

2030 2040 2050



SCHWERPUNKTTHEMA

SAUBERE UND SICHERE ENERGIE FÜR DIE ZUKUNFT

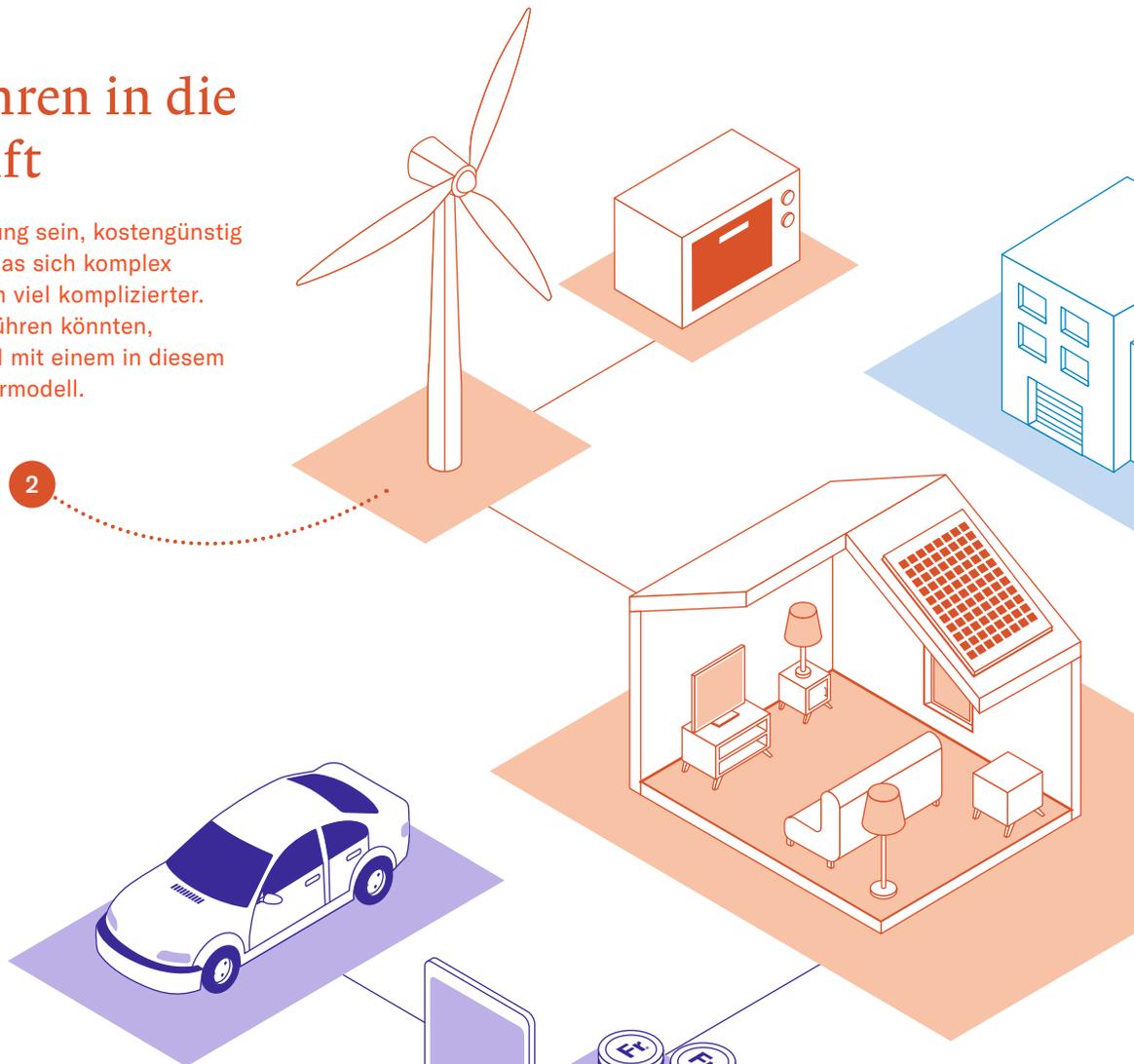
SCHWERPUNKTTHEMA: SAUBERE UND SICHERE ENERGIE FÜR DIE ZUKUNFT

HINTERGRUND

Viele Wege führen in die Energiezukunft

Sauber soll die Energiegewinnung sein, kostengünstig und sicher. Das Unterfangen, das sich komplex anhört, ist in Wirklichkeit noch viel komplizierter. Welche Pfade zu diesem Ziel führen könnten, berechnen Forschende des PSI mit einem in diesem Umfang einzigartigen Computermodell.

Seite 12



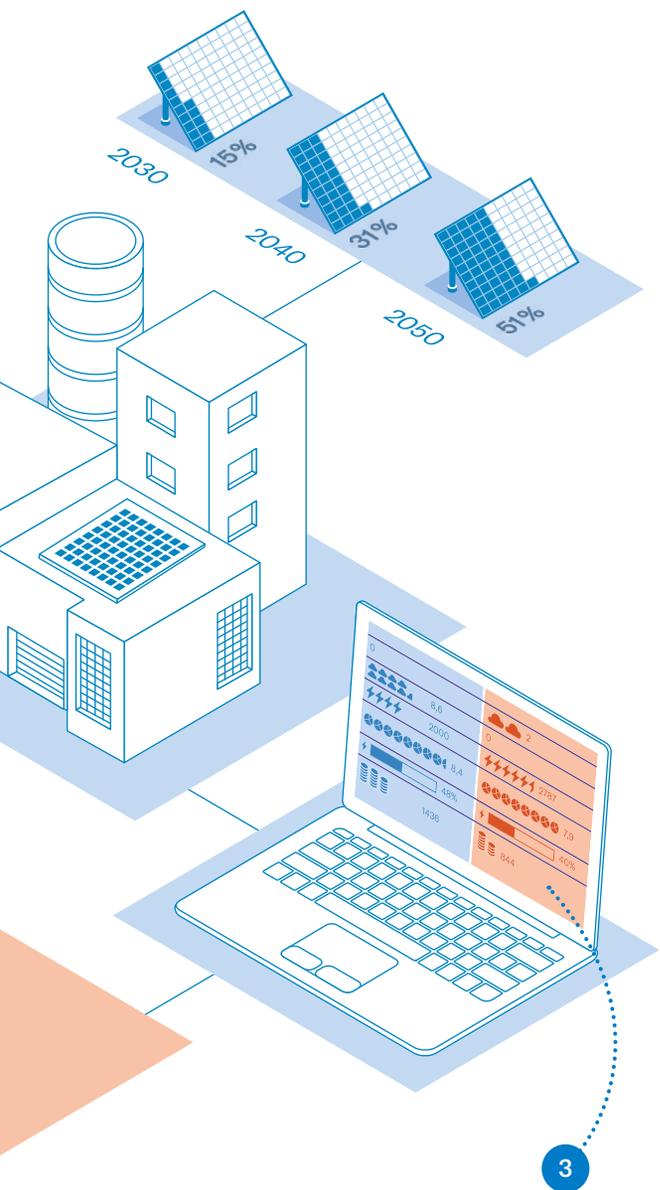
INTERVIEW

«Versachlichung würde extrem helfen»

Erneuerbare-Energien-Experte Thomas J. Schmidt und Kernenergieforscher Andreas Pautz legen dar, welche Aufgaben die Wissenschaft im Rahmen der Energiestrategie 2050 leisten muss.

Seite 10





INFOGRAFIK

Energieszenarien

Die von den Forschenden des PSI entworfenen Szenarien können den Blick für mögliche Entwicklungen der Energiesysteme weiten.

Seite 18

INHALT

EDITORIAL	4
ALLTAG	
Schreiben und mehr	6
FORSCHUNG	
Ziel und Quelle	7
 SCHWERPUNKTTHEMA: SAUBERE UND SICHERE ENERGIE FÜR DIE ZUKUNFT	8
 INTERVIEW «Versachlichung würde extrem helfen»	10
 HINTERGRUND Viele Wege führen in die Energiezukunft	12
 INFOGRAFIK Energieszenarien	18
 Energieforschung am PSI	20
IM BILD	
Krebszellen zerstören	21
IN DER SCHWEIZ	
Von Fusionsreaktoren, Brennstoffzellen und Konservendosen	22
Das Technologietransferzentrum ANAXAM bietet eine Vielzahl modernster Analytikmethoden, welche an den Grossforschungsanlagen des PSI durchgeführt werden können.	
IN KÜRZE	
Aktuelles aus der PSI-Forschung	26
1 Europakarte der Aerosol-Verschmutzung	
2 Zu Besuch bei Forschenden	
3 Wirkstoffe gegen Krebs finden	
4 Blick in die magnetische Zukunft	
GALERIE	
Musik am PSI	28
Bisweilen übertönen Musizierende die technische Geräuschkulisse am PSI.	
ZUR PERSON	
Das Beste aus zwei Welten	34
Annalisa Maneras Karriere hat sie durch halb Europa und in die USA geführt. Nun ist sie Nuklearforscherin am PSI und Professorin für Nukleare Systeme und Mehrphasenströmungen an der ETH Zürich.	
WIR ÜBER UNS	38
IMPRESSUM	40
AUSBLICK	41

Es braucht alle

Wir stehen vor grossen Herausforderungen. Mit der Energiestrategie 2050 hat sich die Schweiz das ehrgeizige Ziel gesetzt, ohne weiteren Ausstoss von klimawirksamen Gasen zu wirtschaften und zu leben. Ein Ziel, das durch die aktuellen Ereignisse in der Ukraine dringlicher und herausfordernder denn je geworden ist, da wir die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern und deren Lieferanten unmittelbar reduzieren müssen bei gleichbleibender lokaler Versorgungssicherheit.

Und eines ist klar: Ohne neue Verfahren, Techniken und Materialien werden wir diese Energiewende nicht schaffen. Deshalb engagieren sich Forschende des PSI in ihren jeweiligen Fachgebieten, um dabei zu helfen, neue Wege zu ebnen. So untersuchen und schaffen wir neue Materialien und Verfahren, um die Energiespeicherung oder -umwandlung zu optimieren. So wie hinter mir am Reaktor GanyMeth, einem Teil unserer Energy-System-Integration-Plattform ESI. Mit ihm erforschen wir, wie wir möglichst effektiv aus Wasserstoff und Kohlendioxid Methan, also quasi künstliches Erdgas, erzeugen können. Die ESI-Plattform ist nur ein Beispiel dafür, wie wir technische Prototypen entwickeln, die später im grossen Massstab in Industrie und Wirtschaft zur Anwendung kommen sollen. Oft machen wir uns dabei gemeinsam mit Unternehmen auf die Suche nach Lösungen aus der Grundlagenforschung für komplexe Fragestellungen. Mit aufwendigen und äusserst komplexen Computermodellen versuchen wir umfassend auszuloten, wie sich die Energiesysteme in Zukunft und auch die Kosten dafür entwickeln werden.

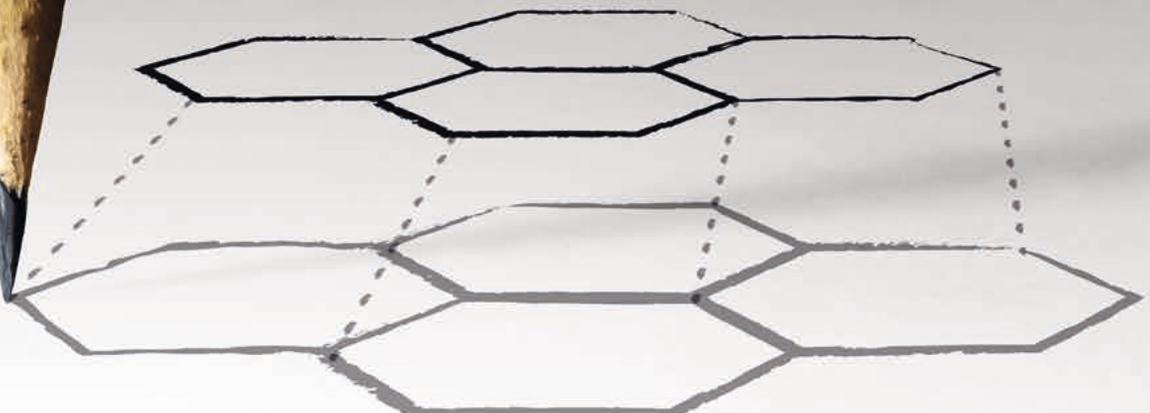
Wie meist sind Aussagen über künftige Entwicklungen mit Unsicherheiten behaftet, und je nach den unterschiedlichen Szenarien, die wir mit dem Schwerpunktthema dieser Ausgabe des 5232 präsentieren, zeichnen sich unterschiedliche Entwicklungspfade ab. Trotzdem skizzieren sie innerhalb einer gewissen Schwankungsbreite die möglichen Fortschritte. Viele unserer Ergebnisse sollen auch als Grundlage und Orientierung für politische Entscheidungen dienen, wobei sich aktuell die geopolitischen Rahmenbedingungen zum Beispiel bezüglich möglicher Energieimporte stark ändern. Mit diesen und vielen weiteren Anstrengungen wollen wir unseren Beitrag leisten, um die Ziele der Energiestrategie 2050 und grössere Unabhängigkeit und Versorgungssicherheit zu erreichen. Trotz aller Erfolge in der Forschung ist auch klar: Es braucht alle Teile der Gesellschaft, Politik und Wirtschaft, um die notwendigen Veränderungen zu bewältigen.

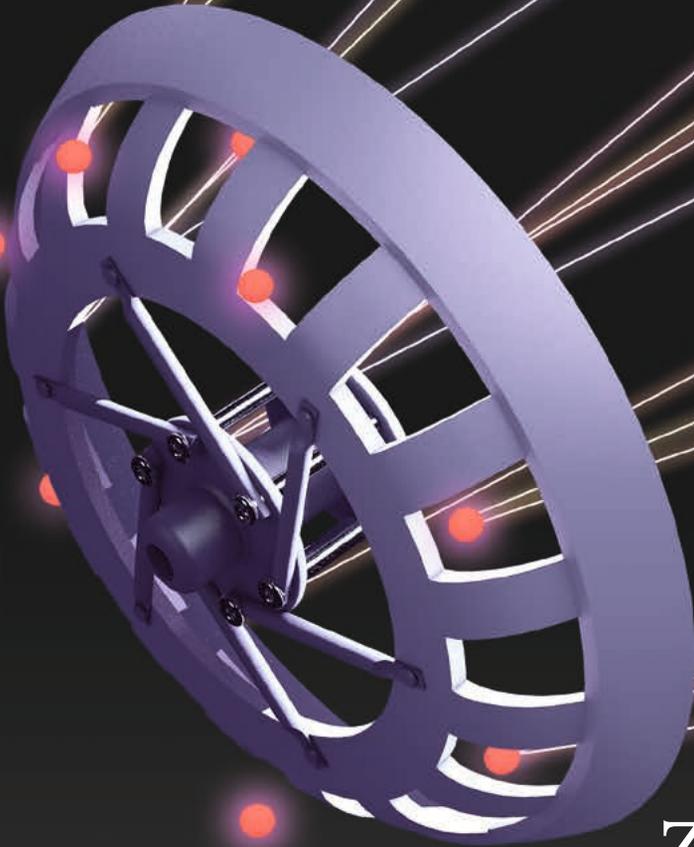


PSI-Direktor Christian Rüegg

Schreiben und mehr

Wer hat ihn nicht schon einmal in der Hand gehabt? Der Bleistift ist trotz Digitalisierung noch immer nicht aus unserem Alltag verschwunden. Das mag unter anderem an seinen aussergewöhnlichen Eigenschaften liegen, denn mit ihm schreibt und zeichnet es sich nicht nur gut, die mit ihm gezogenen Linien lassen sich mittels Radiergummi auch wieder leicht entfernen. Diese Besonderheit verdankt der Bleistift seiner Mine, die heutzutage aus Grafit besteht, einem ganz besonderen Material. Grafit ist reiner Kohlenstoff, jenes Element, das auch Diamanten bildet oder das zentrale Gerüst von Kohlenhydraten, Eiweissen oder Fetten stellt, aus denen sich unser Körper im Wesentlichen zusammensetzt. Alleine schon an dieser Aufzählung lässt sich die Vielseitigkeit des Kohlenstoffs ablesen. Im Grafit ordnen sich seine Atome in Schichten an, die nicht fest miteinander verbunden sind. Sie lassen sich leicht abreiben und haften dann beispielsweise an Papier. Entfernen lässt sich das abgeriebene Grafit wieder, weil es stärker am Kautschuk des Radiergummis klebt als am Papier. Bis ins 19. Jahrhundert wurden als Schreibgerät tatsächlich Bleiminerale verwendet und die Bezeichnung hat sich bis heute erhalten.





