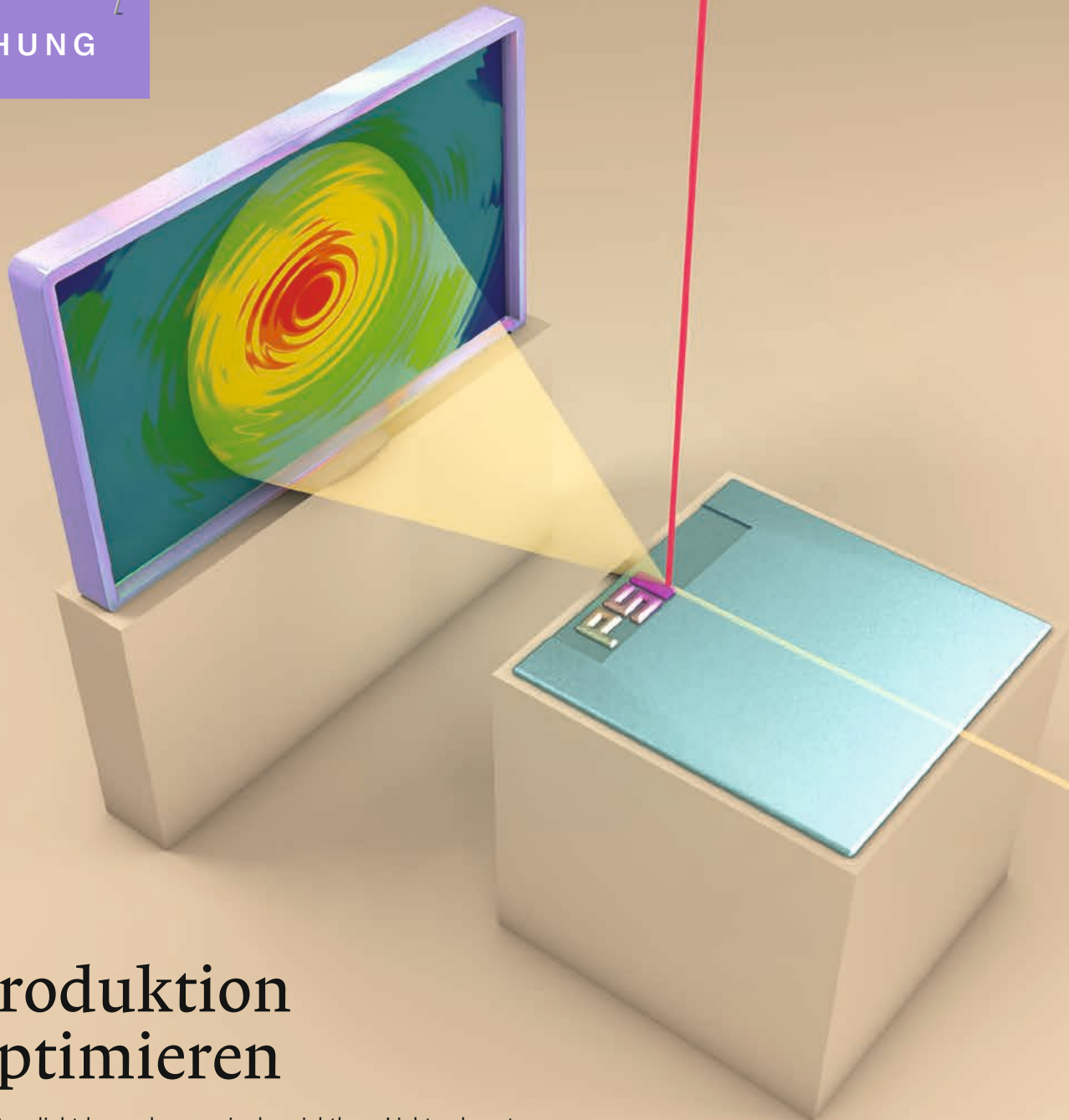
Zwei Stärken der KI liegen in ihrer Fähigkeit, einerseits riesige Datenmengen zu nutzen und andererseits darin schnell und präzise Muster zu erkennen. Das entspricht genau den Anforderungen vieler Forschenden am PSI, denn mit unseren Grossforschungsanlagen erzeugen wir gewaltige Datenmengen. Dafür brauchen wir neben den KI-Modellen auch die entsprechende Infrastruktur, zum Beispiel Datenleitungen und Rechner. Schon heute leistet KI wertvolle Hilfe bei Fortschritten auf Gebieten, die am PSI eine zentrale Rolle spielen – etwa in der medizinischen und pharmazeutischen Forschung oder in den Energie- und Umweltwissenschaften. Einige herausragende Beispiele dafür stellen wir Ihnen in dieser Ausgabe vor. Dabei wird deutlich: Künstliche Intelligenz ist ein grossartiges Werkzeug. Aber es braucht immer kluge Köpfe, die sie entsprechend einsetzen. Dazu gehört selbstverständlich der verantwortungsvolle Umgang mit dieser neuen Technologie, damit sie dem Wohl der Gesellschaft dient.

Neben allem Nützlichen kann KI aber auch mehr Freude ins Leben bringen. Um dies zu demonstrieren, haben wir einen Teil dieser Ausgabe mit entsprechenden KI-Anwendungen gestaltet, natürlich immer unter der professionellen Anleitung unserer Mitarbeitenden. Die Kulisse, vor der Sie mich hier sehen, ist ein gutes Beispiel dafür: Dieser Serverraum wurde mittels KI generiert und existiert so in der Realität nicht – weder auf dem Gelände des PSI noch sonst wo. Es ist eine reine Erfindung mithilfe der KI. Ich lade Sie ein, in die spannende Welt der Forschung mit KI am PSI einzutauchen.

Schön bunt

Dass sich helles Tageslicht aus vielen verschiedenen Farben zusammensetzt, lässt sich wohl am schönsten an einem Regenbogen erkennen. Man kann das aber auch beobachten, wenn Licht auf die Unterseite einer CD oder DVD fällt. Dann scheinen dort, ganz ähnlich einem Regenbogen, verschiedene Lichtreflexionen in Regenbogenfarben auf. Dieses Phänomen beruht auf der Beugung des Lichts, denn Tageslicht setzt sich aus ganz unterschiedlichen Wellenlängen zusammen. Einzeln nehmen wir diese jeweils als Farben wahr, zum Beispiel Blau, Grün, Gelb oder Rot. Die Unterseite einer DVD ist, anders als ihre spiegelnde Oberfläche vermuten lässt, nicht glatt, sondern weist winzige Rillen und Erhebungen auf. Diese dienen der Informationsspeicherung. Fällt weisses Licht darauf, dann wird es von den Rillen und Erhebungen gebeugt. Die Beugung des Lichts erfolgt dabei für verschiedene Farben unterschiedlich, was wiederum zur Aufspaltung des Lichts in seine verschiedenen Farbkomponenten führt. Deshalb können unsere Augen diese nun einzeln wahrnehmen und wir uns an den bunten Regenbogenfarben erfreuen.





Produktion optimieren

Röntgenlicht kann ebenso wie das sichtbare Licht gebeugt werden. Das geschieht beispielsweise, wenn es Materialproben durchdringt. Hinter der Probe ergibt sich – ähnlich wie bei Licht, das auf die Unterseite einer DVD fällt – ein spezielles Beugungsmuster. Dieses hängt von der Beschaffenheit des jeweiligen Probenmaterials ab. Für Laien wirken diese Beugungsmuster diffus. Forschende am PSI können aber mit komplexen Verfahren aus diesen Beugungsmustern eben genau die spezifische Beschaffenheit der Probe herauslesen. Das wenden sie zum Beispiel an, um herauszufinden, wie sich 3-D-Druck optimieren lässt. Dabei fällt ein Laser (hier als roter Strahl dargestellt) auf ein Pulver und verfestigt es Schicht für Schicht. Das Röntgenlicht, das mithilfe der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS erzeugt wird, durchleuchtet die und wird je nach deren Beschaffenheit gebeugt. Durch die Analyse des Beugungsmusters können die Forschenden dann Veränderungen in der lokalen Struktur erkennen und eine Korrelation mit den Druckparametern herstellen.



1 HINTERGRUND
Eine mögliche Abkürzung
Seite 10

Schneller zu mehr Wissen – mit KI

Künstliche Intelligenz revolutioniert die Forschung. Sie führt nicht nur schneller und mit weniger experimentellem Aufwand zu Ergebnissen, sie eröffnet teilweise völlig neue Wege zur Erkenntnis über die Grundlagen der Natur und der Materie. Auch Forschende am PSI nutzen die Vorteile, die KI ihnen bietet – sei es in der Material-, Atmosphären-, Kern- oder Medizinforschung.

2

INFOGRAFIK
Tumore im Visier
Seite 16

3

HINTERGRUND
Grundlegend anders
Seite 18

Magazin mit KI

Die Hintergründe des Umschlags, des Editorials und des gesamten Schwerpunktes in dieser Ausgabe haben wir mit der KI-Anwendung Midjourney entworfen. Das war hilfreich und spannend. Doch damit aus Hintergrund und fotografierten Forschenden jeweils stimmige Szenarien wurden, brauchte es immer noch die Kompetenz der Mitarbeitenden im Bereich Gestaltung und Fotografie.

Eine mögliche Abkürzung

Maschinelles Lernen und künstliche Intelligenz gehören heute zum Handwerkszeug der meisten Forschenden am PSI. Diese Methoden verändern die Wissenschaft teilweise grundlegend.

Text: Bernd Müller

Lässt sich die Zukunft der Welt und aller Atome im Universum berechnen? Eine Intelligenz, die alle Kräfte kenne, sei dazu in der Lage, meinte der französische Mathematiker Pierre-Simon Laplace (1749–1827): «Nichts wäre für sie ungewiss, Zukunft und Vergangenheit lägen klar vor ihren Augen.» Heute wissen wir: Laplace irrte, das Universum lässt sich niemals vollständig berechnen und vorhersagen. Das haben unter anderem die Relativitätstheorie und die Quantenphysik eindrucksvoll bewiesen.

Wirklich? Vielleicht kennt dieser sogenannte Laplace'sche Dämon eine Art Abkürzung, die es ihm erlaubt, von einer Ursache auf eine Wirkung zu schliessen, ohne sämtliche physikalischen Berechnungen dazwischen machen zu müssen. Diese Abkürzung gibt es tatsächlich und sie heisst maschinelles Lernen und Deep Learning mit neuronalen Netzen. Beide zählen zur künstlichen Intelligenz.

Maschinelles Lernen ist heute ein fester Bestandteil der Physik, der Chemie oder der Biologie und vieler anderer wissenschaftlicher Disziplinen. Meist geht es darum, Zusammenhänge zu erkennen, ohne den Rechenaufwand zu betreiben, der nötig wäre, um alle physikalischen Gleichungen im Sinne von Laplace zu lösen. Am PSI werden maschinelles Lernen, neuronale Netze und Methoden der künstlichen Intelligenz in vielen Projekten eingesetzt. Vier Beispiele zeigen, wie diese Methoden die Forschung am PSI verändern, man könnte sogar sagen: revolutionieren.

Materialforschung: Schluss mit Versuch und Irrtum

Was passiert in einer Lithium-Ionen-Batterie? Wird die Batterie geladen, wandern Lithium-Ionen in die Kathode hinein; wird die Batterie entladen, dann wandern die Ionen wieder aus der Kathode heraus. Dabei ändert sich die Zahl der Elektronen im Kathodenmaterial ständig, soviel ist bekannt. «Was dabei aber genau passiert, vor allem welche Kräfte wirken, das konnten Computerberechnungen bisher nur sehr schwer korrekt erfassen», sagt Nicola Marzari, Leiter des PSI-Labors für materialwissenschaftliche Simulationen und Professor an der ETH Lausanne EPFL. Dies sei aber entscheidend, um bessere

Batterien etwa für Elektroautos zu bauen. Physiker wie Marzari berechnen diese Prozesse mit der Schrödinger-Gleichung, der fundamentalsten – aber leider auch sehr komplexen – Gleichung der Quantenphysik. Um die Dynamik von nur ein paar Lithium-Ionen während des Ladens und Entladens zu berechnen, bräuchte man die Rechenleistung aller Computer der Welt. Zum Glück gelang es dem Chemiker Walter Kohn 1965, die numerische Anwendung der Schrödinger-Gleichung zu vereinfachen.

