

# E&

ENERGIE & FIKTION  
EINE PUBLIKATION DER NATIONALEN FORSCHUNGSPROGRAMME 70 UND 71

6

INTERVIEW

«RÄUME  
SCHAFFEN, DAMIT  
MENSCHEN  
KREATIV  
WERDEN.»



10

VERGANGENHEIT

ZURÜCK  
IN DIE ZUKUNFT

17

GEGENWART

ZEIT DES  
WANDELS

20

ZUKUNFT

FIKTIONEN  
MIT SCHOCK-  
WIRKUNG



# LIEBE LESERIN, LIEBER LESER

Energie und Fiktion – ein ungewöhnlicher Titel für ein Wissenschaftsmagazin, das sich nicht mit Fantasien, sondern mit dem Konkreten, Handfesten und Realen befasst. Doch die Erfahrung lehrt uns, dass vieles, was heute konkret, handfest und real ist, einmal als Fiktion begonnen hat, dass es oftmals fantastische Ideen waren, die zu grossen Veränderungen geführt haben.

Auch heute befinden wir uns inmitten eines solchen Veränderungsprozesses. Wer hätte noch vor wenigen Jahren gedacht, dass wir uns ernsthaft zum Ziel setzen würden, unseren Energieverbrauch massiv zu senken, obwohl wir immer mehr Wohlstand und Komfort wollen? Oder dass wir anstreben, einen möglichst grossen Teil dieses Energiebedarfs mit erneuerbarer Energie aus Wasser, Wind, Sonne, Erdwärme und Biomasse zu decken? Zu diesen Zielen haben die Stimmbürgerinnen und Stimmbürger Ja gesagt – weil sie diesen Weg als sinnvoll und realistisch erachteten.

Aber noch glauben manche, dass dies eine teure Fiktion bleiben wird. Damit am Ende nicht die Skeptiker recht haben, müssen wir unser Energiesystem – Kraftwerke, Netze, Speicher und vieles mehr – mit einem guten Plan und neuen Ideen fit für die Zukunft machen.

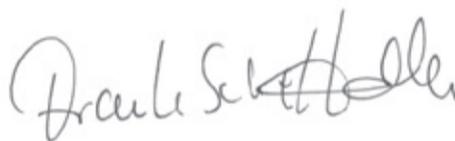
Neue Technologien ziehen uns Menschen seit jeher in ihren Bann. «Jede hinreichend fortschrittliche Technologie ist von Magie nicht zu unterscheiden», umschrieb Sir Arthur Charles Clarke, einer der bedeutendsten Science-Fiction-Autoren, diese Faszination. Wie schnell aber auch die fortschrittlichste Technologie ihre Magie verlieren kann, wenn ihr die Energie ausgeht, zeigte sich an der International Consumer

Electronics Show in Las Vegas: Nichts blinkte mehr, Roboter standen still und die künstliche Intelligenz verstummte, weil heftiger Regen einen Stromausfall verursachte.

Auch darf bei aller Faszination oder gar Magie nicht vergessen werden, dass Technik weder Naturgesetze überwinden kann noch Selbstzweck ist, sondern den Menschen – heute und in Zukunft – in ihrer natürlichen Lebenswelt dienen soll. Dafür braucht es Ideen, Fiktionen und Visionen – und dafür braucht es die Wissenschaft und die Forschung. Denn noch wissen wir längst nicht alles über die Technologien, die unser Energiesystem zuverlässig und bezahlbar machen.

Doch mindestens so wichtig wie die Entwicklung neuer technischer Lösungen ist es, uns selbst, unser Bewusstsein für Energie und unseren Umgang mit Energie, auf diese Energiezukunft vorzubereiten. Auch daran forschen wir.

In dieser Ausgabe unseres Magazins «Energie &» werden Sie viel über die Ideen unserer Vorfahren, die Herausforderungen und Lösungen unserer Zeit und die Visionen für nächste Generationen erfahren. Lassen also auch Sie Ihrer Fantasie freien Lauf!