Ziel und Quelle

Am PSI findet Grafit eine ganz besondere Verwendung. Aus ihm setzen sich unter anderem zwei sogenannte Targets zusammen, auf Deutsch Ziele. Ihre Form ähnelt ein wenig der von Radkappen. Auf sie werden Protonen mit etwa 79 Prozent der Lichtgeschwindigkeit aus der Beschleunigeranlage HIPA ge-
feuert – und dadurch werden sie zur Quelle von Elementarteilchen. Das erste Target trägt die Bezeichnung «M» für «mince», französisch für «dünn», weil es nur fünf Millimeter dünn ist. Die schnellen Protonen erzeugen in Stößen mit den Kohlenstoffkernen des Grafits Pionen, die nach kürzester Zeit in Myonen zerfallen. Danach trifft der Protonenstrahl auf ein zweites Ziel: das Kohlenstoff-Target «E». Der Buchstabe steht für französisch «épais», zu Deutsch «dick», denn dieses Target ist vierzig Millimeter dick. Hier werden deutlich mehr Pionen und damit auch mehr Myonen produziert. Mithilfe der Pionen und Myonen führen die Forschenden Experimente und Untersuchungen zur Teilchenphysik durch oder erkunden die Eigenschaften von Materialien. So konnten am PSI beispielsweise die Radien des Protons und eines Heliumatoms so genau wie noch nie zuvor gemessen werden. Damit lassen sich unter anderem neue theoretische Modelle der Kernstruktur testen, um Atomkerne noch besser zu verstehen. Mit Myonen werden auch neue Materialien für Akkus erforscht oder die Zusammensetzung archäologischer Fundstücke entschlüsselt.

Tom Kober, Leiter der
Gruppe Energiewirtschaft

Russell McKenna, Leiter des
Labors für Energiesystemanalysen



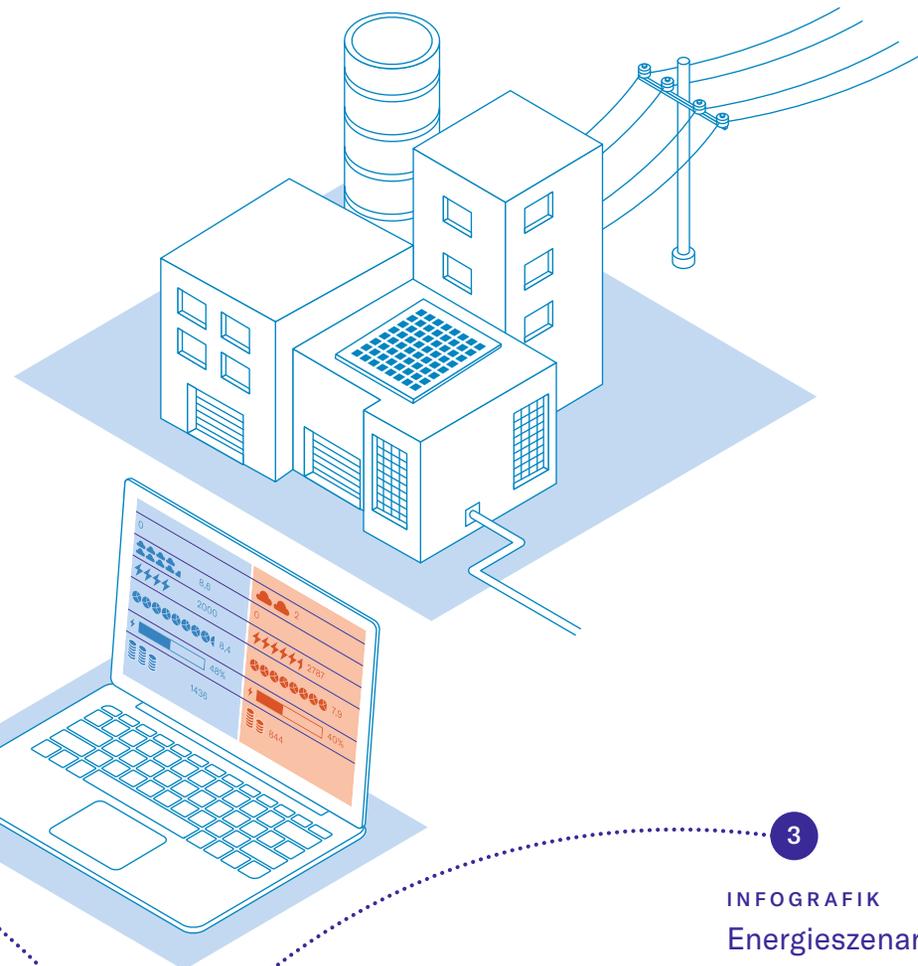
1

INTERVIEW
«Versachlichung würde
extrem helfen»

Seite 10

Saubere und sichere Energie für die Zukunft

Die Schweiz steht vor grossen Herausforderungen. Angesichts aktueller geopolitischer Entwicklungen und weiterer Krisen, wie der globalen Pandemie durch das Sars-CoV-2-Virus, scheinen die Voraussetzungen für das Erreichen der Ziele der Energiestrategie 2050 infrage gestellt. Forschende des PSI versuchen, mit komplexen Berechnungen den Blick für mögliche Entwicklungspfade zu weiten.



Evangelos Panos, Forscher
in der Gruppe Energiewirtschaft



3

INFOGRAFIK
Energieszenarien

Seite 18

2

HINTERGRUND

Viele Wege führen in
die Energiezukunft

Seite 12





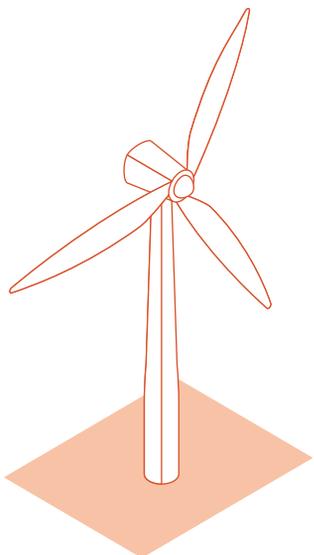
Thomas Justus Schmidt, Leiter des PSI-Forschungsbereichs Energie und Umwelt (links) und Kernenergieforscher Andreas Pautz, Leiter des Bereichs Nukleare Energie und Sicherheit.



«Versachlichung würde extrem helfen»

Die Energiedebatte benötigt mehr Fakten und weniger Bauchgefühl – dafür plädieren der Experte für erneuerbare Energien Thomas J. Schmidt und Kernenergieforscher Andreas Pautz. Im Doppelinterview legen sie dar, welche Aufgaben die Wissenschaft im Rahmen der Energiestrategie 2050 leisten muss und warum Kernenergieexperten und Fachleute für erneuerbare Energie eng zusammenarbeiten sollten.

Interview: Brigitte Osterath



Herr Schmidt, Sie leiten am PSI den Forschungsbereich Energie und Umwelt, Herr Pautz, Sie stehen dem Bereich Nukleare Energie und Sicherheit vor. Was unterscheidet Ihre Forschung, was hat sie gemein?

Thomas J. Schmidt: Der Bereich Energie und Umwelt erforscht die Gewinnung von Energie aus erneuerbaren Quellen, deren Umwandlung, Speicherung und die Frage, welche Konsequenzen die Nutzung der Energie durch den Menschen auf Umwelt und Atmosphäre hat. Mit der Nuklearenergie beschäftigen wir uns hingegen nicht.

Andreas Pautz: Das ist unser Spezialgebiet. Gemeinsamkeit ist, dass wir beide immer im Kontext zur Energiestrategie 2050 der Schweiz arbeiten. Wir haben beide in dieser Übergangsphase wichtige Aufgaben zu erfüllen, der Bereich Energie und Umwelt auf der Seite der Erneuerbaren und wir bei der Frage, wie man die Kernkraftwerke in der Schweiz sicher bis in die 2040er-Jahre – und möglicherweise sogar weit darüber hinaus – betreibt und wie man schliesslich die radioaktiven Abfälle entsorgt. Wir leisten unseren Beitrag dazu, dass das unter maxi-

maler Sicherheit geschieht und wir unserer Nachwelt möglichst wenige Altlasten hinterlassen.

Das heisst, Sie beide sehen sich nicht als Gegenspieler, indem Sie unterschiedliche Energiequellen vertreten?

Schmidt: Nein. Wir arbeiten eng zusammen und müssen dabei die Zeitskalen im Auge behalten, wenn eine Technologie potenziell durch eine andere abgelöst wird.

Pautz: Richtig, es geht um das optimale Zusammenspiel mit dem Ziel, mögliche Umweltbelastungen weitestgehend zu vermeiden und Kosten zu minimieren. Wir sehen das aus wissenschaftlicher Perspektive; das ist keine politische Diskussion, die wir führen. Mit dem Beschluss, die Laufzeit der bestehenden Kernkraftwerke nicht zu begrenzen, sind diese zu einem Teil der Energiestrategie geworden. Es gibt in der Schweiz übrigens keinen anderen Forschungsstandort, an dem so viel Energieforschung betrieben wird wie am PSI, also mit so vielen Mitarbeitenden in einem so engen räumlichen Umfeld.

Arbeiten Sie auch an gemeinsamen Projekten?

Pautz: Sicher, beispielsweise im Projekt SURE. Dabei untersuchen wir, wie wir in den nächsten Jahren eine sichere und resiliente Energieversorgung für die Schweiz aufbauen können. Das umfasst viel mehr als nur eine CO₂-Minimierung, sondern auch Aspekte wie Versorgungssicherheit, Netzstabilität und die Abwehr von externen und internen Gefahren. Zusätzlich arbeiten wir gemeinsam am Netto-Null-Ziel, das heisst an Technologieentwicklung und Modellierung für eine Gesellschaft, die unterm Strich keine Treibhausgase mehr emittiert. In diesem Zusammenhang werden wir ab Herbst 2022 ein Kompetenzzentrum des ETH-Bereichs leiten und koordinieren.

Schmidt: Wir betreiben diese Forschung in einem gemeinsamen PSI-Labor, dem Labor für Energiesystemanalysen. Das ist spezialisiert auf solche ganzheitlichen Betrachtungen des kompletten Energiesystems. Transport, Industrie, Privathaushalte, Stromerzeugung, das fliesst dort alles zusammen. Daneben gibt es aber eine ganze Reihe weiterer Themengebiete, bei denen sich Synergien ergeben. Dazu gehören zum Beispiel Materialaspekte, Aerosolformation und -ausbreitung, Strömungsvorgänge in porösen Medien, Entsorgungs- und Recyclingverfahren und vieles mehr.

Brauchen Diskussionen über die Energiewende und darüber, wie wir sie bewerkstelligen können, mehr wissenschaftliche Objektivität?

Pautz: Versachlichung der Energiedebatte würde extrem helfen. Man sollte einfach schlaue abwägen angesichts der neuen Tatsachen, die wir heute haben, beispielsweise bezüglich der immer mehr sichtbaren Folgen des Klimawandels oder der leider unzureichenden Geschwindigkeit beim Ausbau der erneuerbaren Energien und der Speichertechnologien. Durch die kriegerischen Auseinandersetzungen in der Ukraine, die uns unsere Abhängigkeiten von fossilen Energieträgern vor Augen führen, ist das Thema Versorgungssicherheit massiv in den Fokus gerückt. Angesichts dieser neuen Realitäten plädiere ich für eine technologieoffene Debatte, bei der keine Energieform – auch nicht die Kernenergie – ausgenommen werden sollte. Es muss ein evaluierender Denkprozess zustande kommen.

Schmidt: Das zeigt auch, wie wichtig der ganzheitliche Ansatz ist, den wir am PSI verfolgen, um das Energiesystem als Ganzes zu verstehen. Dieser Ansatz wird nicht an vielen Orten auf der Welt verfolgt.

Haben Sie eigentlich Schwierigkeiten, in Ihrem Bereich Nachwuchs zu finden?

Schmidt: Nein. Es hilft, dass wir sehr international aufgestellt sind. In dem Bereich Energie und Umwelt arbeiten Menschen aus etwa 45 Nationen.

Pautz: Das kann ich auch für meinen Bereich bestätigen; wir haben international einen sehr guten Ruf – und daher genug Nachfrage. Gemeinsam mit der EPFL und der ETH Zürich bieten wir zum Beispiel den Masterstudiengang Nuclear Engineering an. Den beginnen jedes Jahr im Schnitt um die fünfzehn neue Studierende – Tendenz steigend, dieses Jahr beginnen sogar mehr als fünfundzwanzig. Sehr erfreulich ist die Tatsache, dass in den letzten drei Jahren auch wieder vermehrt Schweizerinnen und Schweizer das Fach Kerntechnik wählen. Das zeigt, dass Kernenergie international kein Auslaufmodell ist und dieses Thema auch junge Menschen in der Schweiz bewegt.

Hören Sie oft den Vorwurf: «Die Schweiz will doch aus der Kernenergie aussteigen: Warum forscht das PSI dann noch daran?»

Pautz: Kaum. Dass man Fachleute für mindestens die nächsten fünfundzwanzig Jahre benötigt, ist unbestritten, alleine schon für die Entsorgungsproblematik. Die Notwendigkeit, die nuklearen Kompetenzen in der Schweiz zu erhalten, wird auch politisch kaum noch infrage gestellt. Die Schweiz soll in puncto Kerntechnik auch weiterhin international mitreden können und über tiefgehendes kerntechnisches Know-how verfügen. Das geht aber nur, wenn man weiter an wichtigen Fragestellungen zur nuklearen Sicherheit und zu Nachhaltigkeitsaspekten dieser Energieform forscht.

Was hat sich in den letzten Jahren in Ihrem Forschungsbereich verändert und was erwarten Sie für die Zukunft?