Doch selbst in dieser Form übersteigt sie die heutigen Rechenkapazitäten. Da wäre es nützlich, wenn es eine Abkürzung gäbe, die die aufwendige Berechnung umgeht und von den Anfangsbedingungen direkt auf das Ergebnis schliesst – ohne das Verhalten jedes einzelnen Lithium-Ions betrachten zu müssen. Das klingt nach einer Aufgabe für maschinelles Lernen und genau das setzen Forschende seit einigen Jahren erfolgreich ein. «Unser Modell ist eine Blackbox, es liefert direkt die Dynamik der Lithium-Ionen ohne die Komplexität vollständiger Quantenberechnungen», sagt Marzari.

Zuvor muss das Modell trainiert werden. Dazu rechnet Marzari mit Walter Kohns Theorie viele verschiedene atomare Konfigurationen durch und variiert dabei Temperatur, Verschiebungen und die Diffusion aller Atome eines Materials. So erzeugt er physikalische «Schnappschüsse», die er in das Modell einspeist. Einmal trainiert, ist das Modell in der Lage, neue Schnappschüsse zu erzeugen, ohne dass dazu kompliziertes Formelwerk und massive Rechenleistung nötig wären. Das PSI-Team nutzt die Methode, um feste Elektrolyte für Batterien zu entwickeln, die nicht so leicht in Brand geraten wie die derzeitigen mit entflammaren flüssigen Elektrolyten. Für die Energiespeicherung im grossen Massstab wäre es zudem interessant, Lithium durch andere, in der Erdkruste häufiger vorkommende Materialien wie Natrium, Magnesium oder Kalium zu ersetzen.

Bessere Materialien für Batterien sind nur ein Beispiel dafür, wie Quantensimulation und maschinelles Lernen die Materialforschung revolutionieren. Am PSI-Labor für materialwissenschaftliche Simulationen, das Teil des 2021 gegründeten Forschungsbereichs Computergestützte Wissenschaften, Theorie und Daten ist, werden rechnerische



Nicola Marzari, Leiter des PSI-Labors für materialwissenschaftliche Simulationen und Professor an der ETH Lausanne EPFL, sucht nach neuen Verbindungen mit einzigartigen elektronischen und magnetischen Eigenschaften wie beispielsweise das Mineral Jacutingaite – hier als Strukturformel dargestellt.

Terttaliisa Lind, Ingenieurin im Labor für Reaktorphysik und Thermohydraulik am PSI, und einer ihrer Mitarbeiter, Energieingenieur Christophe D'Alessandro, entwickeln Simulationen für die sichere Beherrschung von Störfällen in Kernkraftwerken.



Verfahren zur Vorhersage und Charakterisierung von Materialeigenschaften weiterentwickelt. Dabei arbeitet das Labor eng mit der EPFL und MARVEL zusammen, das ebenfalls von Marzari geleitet wird. MARVEL steht für «Materials' Revolution: Computational Design and Discovery of Novel Materials». Es ist einer der Nationalen Forschungsschwerpunkte NFS, der in der Periode von 2014 bis 2026 vom Schweizerischen Nationalfonds finanziert wird. «Wir wollen verstehen, wie sich Materialien verhalten und welche Eigenschaften sie haben, um neue und bessere Materialien zu finden», erklärt der Wissenschaftler. «Wir können dies ohne experimentellen Input machen. Wir arbeiten tatsächlich nur auf Basis der grundlegenden Quantensimulation. Aber dann gehen wir zu unseren Kolleginnen und Kollegen am PSI, die Experimente durchführen, und arbeiten gemeinsam an der Synthese und den Tests dieser Materialien.»

Ein Beispiel, bei dem das Prinzip Versuch und Irrtum noch funktioniert hat, ist Graphen, eine nur Atomlage dünne Kohlenstoffschicht mit einer Vielzahl von wabenförmig angeordneten Kohlenstoffatomen. Es handelt sich dabei um eine zweidimensionale Plättchenform, welche Graphen seine vielen besonderen Eigenschaften verleiht. Jahrzehnte lang reinigten Forschende Grafit, das sie im Labor als Testmaterial verwendeten, indem sie einen Klebestreifen darauf klebten und abzogen. Als zwei Physiker 2004 erstmals den Schmutz auf dem Klebestreifen untersuchten, entdeckten sie die hauchdünnen Kohlenstoffschichten des Graphens. Graphen hat faszinierende Eigenschaften, was seinen Entdeckern 2010 den Nobelpreis eintrug.

Mit MARVEL hätte man Graphen vielleicht schon früher gefunden. Forschende des PSI und der EPFL haben mit ihren Computern die Eigenschaften von anorganischen, kristallinen Materialien wie Silizium, Galliumarsenid oder Perowskiten unter die Lupe genommen. Aus 80 000 bekannten anorganischen Verbindungen identifizierten sie mithilfe von quantenmechanischen Algorithmen, Simulation und maschinellem Lernen mehr als 2000 Materialien, die sich in zweidimensionale Schichten ablösen lassen. Letztere sollten sich aus dem dreidimensionalen Ausgangsmaterial herstellen lassen – genau so einfach, wie es bei Graphen aus Grafit gemacht wird.

Eine erste Erfolgsgeschichte dieser Arbeit war Jacutingaite. Dieses 2008 in Brasilien entdeckte Mineral besteht aus Platin, Quecksilber und Selen. Es hat fast die gleiche Struktur wie Graphen, ist aber viel schwerer. Mit seinen Simulationsmethoden hat Marzaris Team die einzigartigen elektrischen und magnetischen Eigenschaften von Jacutingaite vorhergesagt. Es ist das erste und einzige bekannte Material, das die Physik eines Quanten-Spin-Hall-Isolators verwirklicht, wie er 2005 von zwei theoretischen Physikern der Universität von Pennsylvania – Charles Kane und Gene Mele – erdacht wurde. Inspiriert von dieser Entdeckung, gelang es Experimentatoren der Universität Genf, Jacutingaite künstlich herzustellen und mithilfe von Synchrotronstrahlung zu untersuchen. Das Ergebnis: Die Prognosen wurden experimentell exakt bestätigt.

Kernkraftwerke: Störfälle sicher beherrschen

Das will man in keinem Kernkraftwerk erleben: Der Strom fällt aus, die Kühlmittelpumpe stoppt. Der Kernreaktor erreicht eine kritische Temperatur. Jetzt schnell Kühlwasser einleiten, um die Temperatur zu senken. Aber nicht zu viel, denn das hatte 2011 beim Unfall im japanischen Fukushima schlimme Folgen. So oder so ähnlich laufen die Szenarien ab, mit denen das Personal mögliche Störfälle in Kernkraftwerken regelmässig trainiert, um diese sicher zu beherrschen. Doch die Simulationen laufen weder schnell genug ab, noch stellen sie die physikalischen und chemischen Vorgänge im Reaktor ausreichend genau dar. Ausserdem bilden sie nur häufiger auftretende, leichtere Störfälle ab.

Ganz anders ist das bei den Bildern, die Terttaliisa Lind, Ingenieurin vom Labor für Reaktorphysik und Thermohydraulik am PSI, auf einem Bildschirm betrachtet. «Das ist kein Video», sagt sie, «das ist eine Simulation mit echter Physik, die in jedem Moment berechnet wird.» Greift eine Testperson in den Ablauf ein, etwa durch Öffnen eines Ventils, passt sich die Simulation sofort an. Doch wie ist das möglich? Die thermodynamischen und chemischen Prozesse in einem Kernreaktor sind so komplex, dass selbst die leistungsfähigsten Computer sie nicht in Echtzeit berechnen können. Was in der Realität eine Minute dauert, dafür braucht der Computer zehn Minuten. So lassen sich vor allem schwere Störfälle nicht realistisch simulieren. Andererseits sind manche Abläufe bei einem Störfall sehr langsam und können Stunden dauern. Die Probanden würden die meiste Zeit Däumchen drehen.

Was die Kraftwerksbetreiber brauchen, sind Simulationen, die in Echtzeit ablaufen, aber auch beschleunigt werden können, ohne dass die Genauigkeit darunter leidet. Exakt daran arbeitet Lind in einem Projekt für Euratom, eine Organisation zur

«Wir erstellen Simulationen mit echter Physik, die in jedem Moment berechnet wird.»

Terttaliisa Lind, Ingenieurin im Labor für Reaktorphysik und Thermohydraulik

Koordinierung und Überwachung der zivilen Nutzung von Kernenergie und Kernforschung in Europa. Ihr Team ist einer von vierzehn Partnern aus zehn europäischen Ländern. Das Projekt startete im November 2022 und läuft vier Jahre. Ziel des Projekts ist es, einen Simulator für ungewöhnliche und schwere Störfälle zu entwickeln, der die Abläufe realistisch, nach den Gesetzen der Physik, abbildet. «So etwas gibt es derzeit nicht», sagt Christophe D'Alessandro, Energieingenieur und Experte für ASTEC am PSI.

Bei ASTEC handelt es sich um einen in Frankreich entwickelten Systemcode zur Simulation von schweren Störfällen in Kernkraftwerken. Er berechnet thermohydraulische Grössen wie Druck und Temperaturen im Reaktorbehälter, den Kühlkreisläufen und dem Containment, er ist aber sehr langsam. In dem Euratom-Projekt entwickelt D'Alessandro den Simulator und nutzt dabei einen Trick: Das Modell überspringt die Vielzahl der physikalischen Formeln, für die der Computer so viel Zeit braucht, und schliesst direkt vom Anfang auf das Ende eines Zeitschritts, etwa wenn ein Proband ein Ventil öffnet. Wie das geht? Durch maschinelles Lernen. Das Modell wird mit vielen ASTEC-Simulationen gefüttert, irgendwann kann es Ursache und Wirkung verknüpfen und für neue Situationen das Ergebnis genauso korrekt vorhersagen, als hätte es alle Formeln durchgerechnet.

Krebsforschung: Tumoren auf der Spur

Früh erkannt, ist Krebs häufig heilbar. Ein wichtiger Schritt ist G.V. Shivashankar gelungen, Leiter des Labors für Biologie im Nanobereich am PSI und Professor für Mechano-Genomik an der ETH Zürich. Sein Team konnte belegen, dass Veränderungen in der Organisation des Zellkerns mancher Blutzellen einen sicheren Hinweis auf einen Tumor im Körper liefern. Die Forschenden erkennen mit maschinellem Lernen Gesunde und Erkrankte mit einer Treffsicherheit von rund 85 Prozent. Sie waren auch in der Lage, zwischen verschiedenen Tumoren korrekt zu differenzieren. Ausserdem gelang es ihnen, Melanom, Gliom oder Hals-Nasen-Ohrentumor korrekt zu unterscheiden. «Das ist das erste Mal weltweit, dass das jemand mit einem KI-basierten Biomarker für die Chromatin-Bildgebung geschafft hat», freut sich Shivashankar (siehe auch Infografik, Seite 16). Die Tumore verraten sich durch das Chromatin der Blutzellen, so nennt sich die zu einer Art Knäuel verpackte Erbsubstanz DNA. Die Forschenden erfassten Fluoreszenz-Mikroskop-Bilder davon. Diese werteten sie mithilfe der KI aus und trainierten die KI zusätzlich damit. Das verspricht potenzielle Ansätze zur Frühdiagnose oder zur Bewertung der therapeutischen Ergebnisse.

Atmosphärenchemie: tausend Mal schneller rechnen

Man sieht sie nicht, aber sie sind überall: Aerosole, winzige Partikel in der Luft aus Staub, Salz, Pollen, Abgasen, Reifenabrieb und vielen anderen Quellen. Während Landbewohner mit jedem Kubikzentimeter Luft nur einige Hundert Partikel einatmen, können es in Ballungsräumen etliche Zehntausende sein – mit entsprechenden Risiken für die Gesundheit. Forschende der Atmosphärenchemie messen rund um den Erdball Menge und Art der Aerosole mit Lichtstreuexperimenten an Bord von Satelliten, Flugzeugen und Messstationen am Boden, um die Entstehung und die Auswirkungen von Aerosolen zu verstehen.