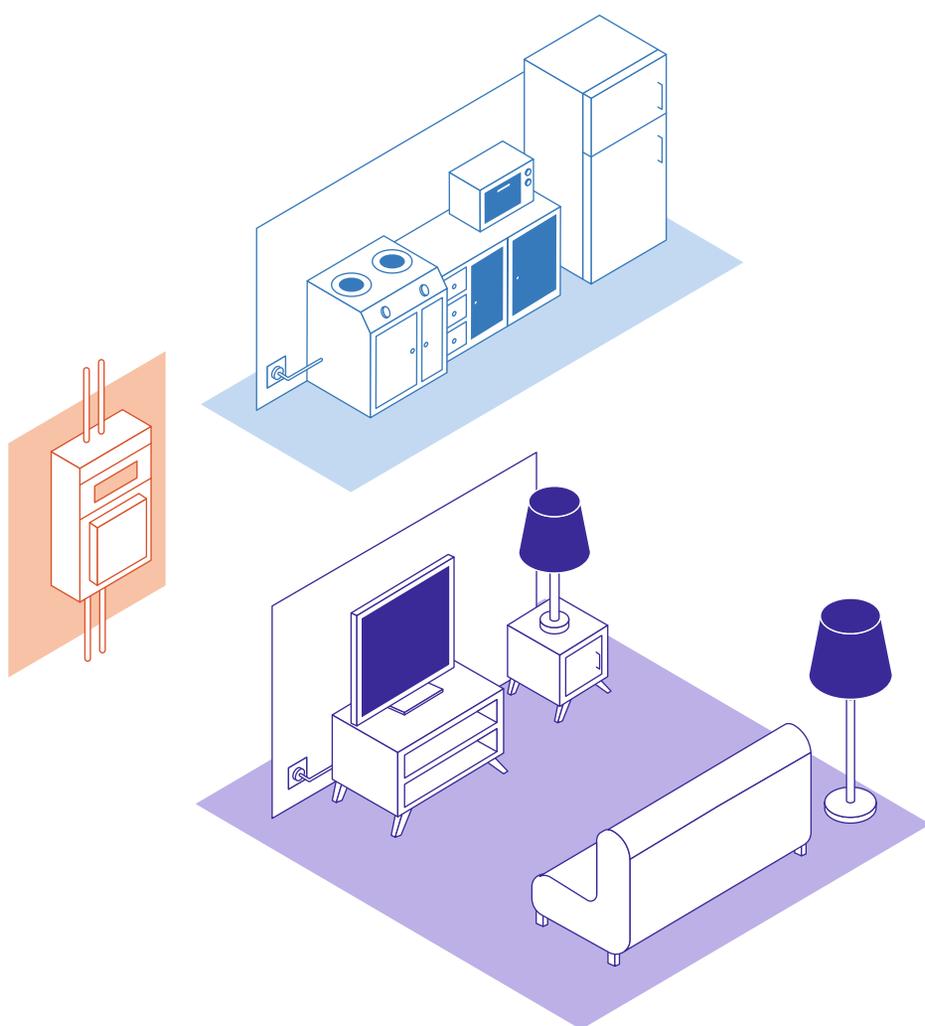
Schmidt: Wir haben unter anderem unsere Aktivitäten bei der Verbrennungsforschung reduziert. Das war zwar ein wichtiges Thema, ist aber nicht mehr zukunftsorientiert. Dafür haben wir andere Themen aufgenommen, etwa die Wasserstoffherzeugung. Wichtiger geworden ist auch die Frage, wie sich die Energienutzung auf unsere Umgebung auswirkt. Zum Beispiel: Welchen Einfluss haben Aerosole auf die Atmosphäre und die menschliche Gesundheit?

Pautz: Bei uns steht der Langzeitbetrieb der Kernanlagen auf der Agenda sowie die Endlagerung und der Rückbau der Anlagen. Seit klar ist, dass die Schweiz aus der Kernenergie aussteigen wird, haben wir Aktivitäten eingestellt, die für Anlagenneubauten in der Schweiz nötig gewesen wären, zum Beispiel die Entwicklung von neuen Brennstoffen. Untersuchungen zu neuen Sicherheitssystemen beobachten wir nur noch am Rande. Was ich in Zukunft gerne vorantreiben würde, ist eine verstärkte Internationalisierung bei den Industrie- und Forschungskooperationen. Die internationale Ausstrahlung, die die Kernenergieforschung am PSI hat, wollen wir weiter ausspielen. ♦

Viele Wege führen in die Energiezukunft

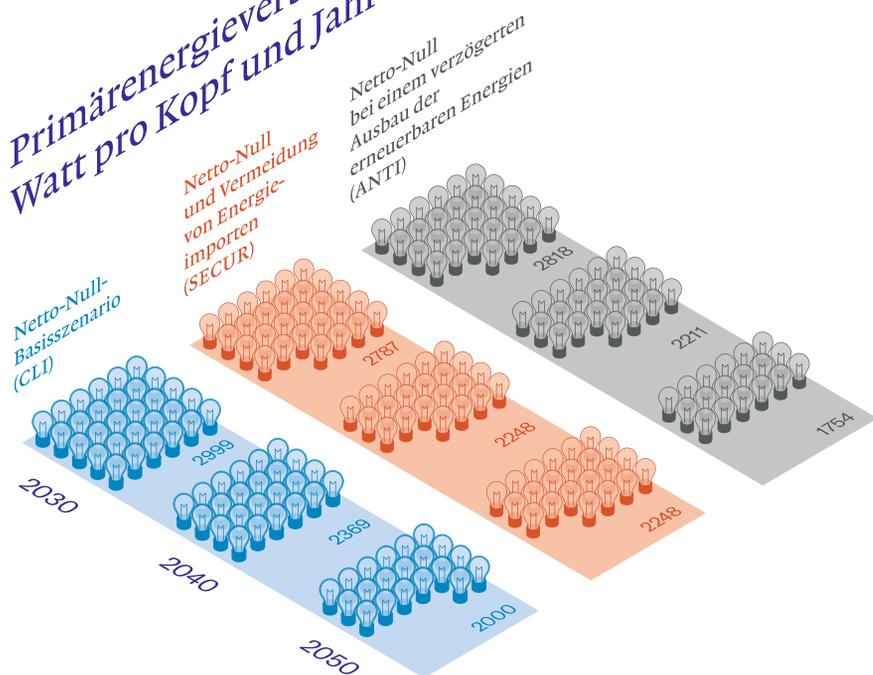
Das Ziel ist klar: null Treibhausgasemissionen bis 2050. Doch wie kann die Schweiz die Energiewende schaffen – zu möglichst geringen Kosten und unter Gewährleistung der Versorgungssicherheit? Antworten liefern Forschende des PSI mit einem in diesem Umfang einzigartigen Computermodell.

Text: Bernd Müller



Evangelos Panos entwickelt im Team komplexe Computermodelle, die simulieren, wie sich die Energiesysteme in Zukunft verändern könnten. Dies erlaubt unterschiedliche Rückschlüsse, zum Beispiel: Der Pro-Kopf-Energieverbrauch sollte sinken (siehe Grafik rechts oben).

Primärenergieverbrauch Watt pro Kopf und Jahr



Wenn Tom Kober über seine Arbeit spricht, macht er eines sofort klar: «Wir sagen nicht die Zukunft voraus.» Das verwirrt zunächst, schliesslich nennt sich Kobers Spezialgebiet «Foresight», was so viel wie «Vorausschau» bedeutet. Auch wenn Kober also in die Zukunft blickt, sagt er sie nicht vorher. «Wir berechnen Szenarien nach dem Prinzip Was-wäre-wenn», so Kober. «Aber jedes Rechenmodell ist immer nur eine Abstraktion der Realität, was bedeutet, dass gewisse Aspekte vernachlässigt werden.» Keines dieser Szenarien werde genau so eintreten. Dennoch seien sie als Unterstützung zur Entscheidungsfindung sehr wertvoll für Verantwortliche in Politik und Wirtschaft. «Die Szenarien zeigen mögliche Handlungsoptionen und welche Konsequenzen sie haben, was vor allem für den Vergleich verschiedener Szenarien interessant ist.»

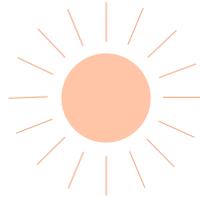
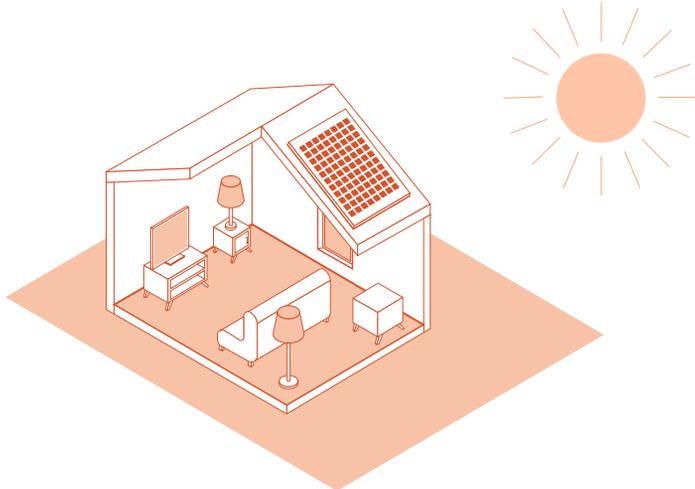
Kober beschäftigt sich seit mehr als fünfzehn Jahren mit Energiesystemen, CO₂-Emissionen und den drängenden Fragen, die sich mit dem fortschreitenden Klimawandel stellen. Seit 2016 leitet der 45-Jährige die Gruppe Energiewirtschaft, eine wichtige Arbeitsgruppe im Labor für Energiesystemanalysen (LEA) am PSI. «Das PSI ist für diese Art der interdisziplinären Forschung der ideale Ort», bestätigt Russell McKenna, der Leiter des LEA. Das LEA stelle die optimale Ergänzung zu den Arbeitsschwerpunkten der beiden PSI-Forschungsbereiche Nukleare Energie und Sicherheit sowie Energie und Umwelt dar. «Wir unterstützen unter anderem die Kolleginnen und Kollegen, die Elektrolyseure oder Brennstoffzellen entwickeln, mit Marktanalysen. Umgekehrt profitieren wir von den Daten und der

Expertise der Kolleginnen und Kollegen, die neue Technologien entwickeln», so McKenna.

Diese Kompetenz ist auch der Innosuisse, der Schweizerischen Agentur für Innovationsförderung, bekannt. Sie hat festgestellt, dass es in der Schweiz viel gute Foresight-Forschung zu Energiesystemen gibt, dass diese allerdings wenig koordiniert ist. 2017 hat der Projektträger daher ein gemeinsames Kooperationsprojekt «Szenarien und Modelle», kurz: JASM (Joint Activity Scenarios and Modelling), aufgelegt, das für die Schweiz Entwicklungspfade zu einer klimaneutralen Gesellschaft berechnen soll. An ihnen können sich Politik und Wirtschaft orientieren. Beteiligt waren die acht Schweizer Kompetenzzentren für Energieforschung (SCCER). Neben dem PSI zählen dazu weitere Institutionen des ETH-Bereichs wie Empa, EPFL, WSL und ETH Zürich, die Hochschule Luzern sowie die Universitäten in Basel und Genf. Jede dieser Forschungseinrichtungen hat besondere Stärken und konzentriert sich auf bestimmte Fragestellungen.

Das Modellierungsteam im Labor für Energiesystemanalysen am PSI ist national und international bekannt für sein selbst entwickeltes Schweizer Energiesystemmodell STEM (Swiss Times Energy Systems Model). Massgeblich entwickelt haben es Kannan Ramachandran und Evangelos Panos. «Es ist das einzige Modell, das mit einem ausgesprochen hohen, technischen Detaillierungsgrad Entwicklungspfade für das ganze Energiesystem der Schweiz über lange Zeiträume mit einer sehr guten zeitlichen Auflösung abbilden kann», sagt Evangelos Panos, Forscher aus der Gruppe Energiewirtschaft. Andere Forschende, die Energiemodelle anwenden, betrachteten oft nur ein bestimmtes Jahr in der Zukunft, nicht aber den Zeitverlauf über mehrere Jahrzehnte. In dem JASM-Verbundprojekt der Innosuisse haben die PSI-Forschenden drei Netto-Null-Szenarien im Vergleich zu einem Referenzszenario untersucht, wobei in Letzterem bis 2050 die CO₂-Emissionen nur um 40 Prozent gegenüber 1990 reduziert werden (siehe Infografik Seite 18): neben einem Netto-Null-CO₂-Emissionsminderungsszenario (CLI) eine Variante, die eine Reduktion von Energieimporten auf ein Minimum mitberechnet (SECUR), und eine Variante mit einem verhaltenen Ausbaupotenzial für neue erneuerbare Energien (ANTI).

Im vergangenen Jahr hat das Team um Tom Kober nun die Ergebnisse seiner Modelle vorgestellt. Die schlechte Nachricht vorweg: Um das Netto-Null-Ziel bis 2050 zu schaffen, sind erhebliche Anstrengungen nötig. Möchte man dieses Ziel möglichst kosteneffizient erreichen, muss sich die installierte Photovoltaikleistung alle zehn Jahre verdoppeln und drei Viertel aller Wohnhäuser müssten dann mit Wärmepumpen heizen. Dadurch würde



Um die Ziele möglichst geringer CO₂-Emissionen zu erreichen, ist in allen Szenarien ein starker Ausbau der Photovoltaik notwendig. Teilweise mehr als 90 Prozent der möglichen gut fünfzig Terawattstunden müssen es je nach Szenario sein (siehe Grafik rechts unten).

«Das PSI ist für diese interdisziplinäre Forschung der ideale Ort.»

Russell McKenna, Leiter des Labors für Energiesystemanalysen

der durchschnittliche Energieverbrauch pro Kopf gegenüber heute auf die Hälfte sinken. Die Schweiz würde sich damit zur viel zitierten 2000-Watt-Gesellschaft entwickeln. Das hiesse also, der jährliche Primärenergieverbrauch pro Kopf entspräche einer durchschnittlichen Leistung von 2000 Watt. Heute sind es knapp 4000 Watt pro Person. Bei einem schleppenden Ausbau erneuerbarer Energien müsste der durchschnittliche Leistungsbedarf sogar auf 1750 Watt sinken. Das Netto-Null-Ziel könnte hier vor allem durch zusätzliche Anstrengungen bei Energieeinsparungen erreicht werden, was entsprechend höhere Kosten verursacht, zum Beispiel für Wärmedämmung und verbesserte Prozessintegration.

Eine tragende Rolle bei der Energiewende spielt die Photovoltaik. Rund fünfzig Terawattstunden an Solarstrom könnte die Schweiz pro Jahr ernten, wenn alle verfügbaren Flächen ausgenutzt würden. Heute werden allerdings nur vier Prozent davon verwendet. Möchte das Land 2050 weitgehend auf Energieimporte verzichten, müssten aber mehr als 90 Prozent dieser Flächen ausgenutzt werden. Um die Ziele im Basisszenario zu erreichen, müssten dagegen nur rund 50 Prozent der möglichen Solarenergieflächen genutzt werden, im Szenario mit verzögertem Ausbau wären es in etwa 40 Prozent.