Dabei gibt es ein Problem: Je nach den Eigenschaften der Aerosole ändern sich die Messdaten. Aber wie schliesst man umgekehrt aus den Messdaten auf die Eigenschaften der Aerosole? Robin Modini und das Team für Aerosolphysik und Optik am Labor für Atmosphärenchemie des PSI haben dazu in den letzten Jahren bahnbrechende Erkenntnisse gewonnen – durch Training von künstlichen neuronalen Netzen im Computer, die häufig zu Erkennung von Mustern eingesetzt werden. Die Forschenden simulieren zunächst mithilfe physikalischer Gleichungen die von den Aerosolen erzeugten Streumuster des Lichts, dann trainieren sie das neuronale Netz mit diesen virtuellen Mustern. Das neuronale Netz gibt daraufhin die Eigenschaften der Aerosole für bestimmte Messdaten aus. Und dann wird ein fast magischer Trick angewendet: Die Polarität des neuronalen Netzes lässt sich umkehren, es kann somit verwendet werden, um Lichtstreuungsmuster für bestimmte Aerosoleigenschaften zu bestimmen.

Wie verblüffend gut das schon funktioniert, zeigen Kontrollmessungen im Labor. Proben aus der Luft werden in ein Polar-Nephelometer geleitet, welches das Laserlicht misst, das von den Aerosolen gestreut wird. Diese Messungen passen sehr gut zu der Theorie und zu den Vorhersagen des neuronalen Netzes. Die Forschenden haben damit ein mächtiges Instrument in der Hand, um die Daten aus den Lichtstremessungen von Satelliten oder Flugzeugen besser interpretieren zu können. Doch damit nicht genug: Weil nach dem Training des neuronalen Netzes die physikalischen Gleichungen aussen vor bleiben, ist die Methode extrem schnell. «Mit maschinellem Lernen berechnen wir die Eigenschaften von Aerosolen tausend Mal schneller als früher», sagt Robin Modini. Die PSI-Forschenden wollen diese Entwicklungen der Algorithmen mit ihrer Langzeit-Aerosolüberwachung kombinieren, die seit 1995 kontinuierlich auf dem Jungfraujoch durchgeführt wird. ◆

Robin Modini vom Labor für Atmosphärenchemie des PSI will die Messung von Aerosolen mithilfe von künstlicher Intelligenz verbessern. Seine Methoden sollen dann auch einmal an der Forschungsstation auf dem Jungfraujoch in mehr als 3000 Metern Höhe zum Einsatz kommen.

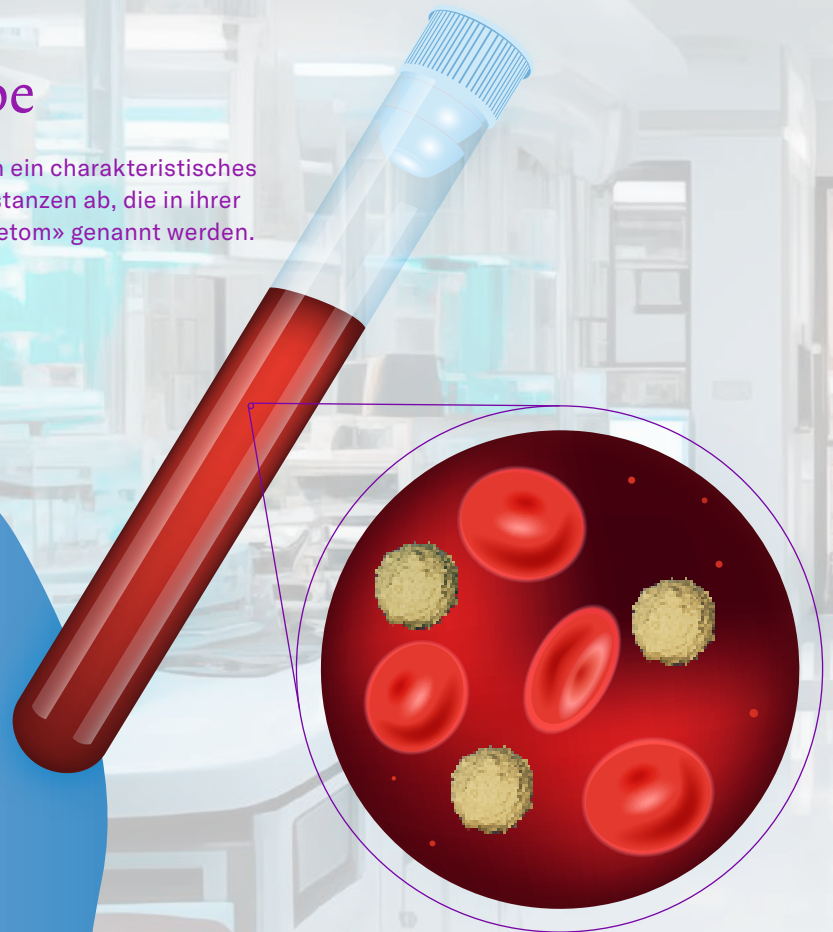


Tumore im Visier

Am PSI arbeiten Forschende daran, die Diagnose von Tumoren und deren Behandlung zu verbessern. Künstliche Intelligenz kann dabei helfen. Mit ihr lassen sich beispielsweise Veränderungen von Blutzellen, die durch bildgebende Verfahren sichtbar gemacht werden, schnell und treffsicher feststellen.

Blutprobe

Tumorzellen geben ein charakteristisches Gemisch von Substanzen ab, die in ihrer Gesamtheit «Sekretom» genannt werden.



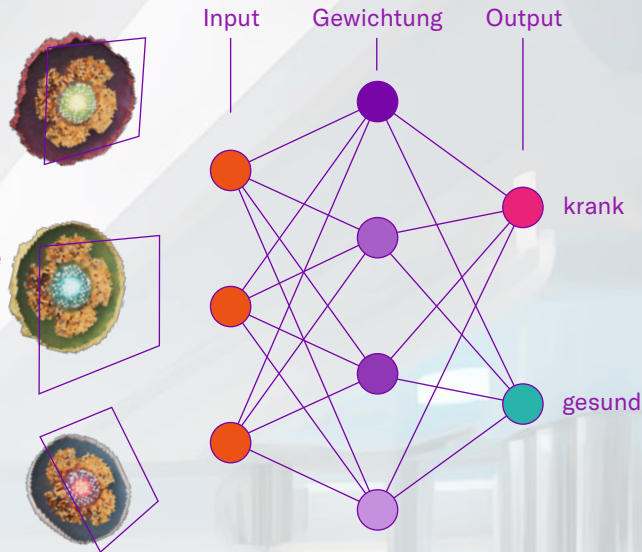
Blutzellen

Das Sekretom von Tumoren unterscheidet sich von Tumorart zu Tumorart. Bestimmte Zellen im Blut (hier in gelblichem Ton dargestellt), sogenannte mononukleäre Zellen, reagieren spezifisch darauf und verändern in der Folge ihr Aussehen.

Den Algorithmus trainieren

Der Computer erhält Bilder der Zellen als Input. Während der Trainingsphase lernt er, deren verschiedene Auffälligkeiten nach ihrer Relevanz zu gewichten. Mithilfe dieser Gewichtung kann er abschätzen, ob eine Zelle eventuell auf einen Tumor hinweist oder nicht. Letztendlich soll KI treffsicher auch abweichende Zellen erkennen, von denen sie noch kein exaktes Bild als Vorlage erhalten hat.

Weitere Informationen:
<https://psi.ch/de/node/60742>



Bessere Diagnose

Das Fernziel aller Anstrengungen ist es, schnellere, einfachere und bessere Diagnosemöglichkeiten zu schaffen.



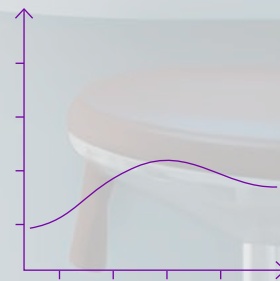
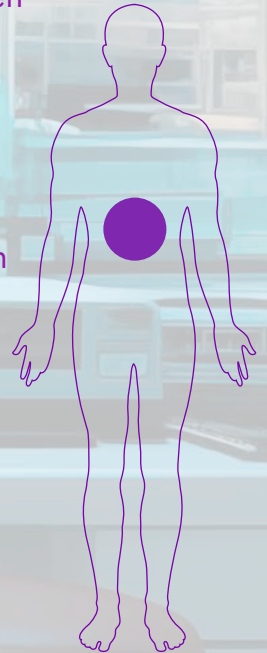
Screening

Mithilfe von KI können jeweils auffällig veränderte Zellen des Blutes identifiziert werden. Die Algorithmen lernen dabei eigenständig, diese Auffälligkeiten zu registrieren und zu unterscheiden.



Identifizierung von möglichen Tumorerkrankungen

Identifizierung von unterschiedlichen Tumoren



Überwachung des Therapieerfolges

Grundlegend anders

Grossforschungsanlagen am PSI wie der Schweizer Freie-Elektronen-Röntgenlaser SwissFEL und die Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS – insbesondere nach dem Upgrade SLS 2.0 – liefern unvorstellbar grosse Datenmengen. Künstliche Intelligenz hilft dabei, diese effizient auszuwerten und das volle Potenzial der Anlagen für die Forschung auszuschöpfen.

Text: Bernd Müller

Proteine sind die Arbeitspferde des Lebens. Als winzige molekulare Maschinen kommen sie in jeder Zelle vor und sind an fast allen biologischen Prozessen beteiligt – vom Stoffwechsel bis zur zellulären Kommunikation. Ihre Vielfalt ist gewaltig, denn allein im menschlichen Körper gibt es Hunderttausende verschiedener Proteine, von denen jedes seine eigene Funktion hat. Proteine sind wichtige Angriffspunkte für Medikamente, und das Verständnis ihrer Struktur und Funktion ist eine wichtige Aufgabe in der biologischen Forschung. Eine Herausforderung bei der Entwicklung von Medikamenten ist es, einen Wirkstoff zu finden, der möglichst nur mit einem Proteintyp interagiert und nicht mit allen anderen.

Um so ein Kunststück zu vollbringen, muss man zuerst die Sprache der Proteine verstehen. Grundlage dieser Proteinsprache ist eine Art Alphabet. Dieses besteht im Wesentlichen aus zwanzig Bausteinen, analog zu Buchstaben. Bei Proteinen handelt es sich jedoch nicht um Buchstaben, sondern um Aminosäuren. Jedes Protein besteht aus einer bestimmten Abfolge dieser Aminosäuren, die wiederum einen grossen Teil seiner Eigenschaften bestimmt. Forschende möchten nun gerne wissen, welche Proteinsequenz zu welcher Eigenschaft führt. Hier kommen neuerdings sogenannte Large Language Models à la GPT4 ins Spiel. Der KI-Chatbot ChatGPT, der seit 2022 für Furore sorgt, basiert auf GPT4. Beide wurden von dem Unternehmen Open-AI entwickelt. ChatGPT verwendet einen umfangreichen Datensatz aus Texten, die von Menschen erstellt wurden, um die Muster und Strukturen der Sprache zu lernen. Wenn der Benutzer eine Frage oder Aufgabe eingibt, erzeugt das Modell eine Antwort, die auf seinem Verständnis des Kontexts und den Mustern basiert, die es während des Trainings gelernt hat. So kann es Gedichte, Romane und sogar Programmiercode schreiben.

Flurin Hidber, ein Doktorand, der von Xavier Deupi, einem Experten für Bioinformatik und Proteinstruktur am PSI, betreut wird, setzt KI in der Proteinforschung ein. Hidber verwendet ein ausgeklügeltes Modell, das ChatGPT ähnelt. Doch statt

eine menschenähnliche Sprache zu erzeugen, wird es darauf trainiert, Aminosäuren in Proteinsequenzen vorherzusagen. Diese einzigartige Fähigkeit ahmt nicht nur die Vorhersagefähigkeiten von Sprachmodellen in der KI nach, sondern liefert auch wertvolle Erkenntnisse über die Struktur und Funktion von Proteinen. Pharmazeuten könnten damit dann Medikamente massschneiden und den aufwendigen Prozess von Versuch und Irrtum im Labor, bei dem am Ende nur ein kleiner Teil der untersuchten Wirkstoffkandidaten vielversprechende Eigenschaften aufweisen, deutlich abkürzen.