Inzwischen haben auch die anderen Forschungseinrichtungen ihre JASM-Ergebnisse vorgestellt und in einem Synthesebericht zusammengefasst. Daneben gibt es auch die Szenarien des Bundes – die Energieperspektiven 2050+. In den wesentlichen Befunden sind sich die Forschenden einig. Doch gibt es auch Unterschiede. So liegen die Kosten in den Modellen des PSI höher als bei anderen Gruppen.

«Manche Ereignisse kann aber selbst das beste Rechenmodell nicht vorhersehen, etwa wenn ein Virus die Welt in Atem hält oder ein Krieg die verlässliche Versorgung mit fossilen Brennstoffen gefährdet», gibt Laborleiter McKenna zu bedenken. Solche Schockereignisse sind Thema von SURE (Sustainable and Resilient Energy for Switzerland), einem Forschungsprojekt im SWEET-Programm (Swiss Energy Research for the Energy Transition) des Bundesamts für Energie. Darin untersuchen zehn Forschungspartner unter der Leitung von Tom Kober, wie sich das Energiesystem bei einem Schock verhält und wie man gegensteuert. Bei der Corona-Pandemie sind sich Fachleute recht sicher, dass die unmittelbaren Auswirkungen für das Ener-



giesystem lediglich kurz- und mittelfristig seien, die langfristigen Ziele etwa zur Dekarbonisierung änderten sich dadurch nicht.

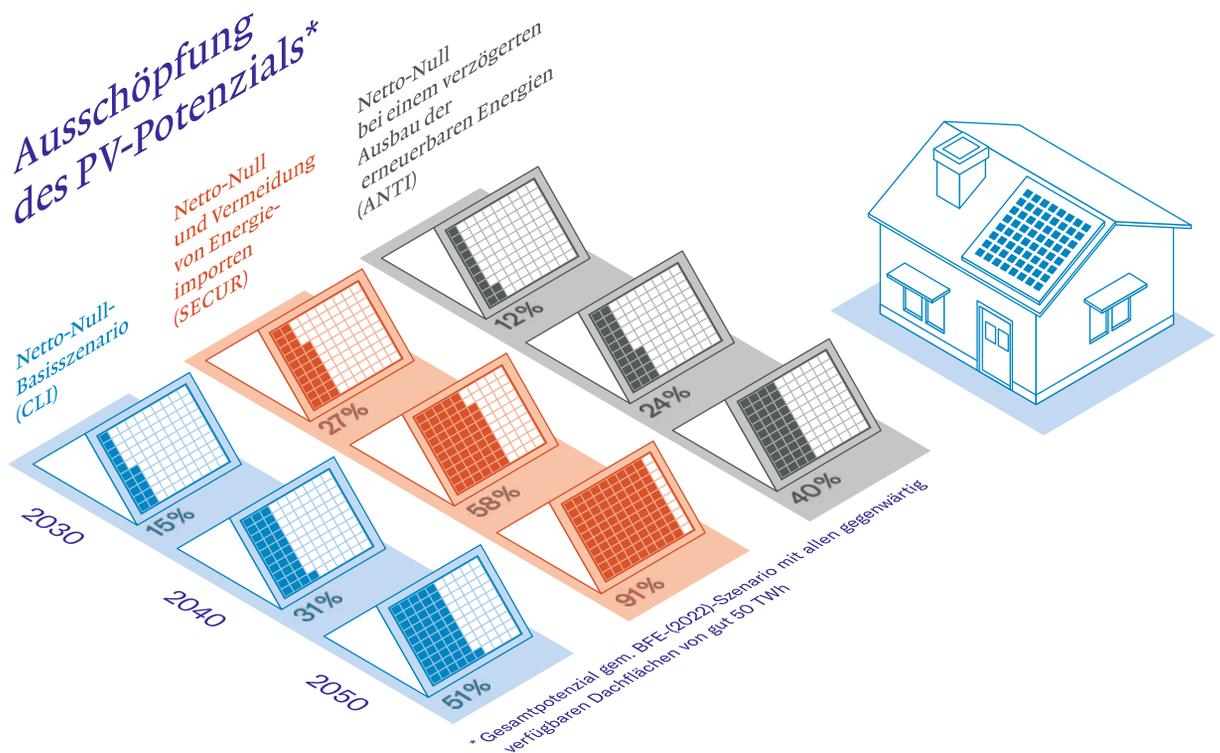
Anders könnte es sich beim Ukraine-Krieg verhalten. Einige Szenarien im JASM-Report des PSI rücken dadurch plötzlich in den Fokus. Heute werden etwa drei Viertel des gesamten jährlichen Energieverbrauchs importiert. Das Szenario SECUR ist darauf ausgelegt, neben der Dekarbonisierung möglichst zügig unabhängig von Energieimporten zu werden, etwa indem Wasserstoff mit regenerativen Energien aus dem Inland erzeugt wird. In einem solchen Szenario ist nicht nur eine Steigerung der Stromproduktion notwendig, sondern es muss auch mehr Energie eingespart und die Flexibilität des Energiesystems zur Integration grosser Mengen erneuerbarer Energien erhöht werden. Das verteuert die Anstrengungen zum Klimaschutz zusätzlich etwa um das Zweieinhalbfache.

Als Wirtschaftsingenieur ist Kober neben den technischen Wechselwirkungen vor allem an solchen ökonomischen Aspekten der Transformation von Energiesystemen interessiert. Die Frage lautet: Was kostet es, wenn wir in einem Szenario diese oder jene Entscheidungen treffen und welche Wechselwirkungen folgen daraus in einem so komplexen Energiesystem? Die mehr oder weniger eindeutige Antwort: Günstig wird es jedenfalls nicht. Je nach Szenario kommen erhebliche Kosten auf die Gesellschaft zu. Kein Wunder: Wenn die Schweiz von ihrem CO₂-Ausstoss von 43,4 Millionen Tonnen pro Jahr (Stand: 2020) bis 2050 auf netto null kommen will, dann müssen die CO₂-Emissionen in Zukunft im Durchschnitt jedes Jahr um anderthalb Millionen Tonnen gegenüber dem Vorjahr sinken.

Es gibt aber auch eine gute Nachricht: Diese Dekarbonisierung der Energieversorgung ist technisch möglich und prinzipiell bezahlbar – wenn man die Massnahmen klug wählt.

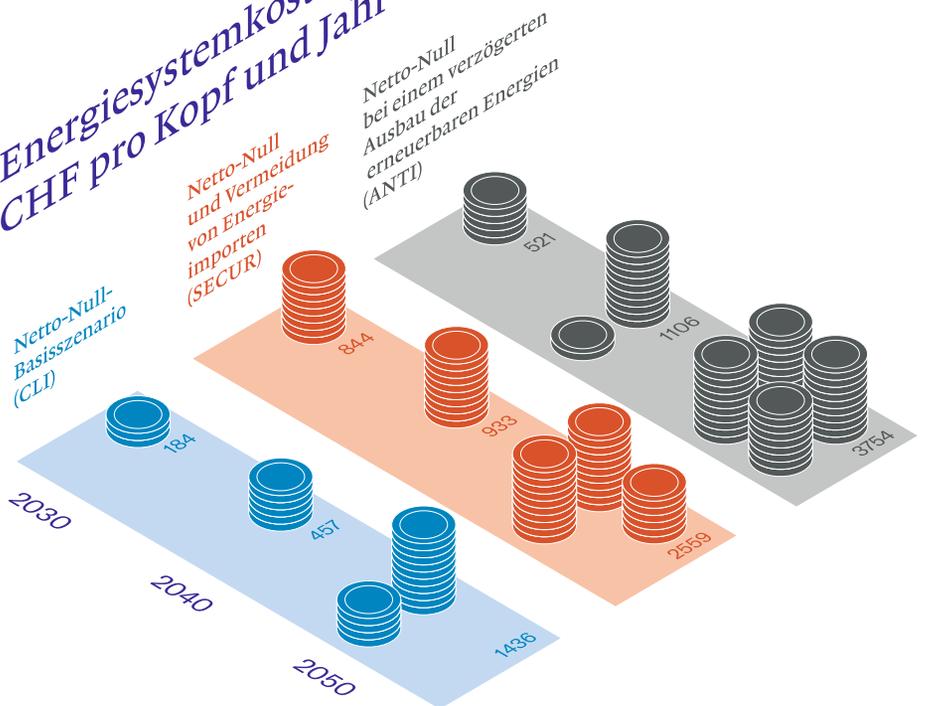
Betrachtet man die Kosten des Referenzszenarios, bei dem die CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2050 um 40 Prozent gegenüber dem Jahr 1990 sinken, so sieht man, dass sich die gesamten Kosten des Energiesystems bis 2050 gegenüber heute mehr als verdoppeln (siehe Grafik Seite 16). Für die Erreichung des Netto-Null-Ziels fallen zusätzliche Kosten an. Diese bewegen sich je nach Szenario zwischen rund 180 und 840 Franken pro Jahr und Kopf bis 2030. Bis 2050 betragen die zusätzlichen Kosten zwischen 1440 und 3750 Franken. Evangelos Panos zu den Unterschieden bei den Kosten zwischen den Szenarien: «Ursachen für die Bandbreite sind unterschiedliche Entwicklungen der Energieträgerpreise, der Energietechnologien, der Ressourcenverfügbarkeit, der Marktintegration, der Akzeptanz von Technologien und die Abhängigkeit von Energieimporten. Ändern sich die Rahmenbedingungen, hat das einen anderen Technologiemitx zur Folge, verbunden mit steigenden Kosten für das Energiesystem, wenn die kostengünstigen Klimaschutzoptionen nur eingeschränkt verfügbar sind.»

Klar ist also: Die Energiewende wird teuer. Wie teuer, das hängt von den politischen Entscheidungen ab. Der Hoffnung, durch Nichtstun Geld zu sparen, erteilt Kober eine klare Absage: Das ANTI-Szenario, bei dem kostengünstigere Massnahmen zur Energiewende nur schleppend vorankommen, wie zum Beispiel der Ausbau erneuerbarer Energien, ist von allen Szenarien das teuerste. Statt nur 1440 Franken wie im Netto-Null-Basiszenario (CLI) würden die





Energiesystemkosten CHF pro Kopf und Jahr



Wirtschaftsingenieur Kober versucht unter anderem anhand der Szenarien auszuloten, wie sich die Kosten der Energiewende entwickeln werden. Eines ist klar: Es wird teurer (siehe Grafik oben).

eine pessimistische und abwehrende Haltung der Bevölkerung zugrunde, die den Energiewandel um zehn Jahre zurückwerfen würde. Dass das nicht weit hergeholt ist, zeigt die Volksabstimmung vom Juni 2021, in dem die Schweizer Stimmbürgerinnen und Stimmbürger wichtige Klimaschutzmassnahmen im geänderten CO₂-Gesetz abgelehnt haben.

Schweizerinnen und Schweizer im Jahr 2050 dann 3750 Franken pro Jahr zusätzlich bezahlen müssen. Bei einem schleppenden Ausbau der erneuerbaren Energien bekäme Wasserstoff eine wesentlich geringere Bedeutung, da die einheimischen Ressourcen zur Produktion nicht vollumfänglich zur Verfügung stünden. Um dies auszugleichen, müssten Massnahmen zur Energieeinsparung vorgezogen werden und man müsste umweltfreundliche Energien zu hohen Preisen aus dem Ausland importieren. Auch für den Fall, dass die Schweiz möglichst unabhängig von Energieimporten sein möchte, würden sich die zusätzlichen Kosten der Energiewende im Jahr 2050 auf 2560 Franken pro Jahr fast verdoppeln, vor allem durch den schnelleren Zubau von Photovoltaik und durch bessere Gebäudedämmung in Verbindung mit Wärmepumpen.

Ein Schlüssel zum Gelingen aller ambitionierten Entwicklungspfade ist neben den Kosten die Akzeptanz. Im ANTI-Szenario legen die Forschenden

Auch die Finanzwelt sieht Kober in der Pflicht. Das Energiesystem der Zukunft ist zunehmend kapitalintensiv, man spart zwar bei den Ausgaben für Brennstoff, muss aber vorher grössere Summen etwa in Photovoltaikanlagen oder in Wasserstofftechnologie investieren. Banken bewerten die Risiken von Investitionen und unterscheiden zwischen reifen Technologien wie Photovoltaik oder Wärmedämmung und Technologien, die sich heute erst auf dem Weg zur Marktreife befinden. Die Energiewende gelingt aber nur, wenn neue Technologien rund um Wasserstoff oder das Abscheiden von CO₂ aus Kraftwerksabgasen oder Müllverbrennungsanlagen in grossem Stil eingeführt werden. Hier seien neue Finanzierungsinstrumente und staatliche Garantien gefragt.

Welches Szenario ist nun das beste oder das wahrscheinlichste? Wie gesagt: Kein Szenario des PSI-JASM-Reports sagt die Zukunft voraus, keines hat nur Vorteile, insofern gibt es kein Gut oder Schlecht.

Einige Grundprinzipien stecken aber in allen Szenarien:

- Treibhausgasemissionen müssen einen «Preis bekommen» – das heisst, dass die Energiepreise die Kosten für Umwelt und Mensch beinhalten. Ausserdem müssen die Massnahmen zur Dekarbonisierung koordiniert erfolgen und schnell, denn sonst wird es erst recht teuer.
- Strom aus emissionsarmen Quellen, insbesondere erneuerbaren Energien, ist der Rohstoff der Energiewende. Der Stromverbrauch der Schweiz könnte von heute rund 60 auf bis zu 80 Terawattstunden im Jahr 2050 steigen. Dazu muss sich die Leistung aus Photovoltaik jedes Jahrzehnt mindestens verdoppeln, wenn auch der schrittweise Ausstieg aus der Kernenergie kompensiert werden soll.
- Mehr wetterabhängige Stromproduktion, wie aus Photovoltaik- und Windkraftanlagen, hat zur Folge, dass das Energiesystem viel flexibler reagieren muss, wozu zusätzliche Energiepuffer (kurzfristig und saisonal) in Form von Batteriespeichern, thermischen oder chemischen Speichern notwendig sind sowie die Bereitschaft der Verbraucherinnen und Verbraucher, den Energiekonsum stärker als bisher an das Energieangebot anzupassen.
- Ohne das Abscheiden und unterirdische Speichern von CO₂ sind Dekarbonisierungsziele nicht zu erreichen. Die Schweiz muss sich dabei mit ihren Nachbarn abstimmen.

- Technologieoffenheit zahlt sich aus, Wettbewerb kombiniert mit Anreizen bringt die besten Ergebnisse zu geringsten Kosten.

Die Forschung mit dem STEM-Modell geht weiter und soll auf andere Aspekte der Nachhaltigkeit und der Widerstandsfähigkeit des Energiesystems ausgedehnt werden, darunter vor allem auf soziale Auswirkungen der Energiewende. Tom Kober ist optimistisch, dass die Energiewende gelingen kann: «Was wir jetzt brauchen, sind entschlossene Massnahmen und konkrete Regelungen zur Kontrolle der Kohlenstoffemissionen, die jeder nachvollziehen kann.» ♦



«Für die Energiewende benötigen wir auch neue Finanzierungsinstrumente und staatliche Garantien.»