Ein ehrgeiziges Ziel

Deupi und Hidber arbeiten deshalb auf ein ehrgeiziges Ziel hin: die genaue Aminosäuresequenz zu bestimmen, die zu einer gewünschten Proteineigenschaft führt. Ein Schwerpunkt ihrer Forschung sind lichtempfindliche Proteine, ein Spezialgebiet von Deupis Gruppe und ein Forschungsgegenstand am SwissFEL. Diese Proteine kommen in einer Vielzahl von Organismen vor, von Mikroben bis zum Menschen, und haben medizinisches Potenzial. Hidbers Einsatz von KI zur Prognose der Eigenschaften lichtempfindlicher Proteine allein auf der Grundlage der Sequenz ihrer Bausteine stellt einen bedeutenden Fortschritt auf diesem Gebiet dar. Durch die genaue Vorhersage der Lichtabsorptionseigenschaften von Proteinen könnte Hidbers Arbeit den Weg für die Entwicklung von Molekülen mit massgeschneiderten Eigenschaften ebnen – ein Schritt, der tiefgreifende Auswirkungen auf die Optogenetik haben könnte. Dabei handelt es sich um eine wissenschaftliche Technik, bei der mithilfe von Licht die Aktivität bestimmter Zellen in lebenden Organismen wie etwa Nervenzellen im Gehirn gesteuert und überwacht wird. Die Forschenden schleusen Gene für lichtempfindliche Proteine in diese Zellen ein, sodass sie das Verhalten der Zellen präzise beeinflussen können, indem sie sie mit Licht bestrahlen. Diese Technologie könnte zum Verständnis und zur Behandlung neurologischer Erkrankungen beitragen, da sie ein Instrument zur Verfügung stellt, mit



Xavier Deupi (links) und Flurin Hidber aus der Forschungsgruppe Theorie kondensierter Materie wollen besser verstehen, wie die Funktion mit der Struktur von Proteinen zusammenhängt. Im Visier haben sie vor allem lichtempfindliche Proteine.

dem sich die Aktivität bestimmter Gehirnzellen mit noch nie dagewesener Präzision untersuchen und kontrollieren lässt. Für die Zukunft haben sich Deupi und Hidber zum Ziel gesetzt, diesen Prozess umzukehren. Sie wollen neue Proteine mit massgeschneiderten Eigenschaften für bestimmte Anforderungen entwerfen, zum Beispiel Proteine, die auf das Licht einer bestimmten Farbe reagieren. Diese Blaupause könnte dann von Mitarbeitenden im Labor experimentell überprüft und hoffentlich bestätigt werden.

Die Dynamik von Proteinen steht auch im Mittelpunkt der Forschung von Cecilia Casadei. Die Physikerin hat einen neuen Algorithmus entwickelt, mit dem sich Messungen an Freie-Elektronen-Röntgenlasern wie dem SwissFEL effizienter auswerten lassen. Die Bausteine des Lebens führen oft ultraschnelle Bewegungen aus. Diese genau zu

untersuchen, ist ebenfalls entscheidend, um Proteine besser zu verstehen. Langfristig kann dies wertvolle Informationen über Krankheitsprozesse liefern und die Entwicklung neuer medizinischer Ansätze ermöglichen.

Extrem kurze Blitze aus Röntgenlicht auswerten

Der SwissFEL liefert extrem intensive und kurze Blitze aus Röntgenlicht in Laserqualität, um die ultraschnellen Bewegungen der Proteine zu vermessen. Diese liegen als Kristalle vor, ihre Struktur zeigt sich in sogenannten Diffraktionsbildern, die durch die regelmässige Anordnung der Proteine im Kristall entstehen und die von einem Detektor registriert werden. Die Daten aus einem einzigen Kristall enthalten aber nur zwei Prozent der Informationen

«Der Prozess, wie Wissenschaft gemacht wird, ändert sich gerade grundlegend.»

Xavier Deupi, Labor für Theorie kondensierter Materie

eines vollständigen Bildes. Um dies zu umgehen, werden die Daten üblicherweise in grobe Zeitabschnitte eingeteilt und alle Daten innerhalb eines Abschnitts gemittelt. Allerdings gehen bei dieser Mittelung auch viele Detailinformationen verloren. «Man könnte sagen, die Einzelbilder des Proteinfilms sind dann ein wenig verwaschen», so Casadei. «Deshalb haben wir eine Methode entwickelt, die mehr aus den Messdaten herausholt.»

Die neue Methode, die Casadei und ihr Team erarbeitet haben, trägt den Namen «Low-pass spectral analysis», kurz LPSA. Durch hochkomplexe mathematische Gleichungen entfernen die Forschenden unerwünschtes Rauschen aus den Daten, ohne die relevanten Details der Proteindynamik zu verlieren. Statt verwaschener Diffraktionsbilder lassen sich damit scharfe Aufnahmen in kürzesten Zeitabschnitten erzeugen, die die Proteinbewegung geschmeidig und ruckelfrei verfolgen – als würde man von einem alten Röhrenfernseher auf ein Video mit hoher Auflösung wechseln.

«Der neue Algorithmus hilft den Forschenden hier am SwissFEL des PSI, mehr Informationen aus ihren Daten herauszuholen», sagt Casadei. Umgekehrt kann der Algorithmus helfen, die langen Messzeiten zu verkürzen. Da Strahlzeit an Grossforschungsanlagen allgemein und am SwissFEL im Besonderen stets knapp ist, stellt dies eine höchst willkommene Aussicht für Protein-Forschende dar, die diese Spitzenanlage nutzen.

Eine weitere Herausforderung kommt auf die Forschenden mit dem Projekt SLS 2.0 zu. Nach ihrem Upgrade wird die Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS ab 2025 im Vergleich zu vorher ein Vielfaches an Messdaten liefern. Das können auch extrem leistungsfähige Computer kaum mehr verarbeiten. Maschinelles Lernen wird deshalb eine zentrale Rolle spielen. So haben die Forschenden für die SLS 2.0 Algorithmen entwickelt, die aus den Helligkeitswerten, die die Detektoren registrieren, in hoher Geschwindigkeit die Phasenverschiebungen der eintreffenden Lichtstrahlen bestimmen und daraus besonders wertvolle Informationen über die Probe liefern. «Das PSI ist dabei weltweit führend», betont Gebhard Schertler, Leiter des Forschungsbereichs Biologie und Chemie am PSI.

Eine weitere Stärke von maschinellem Lernen ist es, dass es Daten aus unterschiedlichen Messverfahren verknüpfen kann. So könnte man zum

Beispiel Bilder von Zellkernen mit dem Lichtmikroskop anfertigen, und Röntgenverfahren in der SLS 2.0 liefern zusätzlich hochauflösende Aufnahmen. Die KI würde diese unterschiedlichen Daten mit biochemischen klinischen Daten von Patientinnen und Patienten kombinieren. Ein und dieselbe Zelle kann man nicht mit unterschiedlichen analytischen Methoden untersuchen, aber mit maschinellem Lernen ist es möglich, die Datensätze der verschiedenen Methoden abzugleichen. Der Algorithmus erkennt die Eigenschaften von Zellen aus unterschiedlichen Experimenten. Das ist fast so, als hätte man ein und dieselbe Zelle mit allen Methoden gleichzeitig untersucht.

Grossforschungsanlagen bleiben unverzichtbar

Werden Grossforschungsanlagen wie der SwissFEL oder die SLS also bald überflüssig, weil sich alles mit KI und maschinellem Lernen erforschen lässt? Xavier Deupi verneint. «Grossforschungsanlagen bleiben auch im Zeitalter der KI unverzichtbar. Grosse Sprachmodelle bieten zwar leistungsstarke Werkzeuge für die Analyse bekannter Daten, können aber die Fähigkeit dieser Einrichtungen, neue grundlegende Daten zu generieren, nicht ersetzen.»

Dennoch ist die KI zu einem festen Bestandteil des Forschungsinstrumentariums geworden: von der Gewinnung von Erkenntnissen aus einer grossen Anzahl wissenschaftlicher Veröffentlichungen über die automatische Generierung von Programmcode bis zum Verfassen von Artikeln auf der Grundlage experimenteller Daten. «Diese Werkzeuge sind Teil unserer täglichen Routine», bestätigt Flurin Hidber. Xavier Deupi betont: «Trotz dieser Fortschritte sind für die Interpretation und kritische Diskussion der Ergebnisse nach wie vor erfahrene Forschende erforderlich.» Doch er räumt ein: «Junge Forschende wie Flurin arbeiten heute ganz anders als ich vor zwanzig Jahren – die Art und Weise, wie Wissenschaft betrieben wird, ändert sich grundlegend.» ♦





Mysterium Wolkenbildung

Lubna Dada beschäftigt sich im Labor für Atmosphärenchemie mit der Entstehung von Wolken. Sie hat entdeckt, dass ganz bestimmte gasförmige Kohlenwasserstoffverbindungen, sogenannte Sesquiterpene, eine herausragende Rolle bei der Wolkenbildung spielen. Sesquiterpene entstammen vor allem der Vegetation. Diese natürlichen Substanzen sind ein wichtiger Bestandteil ätherischer Öle, die wir zum Beispiel auf Spaziergängen durch die Natur wahrnehmen können. Sie sind sehr selten, tragen aber im Vergleich zu anderen Verbindungen in der Atmosphäre überproportional zur Bildung von Kondensationskeimen der Wolken bei. Dieses Wissen hilft, Klimamodelle und Klimavorhersagen zu verbessern.

Hoffnung für krebskranke Kinder

Von einer Bestrahlung mit Protonen gegen Krebs profitieren besonders die ganz jungen Patientinnen und Patienten. Gut, dass sich das Zentrum für Protonentherapie am PSI in den letzten zwei Jahrzehnten auf diesem Gebiet beträchtliche Erfahrung angeeignet hat: Seine Kompetenz ist bei den Kinderkrebskliniken schweizweit gefragt.

Text: Brigitte Osterath



Der sechsjährige Junge auf der Patientenliege schläft tief und fest. Ein steifes Netz aus Kunststoff in Form seines Kopfes verhindert, dass er sich im Schlaf bewegen kann. Der drehbare Bestrahlungsapparat, Gantry genannt, ist bereits auf den Kopf des Jungen ausgerichtet. Die PSI-Radiologiefachperson überprüft ein letztes Mal, ob das Kind richtig liegt, und verlässt den Raum. Vom Kontrollraum nebenan startet sie den Protonenstrahl.

Aus dem Bestrahlungskopf der Gantry tritt nun ein Strahl gebündelter Protonen aus und rastert millimetergenau den Tumor im Gehirn des kleinen Patienten ab. Die energiereichen Teilchen zerstören die Erbsubstanz in den Krebszellen, sodass diese absterben. Das funktioniert nach dem gleichen Prinzip wie bei der klassischen Strahlentherapie im Spital, bei der Röntgenstrahlen zum Einsatz kommen. Protonen haben gegenüber Röntgenstrahlen aber einen entscheidenden Vorteil: Sie geben bei der Bestrahlung den grössten Teil ihrer Energie in einem sehr schmalen Bereich im Körper ab, sprich im Tumor selber – dort bleiben sie quasi stecken. Dadurch wird das gesunde Gewebe, das vor und hinter dem Tumor liegt, geschont, sprich weniger geschädigt als bei einer klassischen Strahlentherapie.

Ganz besonders krebskranke Kinder profitieren von einer Protonentherapie, erklärt Damien Weber, Chefarzt und Leiter des Zentrums für Protonentherapie am PSI. «Kinder wachsen noch, und wenn gesunde Zellen in der Nähe des Tumors bei der Strahlentherapie geschädigt werden, können sie bei jeder zukünftigen Zellteilung diese Schäden an immer mehr Zellen weitergeben.» Ausserdem ist bei einem kleinen Körper schlichtweg die Wahrscheinlichkeit, dass sich in der Nähe des Tumors eine kritische Struktur wie die Wirbelsäule oder das Gehirn befindet, sehr viel höher als bei dem grösseren Körper eines Erwachsenen.

Kinder haben somit ein höheres Risiko, dass eine Krebsbestrahlung bei ihnen Langzeitschäden verursacht, mit denen sie ihr ganzes weiteres Leben zu kämpfen haben: von Tumoren, die erst durch die Bestrahlung entstehen, über Hörverluste und Beeinträchtigungen im Wachstum bis hin zu Lernschwächen. «Wenn ein Kind in der Schweiz eine gezielte Radiotherapie gegen Krebs benötigt, ist die sehr präzise Protonentherapie daher fast immer die Bestrahlungsmethode der Wahl», sagt Damien Weber.

Eine Erfolgsgeschichte

Seit 1999 behandelt das Zentrum für Protonentherapie krebskranke Kinder und Jugendliche. 2004 wurde erstmals ein Kleinkind unter Narkose bestrahlt: Es war knapp über zwei Jahre alt und litt an einem Weichteiltumor in der Augenhöhle. Anders als bei Erwachsenen braucht es bei solchen sehr

kleinen Patientinnen und Patienten eine Anästhesie. «Gerade eine präzise Bestrahlung wie die Protonentherapie ist sinnlos, wenn die Person sich während der Behandlung bewegt», erklärt Damien Weber. «Für kleine Kinder ist es aber extrem schwierig, während der gesamten Bestrahlungszeit still zu halten.» Eine leichte Narkose sorgt dafür, dass die Kinder schlafen und somit ruhig liegen, während der tumorzerstörende Protonenstrahl seine Arbeit verrichtet. Insgesamt werden ungefähr die Hälfte aller Kinder und Jugendlichen bis zum Alter von 18 Jahren unter Anästhesie bestrahlt.

Seit 2004 besteht eine enge Kooperation zwischen dem Zentrum für Protonentherapie (ZPT) und der Abteilung für Anästhesie am Universitäts-Kinderspital Zürich. Die Zusammenarbeit garantiert, dass jeden Tag ein Oberarzt oder eine Oberärztin sowie eine Anästhesie-Pflegekraft des Kinderspitals am PSI sind: Sie leiten die Narkose ein, überwachen den Zustand der kleinen Patientinnen und Patienten, wechseln Verbände und kümmern sich generell um die bestmögliche Versorgung.

«Wir nehmen uns viel Zeit für die Kinder», sagt Ilka Schmidt-Deubig, leitende Ärztin Anästhesie am Kinderspital Zürich. «Sie sollen bei uns keine Spitalatmosphäre vorfinden.» Daher bestellt das Team die Eltern mit dem Kind auch immer mindestens eine halbe Stunde vor der Bestrahlung ein, damit sie vorher im extra dafür eingerichteten Spielzimmer erst mal in Ruhe ankommen können. «Selbst traumatisierte Kinder haben nach ein bis zwei Wochen Vertrauen zu uns gefasst.»

Bei Start der Krebsbehandlung bekommen die Kinder eine Schnur mit ihrem Vornamen aus bunten Buchstabenperlen. «Im Laufe der Bestrahlungstherapie kommen immer weitere Perlen hinzu, die Mutterperlen», erklärt Ilka Schmidt-Deubig. Etwa wenn der Portkatheter angestochen wird, über den die Anästhesistin Medikamente einleitet. Eine Therapieperle vor der Bestrahlung. Eine Nüchternperle, weil das Kind vor der Narkose nichts essen und trinken darf – nicht immer einfach, wenn man Hunger oder Durst hat.

Jedes Jahr werden sechzig bis siebzig Kinder und Jugendliche am PSI behandelt; insgesamt waren es bis heute über achthundert. Die Mehrheit aller jungen Patientinnen und Patienten leiden an Tumoren des Gehirns und des Rückenmarks; am zweithäufigsten sind Sarkome, das sind Krebserkrankungen, die von Binde-, Stütz- oder Muskelgewebe ausgehen.

Schweizweites Kompetenzzentrum

«Die Krebsbehandlung bei Kindern, die während der Bestrahlung eine Narkose benötigen, erfordert mehr Planung», sagt Katrin Scheinemann, Leiterin Pädiatrische Hämatologie und Onkologie am Ost-



Schätzt die Zusammenarbeit mit dem PSI und dem Leiter des Zentrums für Protonentherapie, Damien Weber (rechts): Katrin Scheinemann, Onkologin am Ostschweizer Kinderspital in St. Gallen und Präsidentin der Schweizerischen Pädiatrischen Onkologie-Gruppe (SPOG).

schweizer Kinderspital in St. Gallen. «Umso froher sind wir, dass wir in der Schweiz mit dem PSI ein Bestrahlungszentrum mit so viel Erfahrung haben. Verglichen mit anderen Ländern haben wir fast eines der ältesten Protonenzentren überhaupt, eben auch mit einem Fokus auf die Bestrahlung von Kindern.»

Katrin Scheinemann ist Präsidentin der Schweizerischen Pädiatrischen Onkologie-Gruppe (SPOG), einem Netzwerk aller neun Zentren in der Schweiz mit einer Abteilung für Kinderonkologie. Dazu gehören neben dem Ostschweizer Kinderspital in St. Gallen die Universitätsspitäler in Bern, Basel, Zürich, Lausanne und Genf sowie die Kinderspitäler in Luzern, Aarau und Bellinzona. Als gemeinnützige Non-Profit-Organisation koordiniert und verantwortet die SPOG klinische Studien und Forschungsprogramme zu Krebs bei Kindern und Jugendlichen in der Schweiz.

Dabei ist eines sichergestellt: Kinder und Jugendliche werden immer nach den Richtlinien internationaler Protokolle behandelt. «Demnach ist es egal, an welches der neun Zentren die Eltern mit ihren Kindern zur Behandlung gehen – sie bekommen überall die gleiche und somit die qualitativ hochwertigste Therapie.»

Das PSI behandelt rund siebenzig Prozent aller Kinder in der Schweiz, die eine gezielte Radiotherapie benötigen. Damit ist das ZPT im Land mittlerweile das grösste Bestrahlungszentrum für Kinder.

Hoffnungsreiche Aussichten

Der sechsjährige Junge hat die Bestrahlung erfolgreich hinter sich gebracht; etwa zwanzig Minuten lang wurde der Tumor in seinem Gehirn mit energie-

reichen Protonen abgerastert. Die Radiologiefachperson entfernt die Gesichtsmaske und bringt den Kleinen, der noch immer schläft, in den Aufwachraum; dort warten bereits seine Eltern. Hier kann er sich in Ruhe erholen und wieder ganz wach werden.

Am nächsten Tag folgt die nächste Bestrahlungssitzung: insgesamt sechs Wochen lang, Montag bis Freitag. Keine einfache Zeit für die Kinder und ihre Eltern. Aber es gibt Hoffnung: Die Heilungschancen für Krebs bei Kindern haben sich in den letzten Jahrzehnten wesentlich verbessert. Laut Schweizer Kinderkrebsregister betrug die Zehn-Jahres-Überlebensrate in der Schweiz bei Kindern, die im Zeitraum von 1989 bis 1998 diagnostiziert wurden, 76 Prozent – zwanzig Jahre später, zwischen 2009 und 2018, waren es schon 85 Prozent. Es ist zu erwarten, dass sich diese Zahlen für den nächsten 10-Jahres-Zeitraum noch einmal verbessern. Und dazu leistet sicherlich auch die Behandlung am ZPT des PSI einen Beitrag. ◆

Wegweisende Studien

Neben pädiatrischen Studien, an denen das PSI beteiligt ist, nimmt das PSI an klinischen Studien zur Krebsbehandlung bei Erwachsenen teil. Aktuell werden Teilnehmende für die europäische klinische Studie PROTECT gesucht, an der das PSI gemeinsam mit der Klinik für Radio-Onkologie am Universitätsspital Zürich arbeitet. PROTECT vergleicht Nebenwirkungen herkömmlicher Strahlentherapie mit jenen der Protonentherapie bei der Bestrahlung von Speiseröhrenkrebs. Liefert die klinische Studie einen Beweis dafür, dass Protonentherapie auch bei dieser Krebsart Vorteile bringt, könnten Erkrankte routinemässig am PSI behandelt werden. Speiseröhrenkrebs käme dauerhaft auf die Indikationsliste des Bundesamts für Gesundheit und Krankenversicherungen übernehmen die Kosten für die Protonentherapie.

Aktuelles aus der PSI-Forschung



1 Studie zu klimaneutralem Fliegen

Forschende des PSI und der ETH Zürich haben berechnet, wie der Flugverkehr bis 2050 klimaneutral werden könnte. Ihr Ergebnis: Fossiles Kerosin durch künstlich hergestellten, nachhaltigen Treibstoff zu ersetzen, reicht nicht. Zusätzlich notwendig wäre eine Reduktion des Flugverkehrs. Um den gesamten Flugbetrieb klimaneutral zu bekommen, dürften neben dem Fliegen nämlich auch die Produktion des Treibstoffs und die gesamte Luftfahrt-Infrastruktur das Klima nicht weiter belasten. Dies, so hat die Studie ergeben, ist durch die bislang verfolgten Massnahmen zum Klimaschutz im Flugbetrieb bis 2050 allerdings nicht zu schaffen. Neue Antriebe, klimaschonende Treibstoffe und das Herausfiltern von Kohlendioxid aus der Atmosphäre, um es unterirdisch zu speichern (Carbon Capture and Storage, kurz: CCS), werden demnach nicht genügen, um das Ziel des klimaneutralen Fliegens zu erreichen. Zusätzlich muss der Flugverkehr insgesamt reduziert werden. Dazu könnten Preissteigerungen für Flugtickets dienen. Um die tatsächliche Klimawirkung umfassend auszugleichen, müsste ein Ticket, so ein Ergebnis der Studie, im Vergleich zu heute künftig etwa das Dreifache kosten.

Weitere Informationen:
<https://psi.ch/de/node/58104>

Circa **3,5** Prozent: Anteil des Flugverkehrs an der globalen Klimaerwärmung

Circa **20** Prozent: Anteil der reinen Kohlendioxid-Emissionen am Klimaeffekt

Circa **0,8** Prozent: notwendige jährliche Verringerung des Flugverkehrs bis 2050

2 Einblick in 3-D-Druck

Mit 3-D-Drucktechnologie lassen sich hochkomplexe Formen herstellen. Doch das Drucken von Keramik mithilfe eines Lasers erweist sich als schwierig. Weltweit erstmals haben Forschende am PSI in Tomogrammen aufgezeichnet, was bei diesem Herstellungsprozess auf mikroskopischer Ebene geschieht. Bei dem Verfahren wird das Material als feines Pulver auf eine Bauplatte aufgetragen, ein Laserstrahl fährt über das Pulver, schmilzt es und bringt es so in die gewünschte Form. Es folgt die nächste dünne Pulverschicht, die der Laser wiederum schmilzt. So wächst das Bauteil Schicht für Schicht. Was während dieser Laser-Pulverbettfusion genau geschieht, wurde bereits mithilfe von Röntgenstrahlung an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS des PSI und an anderen Instituten untersucht, doch diese mikroskopischen Einblicke lieferten bisher nur zweidimensionale Bilder. Nun gelangen durch Experimente an der SLS-Tomografiestrahllinie TOMCAT neue dreidimensionale Einblicke in den zukunfts-trächtigen Herstellungsprozess. Die Erkenntnisse helfen, das vielversprechende Verfahren zu verbessern.

Weitere Informationen:
<https://psi.ch/de/node/59299>

3 Bessere Batterien für E-Autos

Forschende des PSI machen mit Neutronen Veränderungen im Elektrolyten, also der stromleitenden Flüssigkeit in Batterien, sichtbar. Mit Experimenten an der Schweizer Spallations-Neutronenquelle SINQ konnten sie darin physikalische und chemische Veränderungen bei unterschiedlichen Temperaturen verfolgen. Dazu variierten sie die Temperatur mehrfach zwischen minus 20 und plus 50 Grad Celsius. Dabei zeigt sich, dass die Flüssigkeit bei tiefen Temperaturen fest wird. Das ist schon lange bekannt, weswegen Batterien von Elektrofahrzeugen im Winter vor dem Laden aufgeheizt werden. Wie genau und an welchen Stellen in der Batterie dieser Prozess stattfindet, lässt sich jetzt mit dem PSI-Experiment nachvollziehen. Die Spektroskopie-Bilder zeigen sogar, wie sich zwei organische Bestandteile der Flüssigkeit bei tiefen Temperaturen entmischen und eine Fraktion nach unten sinkt. Die Messungen liefern erstmals auch räumliche Informationen darüber, bei welchen Elektrolyten und bei welchen Temperaturen dieser Phasenübergang stattfindet. Die Analyse hilft, die physikalischen und chemischen Vorgänge besser zu verstehen und Batterien mit besseren Eigenschaften zu entwickeln.

Weitere Informationen:
<https://psi.ch/de/node/60002>

4 Mechanische Reprogrammierung für Gewebe

Forschende des PSI und der ETH Zürich haben Bindegewebszellen, die mechanisch zu stammzellenähnlichen Zellen umprogrammiert wurden, in verletzte Haut transplantiert. In ihrem Laborversuch konnten sie zeigen, dass dadurch die Wundheilung gefördert werden kann. Die Forschenden griffen weder auf Gentechnik noch auf Chemikalien zurück, sondern erreichten die Reprogrammierung der Zellen lediglich durch mechanische Anregung. Über Hautgewebe hinaus könnte auch die Regeneration von Muskel- oder Gehirnzellen denkbar sein. Das entspricht dem allgemeinen Trend zur personalisierten Medizin, bei der Substanzen individuell auf den Patienten oder die Patientin abgestimmt sind. Im vorliegenden Fall sind es sogar körpereigene Zellen und es werden keine Fremdstoffe zugeführt.