Tom Kober, Leiter der Gruppe Energiewirtschaft

6 Millionen Gleichungen – ein Energiesystem

Der gelernte Softwareingenieur und Energiemodellierer Evangelos Panos hat über die Jahre mit seinem Kollegen Kannan Ramachandran und einem Team weiterer Forscher ein reichhaltiges Rechenmodell aufgebaut: das STEM-Energiesystemmodell. Es besteht aus sechs Millionen Gleichungen mit sechs Millionen Variablen, die unterschiedlichste Aspekte des Schweizer Energiesystems beschreiben. Über die Gleichungen sind die Variablen in vielen Dimensionen miteinander verknüpft. Verändert man eine Variable, etwa den Preis für die Emission einer Tonne CO₂ oder den Ausbau der Photovoltaik, ändern sich Dutzende weitere Variablen, manchmal auf unvorhergesehene Weise.

Es ist unvorstellbar, solch ein gigantisches Gleichungssystem mit Papier, Bleistift und Taschenrechner zu kalkulieren. Selbst der spezielle Computer, den Panos einsetzt, braucht mehrere Stunden, um das Gleichungssystem für ein einzelnes Szenario zu lösen. Aber die Modellierung von Energiesystemen mittels verschiedener Szenarien ist mehr als das, denn es geht darum, Fachwissen über das Energiesystem aus verschiedenen Disziplinen in effiziente Algo-

rithmen zu überführen, um sie mittels mehrerer Computer überhaupt berechnen zu können. Daher ist es nicht verwunderlich, dass es Monate an akribischer Detailarbeit bedurfte, um alle Szenarien und deren Varianten im JASM-Projekt zu kalkulieren.

Das STEM-Modell des PSI hat im Vergleich zu Modellen anderer Forschungsteams einige herausragende Besonderheiten – aber es kann natürlich nicht alles. Es ist ein techno-ökonomisches Optimierungsmodell. Es trifft zum Beispiel keine Aussagen, wie sich die Szenarien in der Schweiz auf den Arbeitsmarkt oder auf die Wertschöpfung auswirken. Auch haben die Forschenden die Emissionen aus dem internationalen Luftverkehr ausgeklammert sowie die Emissionen, die im Ausland im Zusammenhang mit der Einfuhr von Gütern in die Schweiz entstehen. Deshalb ist die Modellierung des Schweizer Energiesystems keine Soloaufgabe des PSI, sondern eingebettet in Forschungsk Kooperationen mit anderen renommierten Forschungsgruppen, um schlussendlich ein umfassendes Bild der Transformation des Energiesystems mit möglichst vielen Facetten zu zeichnen.

Energieszenarien

Die von PSI-Forschenden entworfenen Szenarien sind keine Prognosen, sondern Annahmen, wie sich die Energiesysteme der Schweiz verändern könnten. Sie weisen dennoch den Blick für mögliche Entwicklungen.

Netto-Null-Basisszenario (CLI)

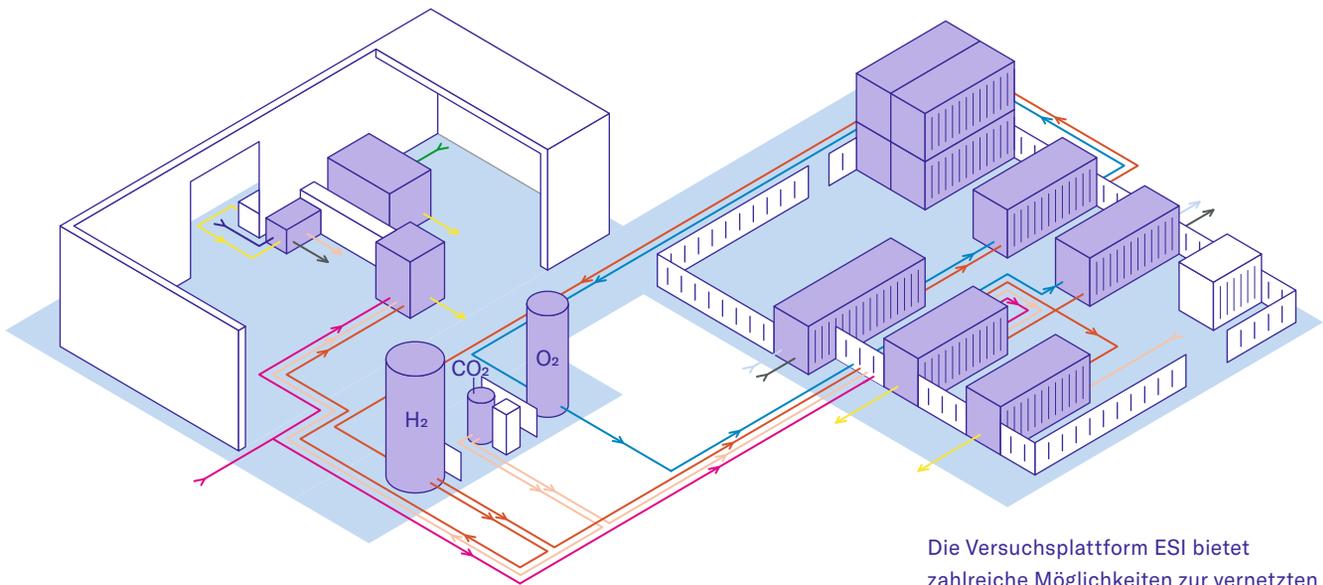
		2019	2030	2050	
Generelle Indikatoren	CO ₂ -Emissionen pro Kopf (Tonne/Jahr)	4,4	2,6	0	
	CO ₂ -Abtrennung und Speicher/Verwendung (Megatonne)	0	0	3	
	Primärenergieverbrauch pro Kopf (Watt pro Person)	3828	2999	2000	
	Diversität der Primärenergiebereitstellung (Shannon-Wiener-Index: höherer Wert = mehr Diversität)	5,6	8	10	
	Anteil Strom am Endenergieverbrauch	27%	33%	50%	
	Annualisierte Kosten für die Energiewende gegenüber Referenzszenario (CHF/Person)		184	300	
Angebotsseite	Nettoimporte (TWh) Erdölprodukte, Erdgas, «klimafreundliche Moleküle» (Bioenergie, synthetische Brennstoffe, Wasserstoff), Elektrizität	132	82	31	
	Inländische Stromproduktion	Kernenergie (TWh)	25	19	0
		Wasserkraft (TWh)	37	37	38
		Photovoltaik (TWh)	2	7	26
		Sonstige (TWh)	4	7	14
	Zusätzliche Stromerzeugung gegenüber 2019 (TWh)		3%	10%	
	Inländische Produktion von Bioenergie (TWh)	31	38	47	
	Wasserstoffproduktion	Elektrolyse (TWh)	0	1	6
		Sonstige (Methandampfpreformierung, Biomassevergasung) (TWh)	0	2	5
	Saisonale Speicherung (TWh/Jahr) hauptsächlich Wasserstoff	0	0	1.6	
Nachfrageseite	PKW-Flotte	Anteil E-Mobilität (PHEV und BEV)	1%	27%	50%
		Anteil Brennstoffzellenfahrzeuge	0%	0%	10%
		Anteil PKW mit Verbrennungsmotor	99%	73%	40%
	Spezifischer Raumwärmebedarf (kWh/m ³) (gemittelt über alle Gebäude der privaten Haushalte)	86	75	50	
	Raumwärmebereitstellung	Anteil Wärmepumpen	12%	35%	50%
		Anteil Fernwärme	4%	6%	10%
Anteil sonstiger erneuerbarer Energien		10%	10%	10%	

Grundannahme für alle Szenarien: Bevölkerungszuwachs gegenüber 2019 2030 2050 Wirtschaftswachstum gegenüber 2019 2030 2050
 9% 21% 16% 24%

Netto-Null und Vermeidung von Energieimporten (SECUR)

Netto-Null bei einem verzögerten Ausbau der erneuerbaren Energien (ANTI)

	2030	2050	2030	2050
	2	0	2,6	0
8,6	0	7,4	0	8,3
2000	2787	2248	2818	1754
8,4	7,9	6,9	7,3	7,5
48%	40%	49%	36%	49%
1436	844	2559	521	3754
	57	1	81	33
	19	0	19	0
	37	39	37	38
	13	46	6	20
	7	18	7	12
14%	13%	51%	2%	3%
	39	47	32	41
	3	26	0	0
	0	2	0	3
	0	2.2	0	0.1
83%	29%	61%	25%	81%
17%	1%	39%	0%	7%
0%	70%	0%	75%	12%
45	55	39	60	37
77%	45%	72%	36%	74%
9%	8%	11%	8%	14%
14%	19%	17%	17%	10%



Die Versuchsplattform ESI bietet zahlreiche Möglichkeiten zur vernetzten Energieforschung.

Energieforschung am PSI

Kooperation für eine sichere Energieversorgung

Das Paul Scherrer Institut PSI beteiligt sich an vielen Kooperationen federführend oder als Partner. So leitete das PSI im Rahmen des vom Bund initiierten Förderprogramms Energie 2013–2020 der Schweizerischen Agentur für Innovationsförderung Innosuisse das Kompetenzzentrum für Wärme- und Stromspeicherung (**SCCER Heat and Electricity Storage**) und erstellte in einem gemeinsamen Forschungsprojekt von fünf Schweizer Kompetenzzentren für Energieforschung ein **Weissbuch «Power-to-X»** zu Händen der Eidgenössischen Energieforschungskommission (CORE). Ziel des Weissbuchs ist es, die wichtigsten vorhandenen Erkenntnisse über Power-to-X-Technologien zu sammeln. Ebenso leitete das PSI den Energieforschungsverbund **SCCER Biosweet**, an dem bis zu fünfzehn akademische Forschungsgruppen und Dutzende Umsetzungspartner beteiligt waren, mit Schwerpunkt auf Biomasse-Umwandlungsprozessen. Aktuell untersuchen Forschende aus zehn Institutionen unter Federführung des PSI im Rahmen des Forschungsprojekts **SURE** (Sustainable and Resilient Energy for Switzerland), gefördert durch das Bundesamt für Energie, wie die Energieversorgung in der Schweiz in den kommenden Jahrzehnten möglichst nachhaltig und störungsfrei erfolgen kann.

Vernetzte Plattform

Auf der Versuchsplattform **ESI** (Energy System Integration; siehe auch Grafik oben) können Forschung und Industrie vielversprechende Lösungsansätze zur Einbindung neuer erneuerbarer Energien wie Sonne, Wind oder Biomasse in das Energiesystem testen. Die Demonstratoren der ESI-Plattform sind ausserdem über das Projekt **ReMaP** mit den For-

schungsplattformen ehub, NEST und move der Empa sowie der ETH Zürich und renommierten Partnern aus der Industrie vernetzt.

Effiziente Speicherung und Umwandlung von Energie

Ein Schwerpunkt des PSI bei der Suche nach einer effizienteren Nutzung von Energie liegt auf der Charakterisierung und Entwicklung von Materialien für neue Energiespeicher, zum Beispiel für Lithium-Ionen-Batterien. Diese werden in künftigen Hybrid-, Elektro- und Brennstoffzellenfahrzeugen eine wesentliche Rolle spielen.

Sichere Nutzung der Kernenergie

Ein Schwerpunkt der Forschung ist, die Vorgänge in Kernkraftwerken noch besser zu verstehen, um so zu deren sicherem Betrieb beizutragen. Die Untersuchungen erfolgen unter anderem mittels Computersimulationen. Ein weiterer Aspekt ist die sichere Endlagerung radioaktiven Abfalls. Ziel der Arbeiten auf diesem Gebiet ist, zu bestimmen, wie gut unterschiedliche geologische Formationen geeignet sind, radioaktiven Abfall über lange Zeiträume sicher zu verwahren.

Ganzheitliche Bewertung von Energiesystemen

Über Untersuchungen zu einzelnen Energietechnologien hinaus widmen sich Forschende des PSI auch der ganzheitlichen Betrachtung und dem Vergleich von nuklearen, fossilen und erneuerbaren Energiesystemen: So analysieren sie die Strukturen und Auswirkungen nationaler und internationaler Energiesysteme, um die Zusammenhänge zwischen Energie, Wirtschaft, Umwelt und Technik besser zu verstehen oder sie untersuchen verschiedene Optionen für die Energieversorgung. ♦



Krebszellen zerstören

Susanne Geistlich, die Leiterin der Gruppe Klinische Medikamenten-Versorgung des Zentrums für radiopharmazeutische Wissenschaften des PSI und der ETH Zürich, will Tumore bekämpfen. Dafür stellt sie mit ihrem Team am PSI sogenannte Radiopharmazeutika her, mit deren Hilfe sich Krebszellen im Körper aufspüren und zerstören lassen. Das erfolgreiche Ergebnis einer solchen Behandlung ist auf der rechten Seite der Vorher-Nachher-Aufnahme im Hintergrund ersichtlich. Die Arzneimittelsicherheit erfordert höchste Reinheit sowohl in den Anlagen als auch im Labor, in dem die Herstellung stattfindet. Beides hat die kürzlich erfolgte Zertifizierung durch das Schweizerische Heilmittelinstitut Swissmedic erneut belegt.



Auch Alltagsgegenstände werden bei ANAXAM durchleuchtet. Der CEO Christian Grünzweig und die Projektmanagerin Cynthia Chang philosophieren über die Verteilung des Dichtstoffes in einer Konservendose.

Von Fusionsreaktoren, Brennstoffzellen und Konservendosen

Ob Alltagsgegenstände oder Hightech-Materialien für erneuerbare Energien: Seit mehr als drei Jahren erleichtert das Technologietransferzentrum ANAXAM den Zugang zu den Grossforschungsanlagen am PSI und unterstützt KMU, Start-ups und Grossunternehmen weltweit mit einem kompletten Dienstleistungspaket, diese Anlagen für ihre Materialanalytik zu nutzen.

Text: Benjamin A. Senn

150 Millionen Grad Celsius – so heiss soll das Plasma im Inneren des Versuchskernfusionsreaktors ITER werden, mit dem Forschende im südfranzösischen Cadarache die Energiegewinnung der Zukunft erproben wollen. Zum Vergleich: Die perfekt knusprige Pizza backen wir bei etwa 350 Grad Celsius, Lava fliesst je nach Gesteinsart mit einer Temperatur von über 1000 Grad Celsius und im Inneren der Sonne herrscht eine beachtliche Hitze von etwa 15 Millionen Grad Celsius. Die unvorstellbaren 150 Millionen Grad Celsius, welche ITER zu erzielen plant, sind somit einzigartig in unserem Sonnensystem. Auch wenn das heisse Plasma in diesem sogenannten Tokamak nie direkt mit den Wänden in Berührung kommen wird, kann man sich vage vorstellen, welche enormen thermomechanischen und strahlungsintensiven Belastungen diese Materialien standhalten müssen.

Bevor ein Testbetrieb mit derart infernalischen Bedingungen starten kann, müssen die Materialien daher kontrollierten Belastungen ausgesetzt und etwaige strukturelle Veränderungen in ihrem Inneren exakt überprüft werden. Und genau dafür bietet das Technologietransferzentrum ANAXAM eine Vielzahl modernster Analytikmethoden, welche an den Grossforschungsanlagen des PSI durchgeführt werden können.