Weitere Informationen:
<https://psi.ch/de/node/60488>

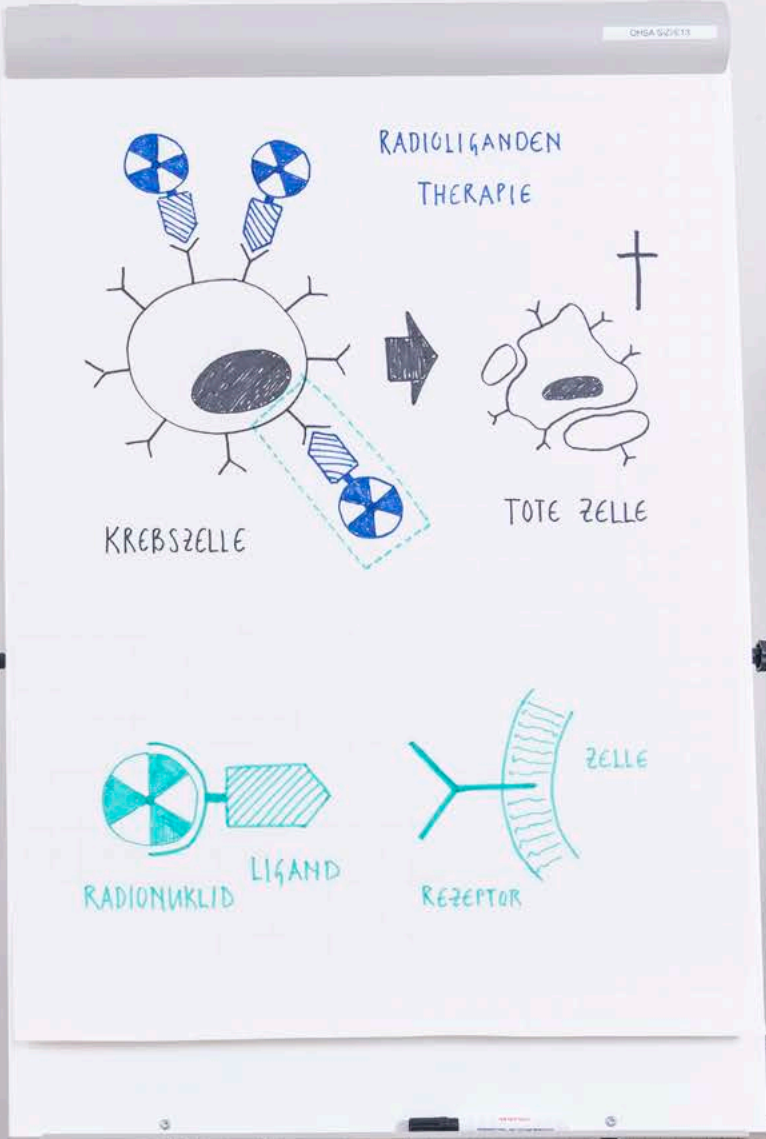
Ideen mit Pfiff

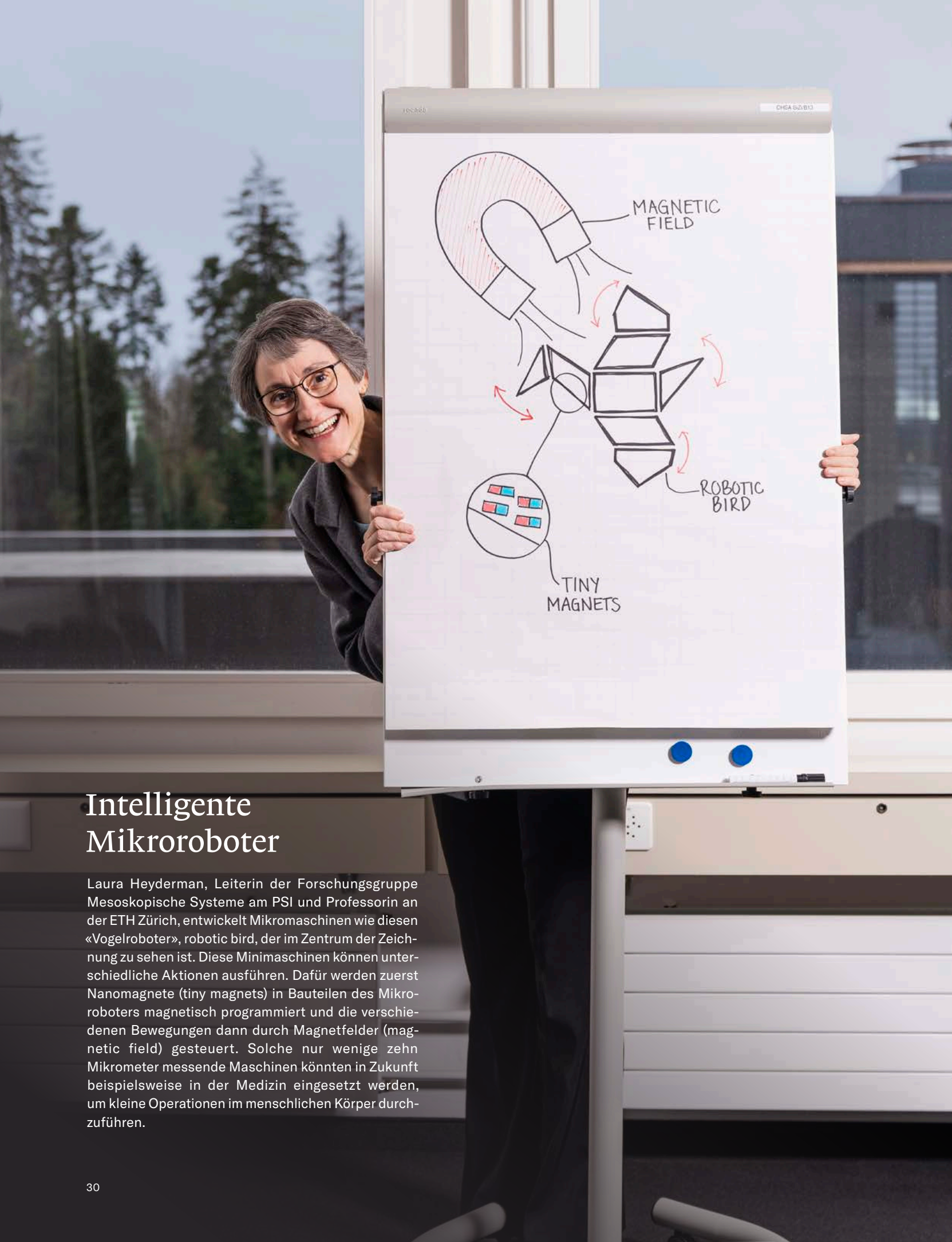
Die Forschung, die am PSI betrieben wird, ist für gewöhnlich äusserst komplex. Vieles davon ist oft nicht leicht zu vermitteln. Wir haben Forschenden eine knifflige Aufgabe gestellt: Skizziere einmal die Grundidee deiner Forschung in einer einfachen Zeichnung. Herausgekommen sind pfiffige Resultate, die besser als tausend Worte erahnen lassen, worum es geht. Doch schauen Sie selbst.

Text: Christian Heid

Radiopharmaka

Cristina Müller forscht am Zentrum für radiopharmazeutische Wissenschaften zu Radiopharmaka. Das sind radioaktive Substanzen, die zur Bekämpfung von Tumorzellen in die Blutbahn gespritzt werden. Die Moleküle sind so konstruiert, dass ein Teil, der Ligand, an die Oberfläche von Tumorzellen andockt, wie ein Schlüssel im Schloss. Ein anderer Teil trägt das Medikament, ein radioaktives Atom, das beim radioaktiven Zerfall Elektronen aussendet. Diese bilden in der Tumorzelle aggressive Radikale, also sehr reaktionsfreudige Substanzen, die das Erbgut der Zelle angreifen und die Krebszelle somit zerstören. Ihr Ziel ist es, Radiopharmaka zu entwickeln, die Tumorzellen noch zielgenauer abtöten und auf diese Weise die Metastasenbildung verhindern.





Intelligente Mikroroboter

Laura Heyderman, Leiterin der Forschungsgruppe Mesoskopische Systeme am PSI und Professorin an der ETH Zürich, entwickelt Mikromaschinen wie diesen «Vogelroboter», robotic bird, der im Zentrum der Zeichnung zu sehen ist. Diese Minimaschinen können unterschiedliche Aktionen ausführen. Dafür werden zuerst Nanomagnete (tiny magnets) in Bauteilen des Mikroroboters magnetisch programmiert und die verschiedenen Bewegungen dann durch Magnetfelder (magnetic field) gesteuert. Solche nur wenige zehn Mikrometer messende Maschinen könnten in Zukunft beispielsweise in der Medizin eingesetzt werden, um kleine Operationen im menschlichen Körper durchzuführen.



Carculator

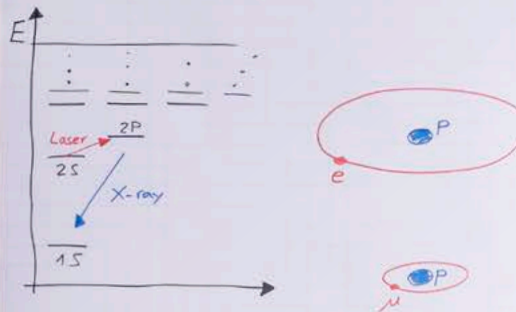
«Schon heute ist Elektro die richtige Wahl», sagte Christian Bauer bereits vor rund vier Jahren. Der Wissenschaftler arbeitet im Labor für Energiesystemanalysen des PSI und ist spezialisiert auf Lebenszyklus- und Nachhaltigkeitsanalysen. Mit einem Team hat er das Webtool «Carculator» entwickelt, das detailliert die ökologische Bilanz von Personenwagen vergleicht. So wird die Ökobilanz von Fahrzeugen mit unterschiedlichen Antriebsarten ermittelt und in Vergleichsgrafiken dargestellt. Dabei wird der gesamte Lebenszyklus der Personenwagen bedacht, also auch die Herstellung der Fahrzeuge sowie die umweltrelevanten Emissionen beim Fahren.

<https://calculator.psi.ch/>



How large is the proton?

Small



$$\Delta E(2S-2P) = QED + K m^3 R_p^2$$

$$\Rightarrow R_p = 0.84099(36) \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

Der Protonenradius

Wie gross ist der Protonenradius (R_p)? Diese Frage bestimmt zu einem grossen Teil die Wissenschaftskarriere von Aldo Antognini, Forscher im Labor für Teilchenphysik. In den 2000er Jahren hat er erste Experimente durchgeführt, die in dieser Weise nur am PSI möglich sind, weil sein Forschungsansatz genügend langsame Myonen benötigt, die weltweit in dieser Menge nur hier zur Verfügung stehen. Die Idee: Das Elektron (e), das um ein Proton (p) kreist, wird durch ein Myon (μ) ersetzt. Negative Myonen sind Elementarteilchen wie Elektronen, sie sind aber zweihundert Mal schwerer. Das führt dazu, dass das Myon in geringerem Abstand um das Proton kreist und das Proton stärker auf das Myon wirkt. In der Folge liess sich der Protonenradius genauer bestimmen als jemals zuvor. Das Ergebnis: Unsere Modelle der Atomstruktur, der fundamentalen Wechselwirkungen zwischen elementaren Teilchen und der Protonenstruktur stehen auf dem Prüfstand und müssen präzisiert werden.



Strukturveränderung

Valérie Panneels ist Wissenschaftlerin im PSI-Labor für biomolekulare Forschung und untersucht, was geschieht, wenn Licht auf unser Auge fällt. Es geht dabei um Vorgänge, die zu den schnellsten zählen, die in der Natur überhaupt vorkommen: Es geht um Veränderungen innerhalb von milliardstel Bruchteilen einer Sekunde. Diese lassen sich nur an Grossforschungsanlagen wie dem Freie-Elektronen-Röntgenlaser SwissFEL am PSI untersuchen. Im Zentrum steht das Protein Rhodopsin, ein Lichtrezeptor, und sein Bestandteil Retinal, ein Molekül, das sich bei Lichteinfall verformt. Die biochemischen Prozesse, die durch die Strukturveränderung des Retinals ausgelöst werden, sollen bis ins letzte Detail studiert und möglichst am SwissFEL in einer Art ultrahochoaufgelöstem Film festgehalten werden. Damit wollen die Forschenden vollkommen verstehen, wie diese lichtempfindlichen Proteine arbeiten.