Präzise Materialanalytik

ANAXAM ist ein gemeinnütziger Verein, welcher 2019 vom Paul Scherrer Institut PSI, der Fachhochschule Nordwestschweiz, dem Swiss Nanoscience Institute und dem Kanton Aargau gegründet wurde. Der Verein verfolgt das Ziel, den Zugang zu den Grossforschungsanlagen für industrielle Projekte zu erleichtern. Das Akronym ANAXAM steht hierbei für «Analytics with Neutrons And X-ray Advanced Manufacturing» – also für Analytikmethoden mittels Neutronen- und Synchrotronstrahlung – eine besondere Form von Röntgenstrahlung – für fortgeschrittene Fertigungstechnologien.

Mit Neutronen- und Synchrotronstrahlen lassen sich Objekte zerstörungsfrei durchleuchten. Dies erlaubt nicht nur eine dreidimensionale Sicht ins Innere des Objekts, sondern mittels Spektroskopie auch die Identifizierung und Lokalisierung der unterschiedlichen chemischen Elemente oder die strukturelle und morphologische Charakterisierung eines Materials durch Diffraktion und Kleinwinkelstreuung. Je nach Objekt können Neutronen- und Synchrotronstrahlen nacheinander angewendet und die Ergebnisse der Durchleuchtung miteinander kombiniert werden, um beispielsweise in der Bildgebung unterschiedliche Kontraste zu erzielen.

Die schiere Dimension der Grossforschungsanlagen erlaubt Materialanalytik, die in konventionellen Industrielabors unerreichbar ist. «Die zur Erzeugung von Röntgenstrahlen genutzte Synchrotron Lichtquelle

Schweiz SLS am PSI liefert beispielsweise eine Brillanz, welche Röntgenquellen im Labormassstab um den stattlichen Faktor von 10 Milliarden übertrifft», so Christian Grünzweig, CEO von ANAXAM. Die Analytik mittels Neutronen- und Synchrotronstrahlung ist in der Schweiz nur an den Grossforschungsanlagen SLS und Schweizer Spallations-Neutronenquelle SINQ am PSI möglich.

Um von diesen komplexen Anlagen zu profitieren, steht das sechsköpfige Kernteam von ANAXAM mit Rat und Tat zur Seite. «Wir sind ein One-Stop-Shop. Die Kunden kommen mit einem Problem zu uns, wir beraten sie, kaufen beim PSI Messzeit ein, bauen, falls nötig, eine spezifische Infrastruktur auf und führen die Messungen inklusive der Datenanalyse durch. Zum Schluss erhält der Kunde die Daten und deren Interpretation in einem Abschlussbericht», erklärt Cynthia Chang, Projektmanagerin bei ANAXAM. Die Materialwissenschaftlerin und Christian Grünzweig haben vor ihrem Engagement bei ANAXAM am PSI geforscht – Cynthia Chang in der Synchrotron- und Christian Grünzweig in der Neutronenanalytik. Expertisen, die sich in ihrer jetzigen Position perfekt ergänzen. Zusammen mit ihrem Team mit den unterschiedlichsten Werdegängen aus Forschung und Industrie unterstützen sie den Industriestandort Schweiz mittels fortschrittlichsten Analytikmethoden für die Produkte und Prozesse von morgen.

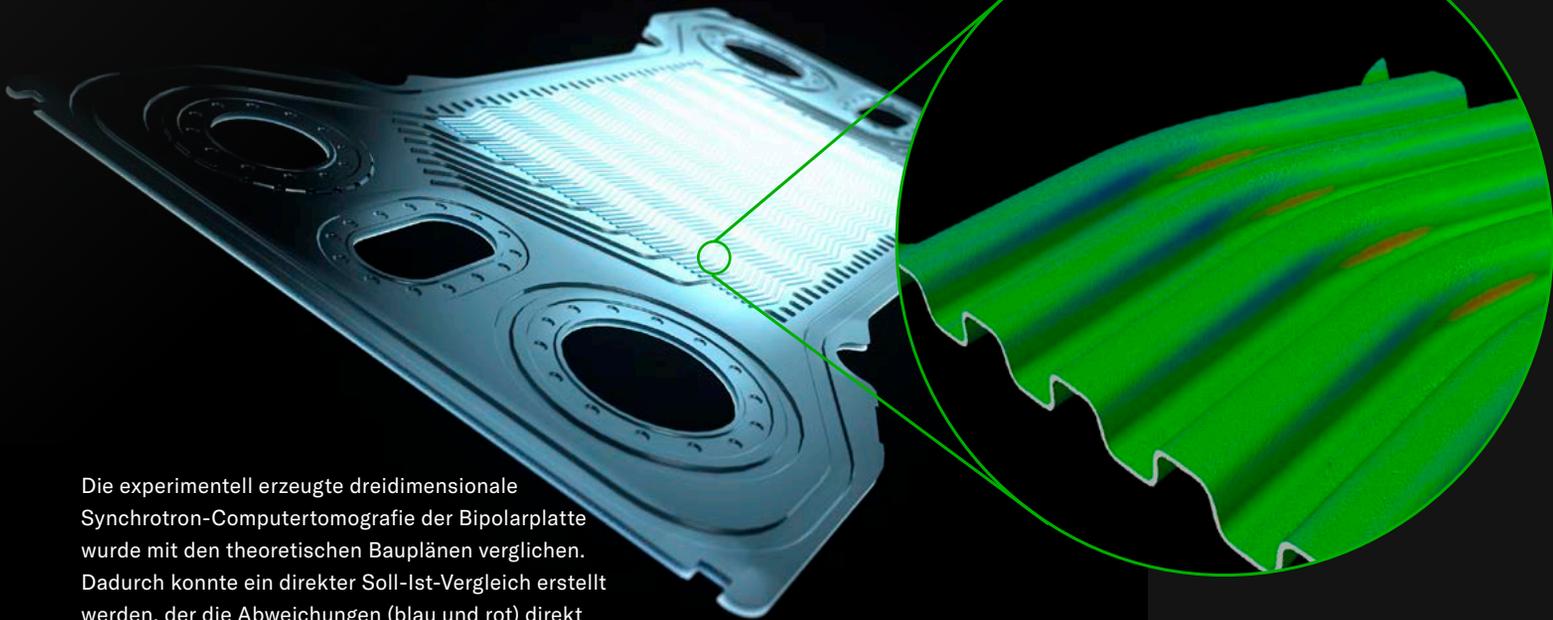
Brennstoffzellenkomponenten made in Switzerland

Brennstoffzellen gelten als wichtige Technologie für die E-Mobilität der Zukunft. In einer solchen Zelle reagieren Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser und setzen dabei Energie in Form von Strom und Wärme frei.

Das zentrale Bauteil in einer Brennstoffzelle ist die sogenannte Bipolarplatte (siehe Abbildung rechts oben), an ihr findet die elektrochemische Reaktion statt. Diese Platte muss mit ihrer Kanalgeometrie (die feinen Rillen in der Abbildung) so gestaltet sein, dass sich Sauerstoff und Wasserstoff gleichmässig verteilen, die Reaktionswärme effizient abgeführt und das Reaktionswasser zuverlässig abtransportiert werden kann. Die Platte muss zudem passgenau produziert werden, um die Gasdichtigkeit innerhalb der Zellen zu gewährleisten.

Um diese Präzision zu erreichen, werden Bipolarplatten konventionell aus dem Werkstoff Grafit gegossen. Dieses Verfahren ist jedoch sehr aufwendig und teuer – Grafit-Bipolarplatten verursachen bis zu 40 Prozent der Produktionskosten einer Brennstoffzelle und sind zudem sehr schwer, was sich wiederum negativ auf die Leistung auswirkt.

Die Firma Feintool hat deshalb ein Verfahren entwickelt, mit dem sich Bipolarplatten in einem einzigen



Die experimentell erzeugte dreidimensionale Synchrotron-Computertomografie der Bipolarplatte wurde mit den theoretischen Bauplänen verglichen. Dadurch konnte ein direkter Soll-Ist-Vergleich erstellt werden, der die Abweichungen (blau und rot) direkt sichtbar macht.

Produktionsschritt aus dünnsten Edelstahlblechen fertigen lassen. Nebst einer schnelleren und kostengünstigeren Produktionsweise führt die Verwendung von Edelstahl auch zu einem geringeren Gesamtgewicht und einem reduzierten Volumen im Vergleich zu herkömmlichen Graphit-Platten. Das Umformen und Ausschneiden einer solchen Platte erfordert jedoch höchste Präzision, denn das verwendete Blech ist mit 0,075 Millimeter hauchdünn – die Blechpresse muss sehr «feinfühlig» arbeiten.

Statt zeitaufwendig immer wieder das perfekte Zusammenspiel von Presse und Werkzeugen zu erproben, wandte sich die Firma Feintool an ANAXAM. «Wir konnten die gefertigten Bipolarplatten mittels hochauflösender Synchrotron-Computertomografie untersuchen und somit ihre dreidimensionale Struktur charakterisieren. Dadurch konnten wir genau aufzeigen, wo die Kanalgeometrie Abweichungen aufweist und wo der Produktionsprozess weiter optimiert werden muss», so Cynthia Chang über die erfolgreiche Zusammenarbeit mit Feintool.

Bei ANAXAM sind alle willkommen

Doch nicht nur Hightech-Materialien wie Bipolarplatten finden dank ANAXAM ihren Weg ans PSI. Auch Alltagsgegenstände werden durchleuchtet und so kann es durchaus vorkommen, dass der CEO und die Projektmanagerin auch mal über den Aufbau einer Konservendose philosophieren.

Deren wichtigste Eigenschaft besteht darin, dass sie dicht ist. Das deutsche Unternehmen Henkel Adhesive Technologies setzt hierfür einen speziellen Dosedichtstoff ein, der zwischen dem Dosenrand

und dem Deckel aufgetragen wird, bevor diese zwei Komponenten zusammengefasst werden. «Für dieses Projekt verwendeten wir eine hochauflösende Neutronen-Computertomografie. Dadurch konnten wir die Verteilung des Dichtstoffes im Dosenfalz zerstörungsfrei und dreidimensional analysieren – dies hilft dem Unternehmen, potenzielle Anwendungsfehler zu verstehen, um so die Lebensdauer der Verpackung zu verlängern», erklärt Grünzweig.

«Es spielt keine Rolle, ob ein Kunde mit einem Alltagsgegenstand oder einem Hightech-Produkt zu uns kommt» erklärt der ANAXAM-Chef. «Denn: Was sich messen lässt, lässt sich auch verbessern. Deshalb kann ein weltweit agierender Konzern oder das kleinste KMU von unseren Methoden profitieren und dank modernster Materialanalytik seine Produkte oder Prozesse weiter optimieren.»

Auch die italienische Nationale Agentur für neue Technologien, Energie und nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung (ENEA), welche die Wandmaterialien für den Tokamak von ITER in Cadarache mitentwickelt, konnte von dieser Expertise profitieren und dadurch mikrostrukturelle Veränderungen in ihren Werkstoffen charakterisieren, welche durch die rauen Bedingungen im Plasma hervorgerufen werden. ANAXAM wandte für dieses Projekt eine Vielzahl der einzigartigen Neutronen-Analytikmethoden an. Auch die durch das Plasma erzeugte Strahlenbelastung der Wandmaterialien konnte mittels Neutronenstrahlung am PSI nachgeahmt werden. Damit leistete ANAXAM einen wichtigen Beitrag für eines der vielen Puzzleteile, die den Weg zum funktionierenden Fusionsreaktor und damit zu einer möglichen Energiequelle der Zukunft ebnet. ♦

Aktuelles aus der PSI-Forschung

1 Europakarte der Aerosolver Verschmutzung

Ein internationales Team unter Federführung des PSI hat Messdaten zur Luftverschmutzung ausgewertet, die an 22 Standorten sowohl in Städten als auch in ländlichen Gebieten in ganz Europa erhoben wurden. Dabei konzentrierten sie sich auf die Verschmutzung durch sogenannte Aerosole. Diese auch als Feinstaub bezeichneten Verunreinigungen können gesundheitsschädlich sein, unter anderem weil diese Schwebeteilchen tief in die Lunge eindringen. Die Zusammensetzung des Feinstaubes variierte zwar von Ort zu Ort, dennoch machten die Forschenden durchweg eine Hauptquelle der Aerosolver Verschmutzung aus: das Heizen von Wohngebäuden mit festen Brennmaterialien wie Holz oder Kohle. Die so gewonnenen Daten sollen dabei helfen, Modelle zur Luftqualität zu verbessern.

Weitere Informationen:
<http://psi.ch/de/node/51953>

Aus **14** europäischen Ländern stammen die Daten einer neuen Studie zur Aerosolver Verschmutzung.

Kleiner als **1** Mikrometer sind die Partikel der sogenannten organischen Aerosole, die untersucht wurden.



2 Zu Besuch bei Forschenden

Das PSI sucht nach nachhaltigen Lösungen für zentrale Fragen aus Gesellschaft, Wirtschaft und Wissenschaft. Die neugestaltete und kürzlich wiedereröffnete Ausstellung im Besucherzentrum des PSI gibt einen Einblick in die aktuelle Forschung. Wie stellen wir künftig unsere Energieversorgung auf ressourcenschonende Weise sicher? Was hält die Medizin der Zukunft für uns bereit? Welche neuen Technologien bringen unsere Gesellschaft weiter voran? Dreizehn interaktive Themeninseln laden dazu ein, das PSI und seine breit gefächerte Forschung zu entdecken. Fragen zur Speicherung erneuerbarer Energien stehen dabei ebenso im Mittelpunkt wie die Weiterentwicklung der medizinischen Diagnostik und Therapie, die Suche nach neuen Materialien für die Entwicklung neuartiger Elektronik oder die Realisierung von Zukunftstechnologien wie Quantencomputern.

Weitere Informationen:
<http://psi.ch/de/node/51489>

3 Wirkstoffe gegen Krebs finden

Wirkstoffe, die am Zellskelett ansetzen, gehören zu den wirksamsten Medikamenten gegen Krebs. Forschende des PSI und des Istituto Italiano di Tecnologia IIT haben nun eine besonders potente Substanz entwickelt, die ein Protein im Zellskelett lahmlegt und dadurch zum Zelltod führt. Für ihre Arbeit kombinierten sie mithilfe von Rechnern die Strukturen dreier Molekülfragmente, die bevorzugt an einer bestimmten Stelle des Zellskeletts andocken. Die quasi am Reißbrett entwickelte chemische Verbindung synthetisierten die Forschenden anschliessend im Labor. Die Hoffnung dabei: Die Wirkung der so erzeugten Verbindung sollte höher sein als diejenige bekannter Wirkstoffe. Mittels Messungen an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS überprüften die Forschenden, wie das Molekül in der Realität an die Bindungsstelle andockte. In zwei weiteren Zyklen verbesserten sie die Substanz. Mit der Totalam getauften Verbindung waren sie dann zufrieden: In Zellkulturen konnten sie dessen tödliche Wirkung bereits nachweisen.