Netzwerk als riesiger Vorteil

Torsten Tritscher arbeitet als Ingenieur für das US-Unternehmen TSI, das Geräte zur Messung der Luftqualität entwickelt und weltweit vertreibt. Vieles von dem, was er dafür braucht, hat er während seiner Promotion am PSI gelernt. Vor allem aber hat er jede Menge Kontakte geknüpft, von denen er noch heute profitiert.

Text: Jan Berndorff

Eine Szene wird Torsten Tritscher wohl nie mehr vergessen. Der 44-Jährige muss schmunzeln, wenn er daran denkt, wie er damals an seinen Job gekommen ist, in dem er sich nun schon seit zwölf Jahren pudelwohl fühlt. Am Rande einer Forschungskonferenz in Orlando unter der Sonne Floridas sprach er seinen heutigen Chef an, als dieser gerade in kurzer Hose und Flip-Flops auf dem Weg zum Strand war. Ein Vorstellungsgespräch der ganz anderen Art sozusagen. «Er war total offen und ganz unkompliziert. Wir vereinbarten, dass ich meinen Lebenslauf sende, und haben uns daraufhin für ein weiteres Treffen in Europa verabredet.» Und dann ging alles ganz schnell. Was nicht zuletzt an Tritschers Engagement vor seinem Besuch bei der Konferenz lag: eine Doktorarbeit am PSI und an der ETH Zürich – inklusive vieler Kontakte, die seine spätere Karriere beförderten.

Heute ist Tritscher Senior Application Engineer beim US-Unternehmen TSI, das Technologien zur Messung der Luftqualität entwickelt und unter anderem über die Niederlassung in Aachen vertreibt, wo er arbeitet. Er wurde im nordrhein-westfälischen Remscheid geboren und ging in Wermelskirchen bei Köln zur Schule. Seine Eltern hatten eine Gärtnerei, in der er häufig aushalf. Naturwissenschaftlich interessiert studierte er nach dem Abitur Landschaftsökologie in Münster. «Ich wollte mir die Option offenhalten, nach dem Studium in der Gärtnerei einzusteigen. Doch das tat dann schon mein Bruder, und ich spezialisierte mich zum Ende hin auf Klima-, Atmosphären- und Aerosolforschung.»

Finnland gab den Ausschlag

Endgültig gepackt hat ihn dieses Feld dann bei einer Summerschool in Finnland: Zehn Tage in Hyytiälä mitten in der finnischen Wald- und Seenlandschaft. «Der Ort ist in der Aerosolszene bekannt für die natürliche Neubildung zahlreicher Partikel», sagt Tritscher. Das heisst: Dort kann man wunderbar erforschen, welche vielfältigen winzigen Partikel die Natur produziert und in die Atmosphäre abgibt: Es sind vornehmlich Stoffwechselprodukte der Pflanzen wie Isoprene und Terpene sowie sauerstoffhaltige Ver-

bindungen, aber auch etwa Dimethylsulfid, das vom Meer aufsteigt. Unter Einfluss der Sonne reagieren und verbinden sie sich zu grösseren Partikeln, die dann als Kondensationskeime für die Tröpfchenbildung der Wolken dienen können. Aerosole haben damit einen entscheidenden Einfluss nicht nur auf das Wetter, sondern auch auf das Klima der Zukunft. Allerdings sind die Vorgänge so komplex, dass noch unklar ist, wie und wo genau sie sich in Zukunft wärmend oder kühlend auswirken werden. Darum sind Aerosole in der Klimaforschung aktuell ein ganz heisses Thema.

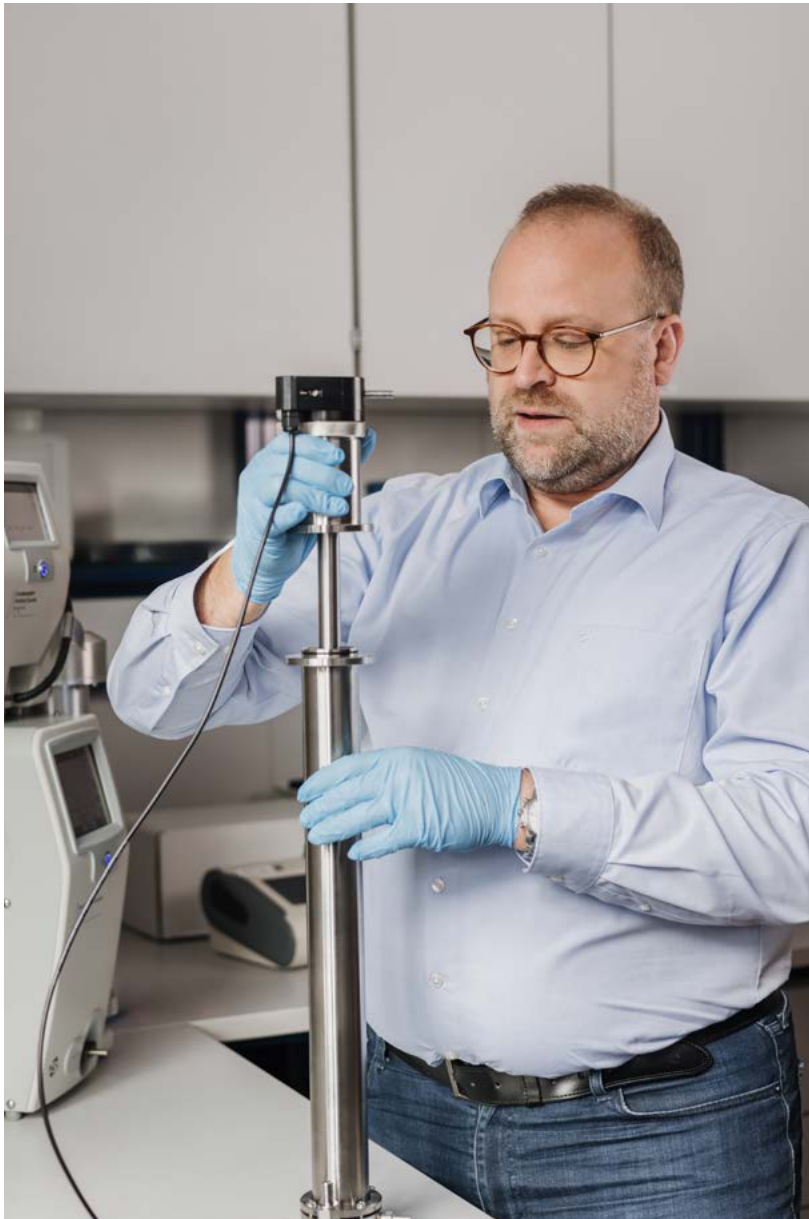
Nach der Summerschool war für Tritscher klar: Das will ich machen! Und so sah er sich nach passenden Stellen für eine Doktorarbeit in diesem Bereich um. Am PSI wurde er fündig. «Natürlich habe ich auch in Deutschland gesucht, aber da wollte man für vergleichbare Stellen entweder Physiker oder Ingenieure haben. In der Schweiz am Labor für Atmosphärenchemie des PSI dagegen fand man gerade jemanden interessant, der aus einer interdisziplinären Wissenschaft wie der Landschaftsökologie kommt.»

Ideale Bedingungen in der Schweiz

Es gab am PSI sogar gleich zwei Stellen, die infrage kamen – eine beinhaltete mehr Chemie, die andere mehr Physik. «Die chemische hat die Kollegin Claudia Mohr nach einem Aufenthalt in den USA angetreten – heute ist sie die Leiterin des Labors für Atmosphärenchemie», erzählt Tritscher. Für die andere erhielt er den Zuschlag.

Vier Jahre verbrachte Tritscher am PSI. «Es war eine super Zeit», erinnert er sich. Neben seiner Doktorarbeit, für die er die physikalischen Eigenschaften und insbesondere die Wasseraufnahme von Aerosolen verschiedenster Art erforschte, wirkte er an zahlreichen anderen, spannenden Forschungsprojekten mit. Er arbeitete viel in der Smogkammer des PSI, einem siebenundzwanzig Kubikmeter grossen High-Tech-Labor, in dem Atmosphärenforschende aus aller Welt verschiedenste Gas-Partikel-Reaktionen unter kontrollierten Luftbedingungen simulieren können, um die Mechanismen zu





«Am PSI fand man gerade jemanden interessant, der aus einer interdisziplinären Wissenschaft kommt.»

Torsten Tritscher, Senior Application Engineer beim US-Unternehmen TSI



untersuchen. «Wir haben tagsüber gemessen, abends analysiert und sind am Wochenende oft zusammen ausgegangen oder haben Ausflüge gemacht – im Winter Skifahren, im Sommer wandern. Es hat grossen Spass gemacht.» Vor allem aber hat Tritscher in dieser Zeit viele Kolleginnen und Kollegen aus der weltweiten «Aerosolszene» sowie zahlreiche Technologien kennengelernt, die sie für ihre Experimente nutzen. «Dieses Netzwerk, das sagt mir mein Chef heute noch, ist ein Riesenvorteil, den ich mitgebracht habe», erklärt Tritscher. «Wenn ich einen neuen internationalen Kunden besuchen will, kenne ich zumindest über eine Ecke immer jemanden, der mir vorab ein paar Tipps geben kann.»

Auch über das Netzwerk hinaus zehrt Tritscher enorm von seiner Zeit am PSI: «Ich bin immer wieder erstaunt, dass ich das, was ich dort gelernt habe, fast täglich anwenden kann.» Der Ingenieur demonstriert das im Labor von TSI in Aachen an einem sogenannten differentiellen Mobilitätsanalysator (DMA), einem zylindrischen Gerätebauteil aus Edelstahl, mit dem man die Grössenverteilung der Partikel in der Umgebungsluft messen kann. Mit Einmalhandschuhen schraubt Tritscher den Kopf mit der Messelektronik vorsichtig ab und zieht einen Stab aus poliertem Edelstahl aus dem Gehäuse. Der Stab ist die Elektrode, das Gehäuse die Masse. In den Hohlraum dazwischen strömt die Luft ein, deren Partikel vorher definiert aufgeladen wurden. Diese driften dann durch eine angelegte Spannung je nach elektrischer Polarität nach innen oder ausen. Die elektrische Mobilität der Partikel hängt direkt mit ihrem Durchmesser zusammen. So werden sie separiert, am Ende strömen nur Partikel einer bestimmten Grösse im Nanometerbereich durch einen Spalt wieder heraus und können im Anschluss gezählt werden. Mit ganz ähnlicher Messtechnik hatte Tritscher im Rahmen seiner Doktorarbeit selbst ein Gerät aus gleich drei DMAs gebaut: einen Hygroscopicity-volatility Tandem Differential Mobility Analyzer (HV-TDMA). Und sich dabei natürlich mit allen Komponenten intensiv vertraut gemacht.

Hochspezialisierte Messstationen

Zusammen mit dem angeschlossenen Computer und den Analyseprogrammen handelt es sich um wertvolle Hochtechnologie, die für äusserst spezialisierte Anwendungen in Forschung und Industrie produziert wird. Da lohnt es auch, mit der Auslieferung an Kunden in aller Welt einen Ingenieur mitzuschicken, um die korrekte Installation und den optimalen Umgang damit zu vermitteln. Oder neue Kunden zu beraten, welches Gerät für ihr Projekt das richtige ist. Genau das sind Tritschers Hauptaufgaben bei TSI. «Insgesamt vertreiben wir über zweihundert verschiedene Geräte, rund vierzig

davon fallen in meinen Bereich und sind hauptsächlich dazu da, luftgetragene Partikel zu zählen oder zu charakterisieren.» Einsatzgebiete sind zum Beispiel Umweltmessstationen, Abgasmessungen am Motorenprüfstand einer Autofabrik, die Emissionsprüfung neuer Drucker oder die Messung der Luftqualität an einem Flughafen.