Weitere Informationen:
<http://psi.ch/de/node/51112>

4 Blick in die magnetische Zukunft

Forschende am PSI haben zum ersten Mal beobachtet, wie sich winzige Magnete in einer speziellen Anordnung nur aufgrund von Temperaturänderungen ausrichten. Der Einblick in die Vorgänge innerhalb von sogenanntem künstlichem Spin-Eis könnte eine wichtige Rolle spielen bei der Entwicklung neuartiger Hochleistungsrechner. Gefriert Wasser zu Eis, ordnen sich die Wassermoleküle mit ihren Wasserstoff- und Sauerstoffatomen in einer komplexen Struktur an. Im Labor lassen sich Kristalle herstellen, bei denen die elementaren magnetischen Momente, die sogenannten Spins, mit Eis vergleichbare Strukturen bilden. Deshalb bezeichnen Forschende diese Strukturen auch als Spin-Eis. Nun gelang es den Forschenden, künstliches Spin-Eis zu erzeugen, das im Wesentlichen aus Nanomagneten besteht, die so klein sind, dass sich ihre Ausrichtung einzig aufgrund der Temperatur ändern kann. Die Kontrolle dieser verschiedenen magnetischen Phasen könnte für neue Arten der Datenverarbeitung interessant sein. Am PSI wird untersucht, wie die Komplexität von künstlichem Spin-Eis für neuartige Hochgeschwindigkeitsrechner mit geringem Stromverbrauch genutzt werden könnte.

Weitere Informationen:
<http://psi.ch/de/node/50890>

Musik am PSI

GALERIE

Geräusche, die von technischen Geräten und wissenschaftlichen Forschungsprozessen herrühren, sind am PSI an der Tagesordnung. Einen winzigen Ausschnitt aus dem Klangteppich des PSI haben wir Ihnen bereits in der Ausgabe 1/2022 vorgestellt. Doch hin und wieder ertönen am Institut beiderseits der Aare auch ganz andere Klänge, denn zahlreiche unserer Forschenden machen Musik. Wir zeigen hier einige von ihnen.

Text: Christian Heid

The Band

Als Robert Sobota (Schlagzeug), Ludmila Leroy (Bass und Gesang) und Peter Alpert (Gitarre) loslegen, verbreitet sich von der Schwelle des PSI-Forschungsgebäudes aus ein kräftiger, grooviger Sound. Mit ihren je eigenen Vorlieben haben sie sich zusammengefunden: der Gitarrist, Gründer der *PSIchedelics*, steht auf Grunge; die Sängerin liebt besonders die Songs von Freddie Mercury, dem schon lange verstorbenen Sänger der Gruppe Queen; der Schlagzeuger hat ein Faible für Progressive und Art-Rock. Auch ihre Forschungsinteressen sind unterschiedlich. Ludmila Leroy betreibt am Schweizer Freie-Elektronen-Röntgenlaser SwissFEL und an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS Festkörperphysik. Peter Alpert beschäftigt sich an der SLS mit Luftpartikeln. Und Robert Sobota ist fokussiert auf Supraleiter der nächsten Generation. Wer sie schon einmal gehört hat, weiss: Auf musikalischer Ebene harmonieren sie perfekt miteinander!





Bouzouki

Ioannis Samaropoulos hat schon mit fünf Jahren begonnen, ein Musikinstrument zu lernen. Zuerst Geige, dann auch Gitarre, bevor er sich mit elf Jahren für die Bouzouki, ein klassisches griechisches Saiteninstrument, entschied. Ausgangspunkt war der Rembetiko, ein Musikstil, in dem zu Beginn des 20. Jahrhunderts griechische Volksmusik und osmanische Musiktradition zusammenfliessen und dessen Themen häufig von Heimweh und Sehnsucht geprägt sind. Mit Bouzoukspielen und Singen finanzierte Ioannis Samaropoulos zum Teil sein Studium. Am PSI arbeitet er nun als Spezialist für Störfallanalyse im Bereich Strahlenschutz und Sicherheit.





Bratsche

Ursprünglich hat Lily Bossin in ihrer Freizeit am Musikkonservatorium klassische Gitarre studiert, sich dann aber – auf der Suche nach einem «sozialeren» Instrument – für die Bratsche und deren vollen, weichen und etwas melancholischen Klang entschieden. Sie liebt vor allem Musikstücke aus dem Barock wie zum Beispiel diejenigen des deutschen Komponisten Georg Philipp Telemann aus dem 18. Jahrhundert. Am PSI arbeitet Lily Bossin im Bereich Strahlenschutz und forscht zu neuen Lösungswegen sowie zu neuen Materialien, um die Strahlendosis von ionisierender Strahlung zu messen.

Oboe

Die Oboe hat einen ausdrucksstarken Klang, der von nasal-hell bis dunkel-samtig reicht und der manchmal mit dem von Enten identifiziert wird, so wie er im sinfonischen Musikmärchen *Peter und der Wolf* zu hören ist. Margaux Schmelz verbringt wie alle, die einer Oboe wohlklingende Töne entlocken wollen, viel Zeit mit der Bearbeitung des Mundstücks, einem Doppelrohrblatt, das einem zusammengedrückten Strohalm ähnelt. Zu ihren Lieblingsstücken zählt sie Kompositionen aus dem Barock von Tomaso Albinoni und moderne Sonaten von Francis Poulenc. Am PSI beschäftigt sie sich mit der dynamischen Abbildung bewegter Systeme, insbesondere mit dem menschlichen Gehör, um Erkenntnisse über deren biomechanischen Eigenschaften zu gewinnen.





Alphorn

Die Töne, die Micha Dehler mithilfe der Artikulationstechniken Growl, Bend und Shake dem Alphorn entlockt, übertönen für Momente die scheinbar ewigwährende, technische Geräuschkulisse im Inneren der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS. Eigentlich im Jazz beheimatet und dort mit Trompete und Querflöte unterwegs ist er auch ein grosser Fan des Stücks *Sura Kees*, einem Funk für Alphorn und Big Band des Aargauer Komponisten Urs Erdin. Am PSI arbeitet er am Update der SLS mit, das bis 2025 umgesetzt sein soll, und konzentriert sich dabei auf Berechnungen zur Vermeidung von Strahlinstabilitäten.



Das Beste aus zwei Welten

Annalisa Maneras Karriere hat sie durch halb Europa und in die USA geführt. Nun ist sie Nuklearforscherin am PSI und Professorin an der ETH Zürich. Sie verströmt Begeisterung für ihr Fachgebiet und vergisst nie das grosse Ganze.

Text: Laura Hennemann

Wer meint, in der Energiedebatte würden immer nur dieselben Argumente gewälzt, hat noch nicht mit Annalisa Manera gesprochen. «Es gibt keine Energiequelle, die keinen Abfall verursacht. Und keine, deren Risiko absolut null beträgt», sagt die Forscherin.

Manera, Ende 40, halbkurze braune Locken, ist Wissenschaftlerin am PSI. Hier leitet sie seit gut einem Jahr im Forschungsbereich Nukleare Energie und Sicherheit eine Gruppe, die sich mit Flüssigkeitsdynamik und Wärmetransport beschäftigt. Zudem ist sie Professorin für Nukleare Systeme und Mehrphasenströmungen an der ETH Zürich. Kurz gesagt: Sie kennt sich mit Kernenergie aus.

Aber wer erwartet, dass für sie die Kernkraft über allem anderen steht, liegt wieder falsch. «Wir sollten so viele Sonnenkollektoren wie möglich auf den Dächern unserer Häuser anbringen! Die Photovoltaik ist perfekt, um den Grossteil unseres persönlichen Bedarfs zu decken», sagt sie. Sie spricht schwungvoll und klar, ein perfektes amerikanisches Englisch mit der Spur eines italienischen Akzents; Manera ist in Süditalien geboren.

Was schnell klar wird: Wenn man die üblichen Standpunkte verlässt, wird es vielschichtig. Und gerade dann blitzen Maneras Augen fröhlich auf – hier ist sie in ihrem Element. Die Komplexität geht sie mit scharfem Verstand und pragmatisch an.

Das zeigt sich schon in der Wahl ihres Studienfachs: «Ich war verliebt in die Physik und die Mathematik. Ich wollte einfach alles verstehen und erklären können. Aber die Berufsaussichten in der Physik waren damals, in den 1990ern in Italien, nicht so gut.» Also schrieb sie sich an der Universität von Pisa für Ingenieurwissenschaften ein. «Hier konnte mir die Kerntechnik am meisten Physik und

Mathematik bieten, und ich konnte trotzdem einen Master-Abschluss als Ingenieurin erlangen.»

Noch mal das Land wechseln

Für ihre Masterarbeit ging sie 1998 ins Ausland, an die Technische Universität Delft in den Niederlanden. Und offenbar machte sie ihre Sache in der akademischen Welt gut: Man bot ihr direkt im Anschluss eine Promotionsstelle an, die sie annahm, und wiederum danach eine Assistenzprofessur, die sie jedoch ablehnte. «Ich wollte noch ein anderes wissenschaftliches Umfeld erleben und meinen Horizont erweitern.» Sie ging für zwei Jahre nach Deutschland und arbeitete als Wissenschaftlerin am Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf.

Ihre nächste berufliche Station führte sie im Jahr 2006 zum ersten Mal in die Schweiz. Sie war neugierig, ob eine Arbeit in der Industrie etwas für sie sei, und startete bei einem Beratungsunternehmen in Dättwil, Aargau. Eines ihrer Projekte bestand darin, die verschiedenen auf dem Markt befindlichen Reaktortypen zu bewerten, um Empfehlungen für interessierte Länder zu erarbeiten. «Aber in den ersten drei Monaten habe ich gemerkt, dass mich diese Arbeit unterfordert», erzählt sie so sachlich, als würde das nichts über ihren Ehrgeiz aussagen.

Sie blieb im Aargau, ging jedoch zurück in die Forschung: ans PSI. Dort legte Manera wieder eine steile Karriere hin und wurde schon nach sechs Monaten Leiterin der Forschungsgruppe für Verhalten nuklearer Systeme. In dieser Position blieb sie fünf Jahre.

Ihre nächste Stelle war dann bereits eine Professur, allerdings wieder im Ausland, an der University of Michigan in den USA. «Michigan ist in den

USA die Nummer eins für Forschung im Nuklearingenieurwesen», sagt Manera. «Und ich mochte die Atmosphäre dort.»

In Michigan blieb sie zehn Jahre. Ihr Kind kam dort zur Welt; heute ist Manera alleinerziehende Mutter eines zehnjährigen Sohnes.

Seit Sommer 2021 ist Manera zurück in der Schweiz, in doppeltem Status an ETH Zürich und PSI. Und sie sagt, sie sei nun in der Schweiz angekommen. «Ich lebe jetzt mit meinem Sohn in einem kleinen Ort in der Nähe von Baden.» Das sei für sie ideal gelegen zwischen der ETH Zürich und dem PSI. Ein guter Ausgangspunkt für Ausflüge sei es auch. «Wir unternehmen oft etwas an den Wochenenden, gehen mit anderen Familien wandern oder ins Museum.»

Es scheint zudem, als sei ein Aspekt von Maneras Arbeit zu einer Art Hobby geworden: Die Forscherin ist in den Medien gefragt als Expertin zur Energiesicherheit in Zeiten des Klimawandels. «Ich bekomme viele Interviewanfragen. Und ich versuche, sie möglichst nie abzulehnen.»

Dabei motiviert sie vor allem, oft wiederholten Narrativen etwas entgegenzusetzen: «Ich sehe öfters irreführende Aussagen in den Medien.» Diese möchte sie dann richtigstellen. So erklärt sie beispielsweise, dass weder ein Unfall wie in Tschernobyl noch einer wie in Fukushima sich in der Schweiz wiederholen könnten: «Tschernobyl war ein ganz anderer Reaktor, diese Art Unfall ist in der Schweiz aufgrund physikalischer Gesetze komplett ausgeschlossen.» Auch ein Fall wie in Fukushima werde durch die kontinuierlichen Verbesserungen hiesiger Reaktoren verhindert. Noch etwas ist Manera wichtig: «Ich versuche in meinen Interviews, technische Konzepte in eine Sprache zu übersetzen, die für die Allgemeinheit leichter verständlich ist.» Und sie fügt hinzu: «Ich will einfach nicht, dass Entscheidungen aufgrund von Fehlinformationen gefällt werden.»

Ein Tisch voll Elektronik

Auch in Zeiten des Ausstiegs aus der Kernenergie ist Manera überzeugt, dass die Forschung in diesem Bereich fortgeführt werden muss. «Fachwissen zu nuklearen Themen werden wir in der Schweiz auch für den Rückbau der Anlagen noch über Jahrzehnte brauchen. Und solange andere Länder weiterhin Kernenergie haben, sollten wir den zukünftigen Wissenszuwachs nicht alleine ihnen überlassen.»

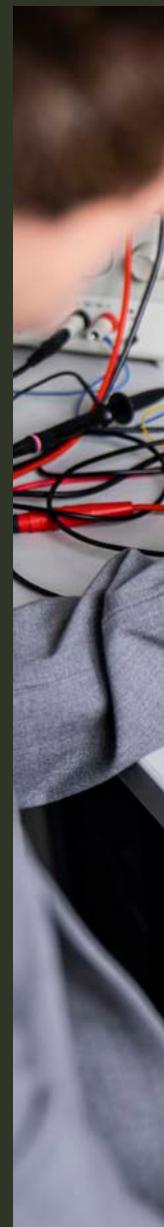
Angekommen ist sie auch, weil ihr die hiesige Forschungslandschaft gefällt. In den USA gibt es keine Grundfinanzierung der Wissenschaft, alles muss über Drittmittel eingeworben werden. Diese wiederum liessen sich vor allem durch Kooperationen mit anderen Forschenden erreichen; Manera

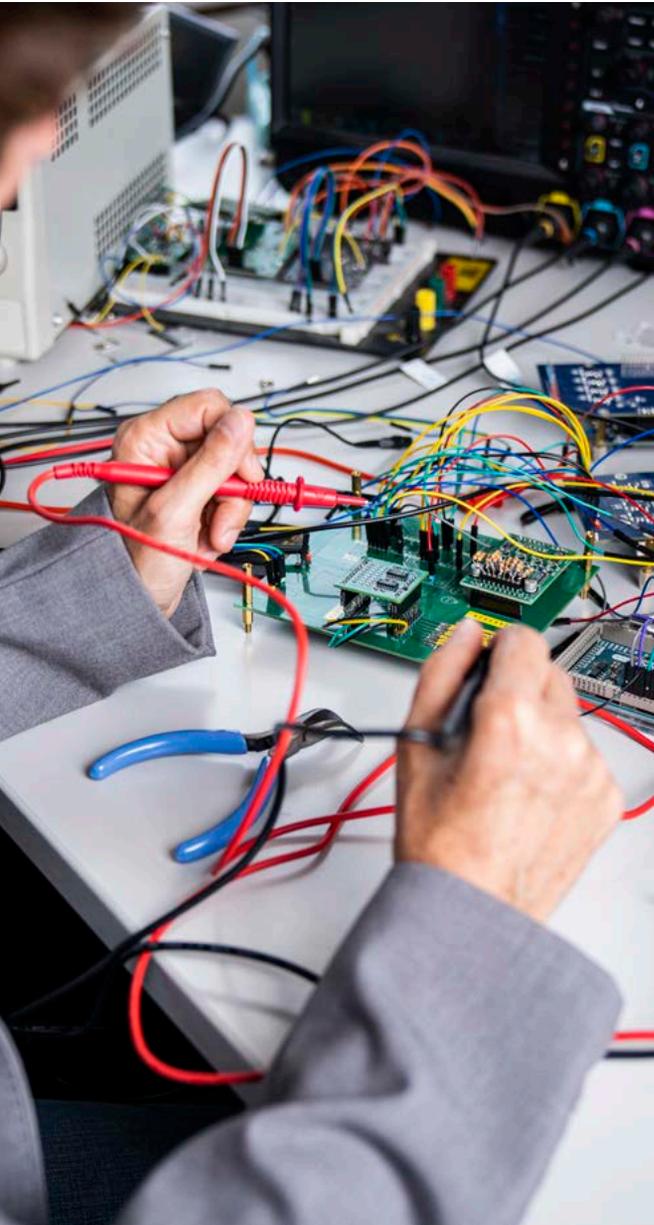
baute sich also ein eigenes Netzwerk auf. «Und jetzt habe ich das Beste aus beiden Welten», sagt sie. «Ich profitiere von meinen vielen Kontakten. Und dadurch, dass ich mich hier in der Schweiz nun auf eine stabile Finanzierung meines Labors verlassen kann, habe ich mehr Zeit für die eigentliche Forschung.» Die Stimmung am PSI empfindet sie als eine gute Mischung aus Anspruch und konstruktiver Freiheit: «Wenn es nötig ist, kann ich hier auch mal innehalten und tiefgründig nachdenken.»