«Unser Standort in Aachen ist für Kunden in Europa, Afrika und Nahost zuständig.» Und da gelte es eben nicht nur, die Materie in Praxis und Theorie zu beherrschen, um mit den Anwendern aus Forschung und Technik auf Augenhöhe sprechen zu können. Auch zwischenmenschliches Feingefühl ist gefragt: «Wenn ich mit noch unerfahrenen Studierenden spreche, muss ich ganz anders erklären als bei einem Beamten vom Landratsamt oder einem peniblen Professor, der alles auf die dritte Kommastelle genau wissen will», sagt Tritscher. Eben das mache für ihn den Reiz aus: Abwechslung und immer neue Herausforderungen. Die nicht unbedingt menschlicher oder technischer Natur sein müssen. Zum Beispiel wenn er zu einem Kunden an einem entlegenen Ort reist, wo die sprachliche Verständigung schwierig ist und dann sein Koffer nicht ankommt. «Da muss man flexibel sein und improvisieren können.»

Wichtig ist Tritscher ausserdem, dass er in Aachen einen Heimathafen gefunden hat, in den er von seinen vielen Auslandsreisen immer gern zurückkehrt – zumal er dort inzwischen eine Familie mit zwei Kindern gegründet und ein eigenes Haus bezogen hat. Seine Frau ist auch Atmosphärenforscherin, die beiden hatten sich Ende des Studiums in Münster kennengelernt. Sie war dann mit ihm in die Schweiz gekommen, hat parallel zu ihm an der ETH Zürich promoviert und war danach für ein dreimonatiges Projekt nach Virginia in die USA berufen worden. «Dieses Mal war ich dran, sie zu begleiten», erinnert sich Tritscher. Und so kam es zu der eingangs beschriebenen Begegnung in Florida: «Während wir in Virginia waren, lud mich mein Doktorvater Urs Baltensperger ein, der jährlichen Aerosolkonferenz in Florida beizuwohnen.»

Das junge Paar kam der Einladung nach und verband das mit einer Urlaubsfahrt entlang der amerikanischen Ostküste. Baltensperger betonte die Möglichkeit, auf der Konferenz Oliver Bischof von der Firma TSI anzusprechen. Und so kam es, dass schon der Grundstein zu Tritschers Karriere über persönliche Kontakte gelegt wurde.

«Tja, und heute bin ich in der Position, bei solchen Gelegenheiten mit Doktorandinnen und Doktoranden in Kontakt zu treten, ein Bier zu trinken, Erfahrungen weiterzugeben und womöglich Rekruten für einen Job bei TSI zu finden.» So schliesst sich der Kreis, der mit der Promotion am PSI seinen Anfang nahm. ♦

WIR ÜBER UNS

Im Aargau zu Hause
forschen wir für die Schweiz
in weltweiter Zusammenarbeit.





5232 ist die Adresse für Forschung an Grossforschungsanlagen in der Schweiz. Denn das Paul Scherrer Institut PSI hat eine eigene Postleitzahl. Nicht ungerne rechtfertigt, finden wir, bei einem Institut, das sich über 342000 Quadratmeter erstreckt, eine eigene Brücke über die Aare besitzt und mit 2200 Beschäftigten mehr Mitarbeitende hat, als so manches Dorf in der Umgebung Einwohner.

Das PSI liegt im Kanton Aargau auf beiden Seiten der Aare zwischen den Gemeinden Villigen und Würenlingen. Es ist ein Forschungsinstitut für Natur- und Ingenieurwissenschaften des Bundes und gehört zum Eidgenössischen Technischen Hochschul-Bereich (ETH-Bereich), dem auch die ETH Zürich und die ETH Lausanne angehören sowie die Forschungsinstitute Eawag, Empa und WSL. Wir betreiben Grundlagen- und angewandte Forschung und arbeiten so an nachhaltigen Lösungen für zentrale Fragen aus Gesellschaft, Wissenschaft und Wirtschaft.

Komplexe Grossforschungsanlagen

Von der Schweizerischen Eidgenossenschaft haben wir den Auftrag erhalten, komplexe Grossforschungsanlagen zu entwickeln, zu bauen und zu betreiben. Unsere Anlagen sind in der Schweiz einzigartig, manche Geräte gibt es auch weltweit nur am PSI.

Zahlreiche Forschende, die auf den unterschiedlichsten Fachgebieten arbeiten, können durch Experimente an solchen Grossforschungsanlagen wesentliche Erkenntnisse für ihre Arbeit gewinnen. Gleichzeitig sind Bau und Betrieb derartiger Anlagen mit einem so grossen Aufwand verbunden, dass Forschergruppen an den Hochschulen und in der Industrie an der eigenen Einrichtung solche Messgeräte nicht vorfinden werden. Deshalb stehen unsere Anlagen allen Forschenden offen.

Um Messzeit für Experimente zu erhalten, müssen sich die Forschenden aus dem In- und Ausland jedoch beim PSI bewerben. Mit Experten aus aller Welt besetzte Auswahlkomitees bewerten diese Anträge auf ihre wissenschaftliche Qualität hin und empfehlen dem PSI, wer tatsächlich Messzeit bekommen soll. Denn obwohl es rund 40 Messplätze gibt, an denen gleichzeitig Experimente durchgeführt werden können, reicht die Zeit nie für alle eingegangenen Bewerbungen. Rund die Hälfte bis zwei Drittel der Anträge müssen abgelehnt werden.

Etwa 1900 Experimente werden an den Grossforschungsanlagen des PSI jährlich durchgeführt. Die Messzeit ist am PSI für alle akademischen Forschenden kostenlos. Nutzer aus der Industrie können für ihre proprietäre Forschung in einem besonderen Verfahren Messzeit kaufen und die Anlagen des PSI für

5

schweizweit einzigartige
Grossforschungsanlagen

800

Fachartikel jährlich, die auf
Experimenten an den
Grossforschungsanlagen beruhen

5000

Wissenschaftlerinnen und
Wissenschaftler aus der
ganzen Welt führen jährlich an
diesen Grossforschungs-
anlagen Experimente durch

ihre angewandte Forschung verwenden. Das PSI bietet dafür spezielle Forschungs- und Entwicklungsdienstleistungen an.

Insgesamt unterhält das PSI fünf Grossforschungsanlagen, an denen man in Materialien, Biomoleküle oder technische Geräte blicken kann, um die Vorgänge in deren Innerem zu erkunden. Dort «leuchten» die Forschenden bei ihren Experimenten mit unterschiedlichen Strahlen in die Proben, die sie untersuchen wollen. Dafür stehen Strahlen von Teilchen – Neutronen bzw. Myonen – oder intensivem Röntgenlicht – Synchrotronlicht bzw. Röntgenlaserlicht – zur Verfügung. Mit den verschiedenen Strahlenarten lässt sich am PSI eine grosse Vielfalt an Materialeigenschaften erforschen. Der grosse Aufwand hinter den Anlagen ergibt sich vor allem daraus, dass man grosse Beschleuniger braucht, um die verschiedenen Strahlen zu erzeugen.

Vier eigene Schwerpunkte

Das PSI ist aber nicht nur Dienstleister für externe Forschende, sondern hat auch ein ehrgeiziges eigenes Forschungsprogramm. Die von PSI-Forschenden gewonnenen Erkenntnisse tragen dazu bei, dass wir die Welt um uns besser verstehen, und schaffen die Grundlagen für die Entwicklung neuartiger Geräte und medizinischer Behandlungsverfahren.

Gleichzeitig ist die eigene Forschung eine wichtige Voraussetzung für den Erfolg des Nutzer-Programms an den Grossanlagen. Denn nur Forschende, die selbst an den aktuellen Entwicklungen der Wissenschaft beteiligt sind, können die externen Nutzer bei ihrer Arbeit unterstützen und die Anlagen so weiterentwickeln, dass diese auch in Zukunft den Bedürfnissen der aktuellen Forschung entsprechen.

Unsere eigene Forschung konzentriert sich auf vier Schwerpunkte. Auf dem Gebiet Zukunftstechnologien untersuchen wir die vielfältigen Eigenschaften von Materialien. Mit den daraus gewonnenen Erkenntnissen schaffen wir Grundlagen für neue Anwendungen – sei es in der Medizin, der Informationstechnologie, der Energiegewinnung und -speicherung – oder für neue Produktionsverfahren der Industrie. Ziel der Arbeiten im Schwerpunkt Energie und Klima ist die Entwick-

lung neuer Technologien für eine nachhaltige und sichere Energieversorgung sowie für eine saubere Umwelt. Ausserdem erforschen wir in diesem Bereich Zusammenhänge innerhalb des Klimasystems der Erde. Im Schwerpunkt Health Innovation suchen Forschende nach den Ursachen von Krankheiten und nach möglichen Behandlungsmethoden. Zudem betreiben wir in der Schweiz die einzige Anlage zur Therapie von spezifischen Krebserkrankungen mit Protonen. Dieses besondere Verfahren macht es möglich, Tumore gezielt zu zerstören und dabei das umliegende Gewebe weitgehend unbeschädigt zu lassen.

Im Schwerpunkt Grundlagen der Natur suchen Forschende nach Antworten auf die fundamentale Frage nach den Grundstrukturen der Materie und den Funktionsprinzipien in der Natur. Sie untersuchen Aufbau und Eigenschaften der Elementarteilchen – der kleinsten Bausteine der Materie – oder klären grundlegende Vorgänge in lebenden Organismen auf. Das so gewonnene Wissen eröffnet neue Lösungsansätze in Wissenschaft, Medizin oder Technologie.

Die Köpfe hinter den Maschinen

Die Arbeit an den Grossforschungsanlagen des PSI ist anspruchsvoll. Unsere Forscherinnen, Ingenieure und Berufsleute sind hoch spezialisierte Experten. Uns ist es wichtig, dieses Wissen zu erhalten. Daher sollen unsere Mitarbeitenden ihr Wissen an junge Menschen weitergeben, die es dann in verschiedenen beruflichen Positionen – nicht nur am PSI – einsetzen. Deshalb sind etwa ein Viertel unserer Mitarbeitenden Lernende, Doktorierende oder Postdoktorierende.

IMPRESSUM

5232 – Das Magazin des Paul Scherrer Instituts

Erscheint zweimal jährlich.
Ausgabe 1/2024 (März 2024)
ISSN 2504-2262

Herausgeber

Paul Scherrer Institut
Forschungsstrasse 111
5232 Villigen PSI
Telefon +41 56 310 21 11
www.psi.ch

Redaktionsteam

Monika Gimmel, Martina Gröschl,
Christian Heid, Sebastian Jutzi (Ltg.),
Benjamin A. Senn,
Dr. Mirjam van Daalen

Design und Art Direction
Studio HübnerBraun

KI-Bildgeneration mit Midjourney
Cover, Seite 2–5, Seite 8–20:
Studio HübnerBraun

Fotos

Paul Scherrer Institut / Markus Fischer, ausser:
Seiten 22/23: Paul Scherrer Institut /
Manuela Reisinger (Mutperlen);
Seite 25 links oben: Kinderkrebs
Schweiz; Seite 25 rechts:
Scanderbeg Sauer Photography;
Seite 26 – 27: Adobe Stock;
Seite 35 – 37: Steffi Ratzke;
Seite 41: Adobe Stock.

Illustrationen und Grafiken

Studio HübnerBraun, ausser:
Seiten 6 / 7: Daniela Leitner.

Mehr über das PSI lesen Sie auf:
www.psi.ch

**5232 steht im Internet zur Verfügung
und kann kostenlos abonniert werden
unter**
www.psi.ch/de/5232

**5232 ist auch auf Englisch und
Französisch erhältlich**
www.psi.ch/en/5232
www.psi.ch/fr/5232





Das erwartet Sie in der nächsten Ausgabe

Bis 2050 soll der Flugverkehr klimaneutral werden. Zentral um das zu erreichen sind nachhaltige Flugtreibstoffe, sogenannten Sustainable Aviation Fuels (SAF). Forschende des PSI suchen deshalb nach neuen Verfahren und Materialien, um deren Produktion zu gewährleisten. Zum klimaneutralen Fliegen gehört aber noch mehr, denn Flughäfen und deren gesamte Logistik, die Produktion von Flugzeugen und deren Entsorgung gehören ebenso zur Klimabilanz des Luftverkehrs wie Ticketpreise und ihre regulierende Wirkung. Auch dieses komplexe Gefüge analysieren Forschende mit den einmaligen Möglichkeiten, die ihnen das PSI bietet. Schon die bisherigen Ergebnisse zeigen: Klimaneutrales Fliegen ist möglich.



Paul Scherrer Institut
Forschungsstrasse 111, 5232 Villigen PSI, Schweiz
www.psi.ch | +41 56 310 21 11