Eines der Themen, an denen sie und ihre Gruppe derzeit arbeiten, ist passive Kühlung. Wie also ein Reaktor betrieben werden könnte, dessen Kühlflüssigkeit alleine aufgrund physikalischer Prinzipien umgewälzt würde. «Wenn man eine Pumpe hat, ist das Verhalten der Flüssigkeit ziemlich vorhersehbar. Um dagegen das passive Strömungsverhalten zu simulieren und zu verstehen, braucht man viel komplexere Computermodelle.» Parallel zu diesen theoretischen Berechnungen führt ihre Forschungsgruppe an der ETH Zürich Experimente durch, die das Strömungsverhalten in kleinerem Massstab nachstellen. Die Arbeit an den beiden Instituten scheint Hand in Hand zu gehen: Am PSI zeigt Manera auf einen Bürotisch, der von etlichen bunten Elektronikbauteilen belegt ist. «Wir entwerfen und bauen unsere eigenen ultrahochoauflösenden Messgeräte für die Experimente.»

Manera muss los, zwei Gebäude weiter auf dem PSI-Campus hat sie gleich ein Meeting mit Vertretenden der Europäischen Weltraumorganisation ESA. «Eine Marsmission wird ohne Nuklearenergie nicht machbar sein», sagt sie im Gehen.

Man würde ihr gerne weiter zuhören, sich von ihrer Begeisterung für die angewandte Physik anstecken lassen. Manera hat so viele Zahlen und Zusammenhänge parat und doziert doch niemals von oben herab. Aber ihre beiden Kalender – der vom PSI und der an der ETH Zürich – sind voll. Sie winkt zum Abschied und verschwindet in ihrem nächsten Meeting. ♦





«Ich wollte noch ein anderes wissenschaftliches Umfeld erleben und meinen Horizont erweitern.»

Annalisa Manera, Forschungsgruppenleiterin für Thermofluid-Experimente und Modellierung, PSI, und Professorin für Nukleare Systeme und Mehrphasenströmungen, ETH Zürich

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 unge-rechtfertigt, finden wir, bei einem Insti-tut, 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 Bun-des 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 Eidgenossen-schaft haben wir den Auftrag erhalten, komplexe Grossforschungsanlagen zu entwickeln, zu bauen und zu betreiben. Unsere Anlagen sind in der Schweiz ein-zigartig, manche Geräte gibt es auch weltweit nur am PSI.

Zahlreiche Forschende, die auf den un-terschiedlichsten Fachgebieten arbeiten, können durch Experimente an solchen Grossforschungsanlagen wesentliche Erkenntnisse für ihre Arbeit gewinnen. Gleichzeitig sind Bau und Betrieb derar-tiger Anlagen mit einem so grossen Auf-wand verbunden, dass Forschergruppen an den Hochschulen und in der Industrie an der eigenen Einrichtung solche Mess-geräte nicht vorfinden werden. Deshalb stehen unsere Anlagen allen Forschenden offen.

Um Messzeit für Experimente zu er-halten, 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 wissenschaft-liche Qualität hin und empfehlen dem PSI, wer tatsächlich Messzeit bekom-men soll. Denn obwohl es rund 40 Mess-plätze gibt, an denen gleichzeitig Ex-perimente durchgeführt werden können, reicht die Zeit nie für alle eingegan-genen 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 ihre

5

schweizweit einzigartige
Grossforschungsanlagen

800

Fachartikel jährlich, die auf
Experimenten an den
Grossforschungsanlagen beruhen

5000

Besuche jährlich von Wissen-schaftlern aus der ganzen Welt, die an diesen Grossforschungs-anlagen Experimente durchführen

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.

Drei 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 drei Schwerpunkte. Im Schwerpunkt Materie und Material untersuchen wir den inneren Aufbau verschiedener Stoffe. Die Ergebnisse helfen, Vorgänge in der Natur besser zu verstehen und liefern die Grundlagen für neue Materialien in technischen und medizinischen Anwendungen.

Ziel der Arbeiten im Schwerpunkt Energie und Umwelt ist die Entwicklung neuer Technologien für eine nachhaltige

und sichere Energieversorgung sowie für eine saubere Umwelt.

Im Schwerpunkt Mensch und Gesundheit suchen Forschende nach den Ursachen von Krankheiten und nach möglichen Behandlungsmethoden. Im Rahmen der Grundlagenforschung klären sie allgemein Vorgänge in lebenden Organismen auf. Zudem betreiben wir in der Schweiz die einzige Anlage zur Behandlung von spezifischen Krebserkrankungen mit Protonen. Dieses besondere Verfahren macht es möglich, Tumore gezielt zu zerstören und dabei das umliegende Gewebe weitgehend unbeschädigt zu lassen.

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 dreimal jährlich.
Ausgabe 3/2022 (September 2022)
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, Dr. Laura Hennemann,
Sebastian Jutzi (Ltg.), Benjamin A. Senn,
Dr. Mirjam van Daalen

Design und Art Direction
Studio HübnerBraun

Fotos
Scanderbeg Sauer Photography,
ausser:
Seiten 10, 21, 34–37:
Paul Scherrer Institut/
Mahir Dzambegovic;
Seite: 29: ANAXAM/Feintool;
Seite 38: Paul Scherrer Institut/
Markus Fischer.

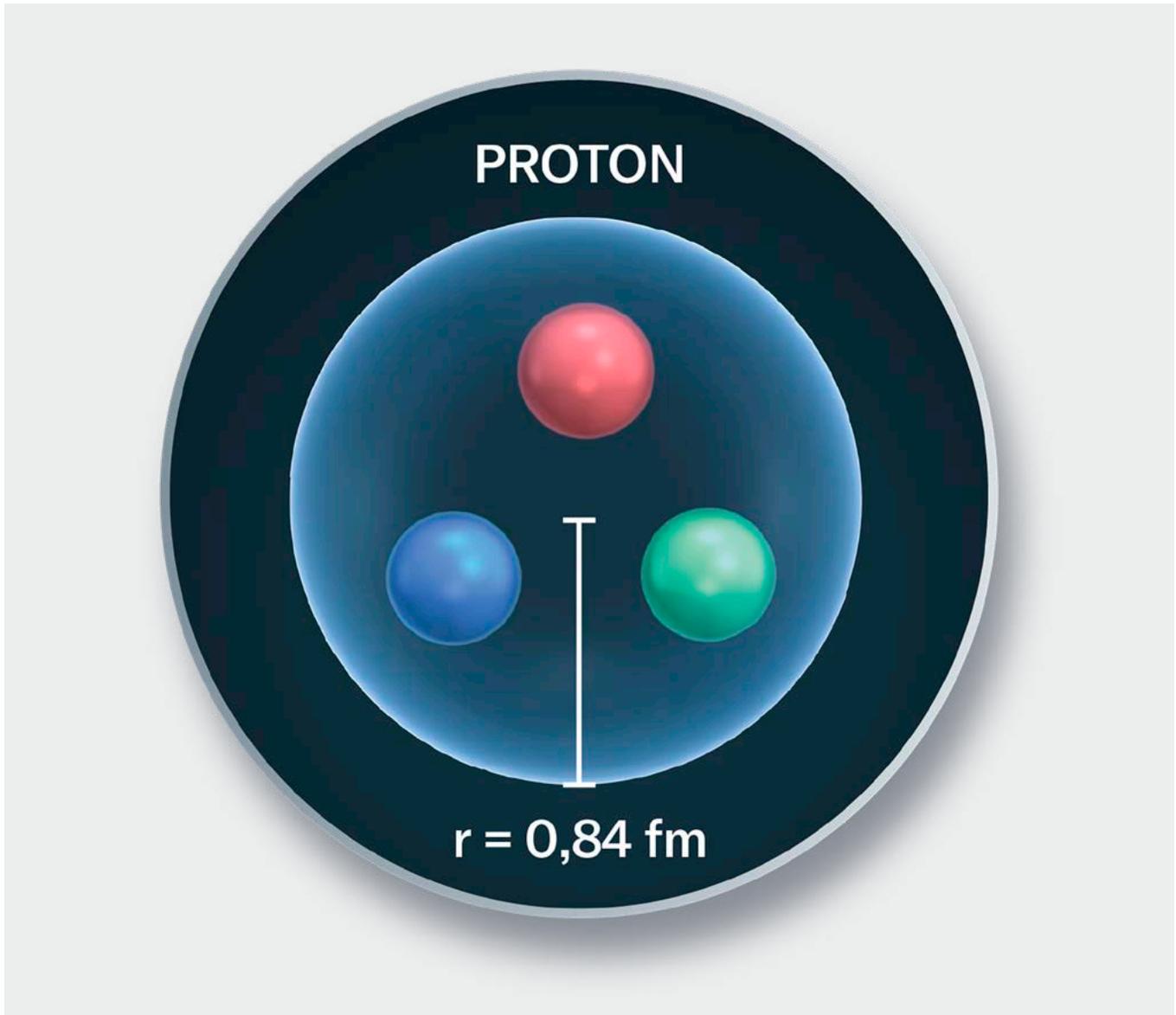
Illustrationen und Grafiken
Studio HübnerBraun,
ausser:
Seiten 6/7: Daniela Leitner;
Seite 41: illuteam.

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

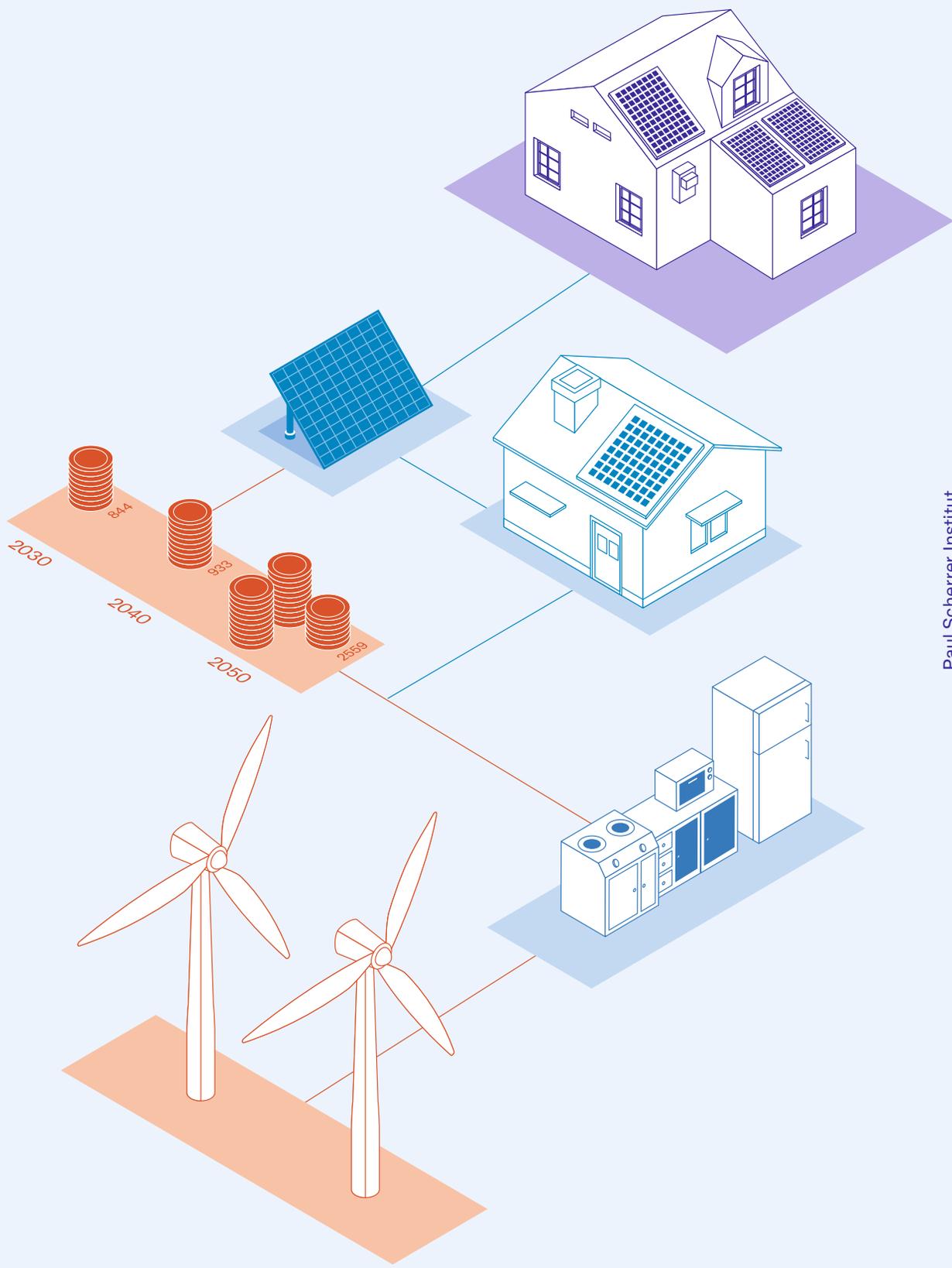
5232 ist auch auf Englisch und Französisch erhältlich
www.psi.ch/fr/5232
www.psi.ch/en/5232

PAUL SCHERRER INSTITUT

Das erwartet Sie in der nächsten Ausgabe

Forschende am Paul Scherrer Institut suchen nach Antworten auf zentrale Fragen nach Grundstrukturen der Materie und fundamentalen Funktionsprinzipien der Natur. Dazu untersuchen sie Aufbau und Eigenschaften von Atomen und Elementarteilchen. Sie dringen dabei an die Grenzen des Wissens vor und begeben sich auf die Suche nach den letzten Rätseln der Natur. Mit den Grossforschungsanlagen des PSI vermessen sie beispielsweise den Durchmesser von Teilchen wie dem Proton oder dem Heliumkern so exakt wie nie zuvor oder suchen nach Phänomenen, die noch nie gemessen wurden, zum Beispiel dem elektrischen Dipolmoment des Neutrons oder einem bestimmten Zerfall eines Myons. Die Ergebnisse dieser Forschung könnten sogar die Grundlagen der Physik, wie wir sie heute kennen, verändern.



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