Prof. Dr. Frank Scheffold  
Departement für Physik der Universität Freiburg  
und Delegierter des Nationalen Forschungsrates für das NFP 70

## IMPRESSUM

Herausgeber:  
Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung  
der wissenschaftlichen Forschung SNF  
Wildhainweg 3, Postfach 8232, CH-3001 Bern  
T +41 (0)31 308 22 22  
www.snf.ch

Produktion:  
Nationale Forschungsprogramme NFP 70 und NFP 71  
nfp70@snf.ch / www.nfp70.ch  
nfp71@snf.ch / www.nfp71.ch

Redaktion:  
Andreas Balthasar, Stefan Husi, Andrea Leu,  
Daniel Meierhans, Geneviève Ruiz, Hans-Rudolf Schalcher,  
Brigitte Ulmer, Oliver Wimmer

Gestaltung:  
CRK – Kommunikation, Kreation & Kino

Bilder:  
Magdiel Lopez | S. 1  
Lucian Hunziker | S. 4, S. 10, S. 11, S. 12, S. 13  
CRK | S. 7, S. 16, S. 18, S. 21

Druck:  
Ilg Druck und Medien, 3752 Wimmis  
Das Magazin wurde klimaneutral produziert.

Bestellmöglichkeit:  
Das Magazin «Energie &» kann unter  
www.energie-und.ch kostenfrei bestellt werden  
und steht dort zum Download bereit.

© Mai 2018, Schweizerischer Nationalfonds, Bern

 SCHWEIZERISCHER NATIONALFONDS  
ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTLICHEN FORSCHUNG

 **Energiewende**  
Nationales Forschungsprogramm

 **Steuerung des Energieverbrauchs**  
Nationales Forschungsprogramm

 myclimate  
neutral  
Drucksache 01-14-213652  
myclimate.org

# INHALT

5

REFLEXIONEN

VON FANTASIE ZU  
ENERGIE: EINE  
RAHMENERZÄHLUNG



6

INTERVIEW

«RÄUME SCHAFFEN,  
DAMIT MENSCHEN  
KREATIV WERDEN.»

10

VERGANGENHEIT

ZURÜCK IN  
DIE ZUKUNFT



14

NEXT GENERATION



20

ZUKUNFT

FIKTIONEN  
MIT SCHOCKWIRKUNG

«WIR STEHEN AM  
ANFANG EINES  
LICHT-ZEITALTERS.»

TOUR DE SUISSE

17

GEGENWART

ZEIT  
DES WANDELS

EINE MILLION  
JAHRE





Das erste Kino der Welt hat ein geschätztes Alter von 17 000 Jahren: die Höhle von Lascaux im Südwesten Frankreichs. Im flackernden Licht werden dort Szenen aus Verfolgungsjagden gezeigt, schon damals in Farbe. Die steinerne «Leinwand» ist sogar gewölbt, beinahe 3-D. IMAX also. Aber Unterhaltung war vielleicht nicht zuoberst auf dem Programm. Anthropologen meinen, solche Szenen hätten der Jagdvorbereitung gedient. Man liess sich in die Jagd hineinversetzen, und Adrenalin pumpte durch den Körper, obwohl man in Sicherheit war. Warum? Die Kraft einer gut erzählten Geschichte besteht darin, dass unser Unterbewusstsein nicht genau zwischen dem Realen und dem Imaginären unterscheidet. Für mich ist klar: Kino war das. Vielleicht sogar mit Popcorn.

Was haben Energie und Fantasie miteinander zu tun? Wenig auf den ersten Blick, viel auf den zweiten. Wurden die besten unter den alten Geschichten nicht am gemeinsamen Feuer erzählt, der wohl archaischsten Form von Energie? Und aus dem Feuer stammen die oxidierten Steine, mit denen unsere Vorfahren an die Felswände malten – ihre Geschichten fixierten. Die Fiktion ist so alt wie das Feuer.

Rücken wir eine zweite archaische Energiequelle in den Fokus: die menschliche Muskelkraft. Gekauft und verkauft auf dem Sklavenmarkt prägte sie das damalige Menschenbild und den Wert unserer Spezies (als «erneuerbare Energie»). Es ist der menschlichen Kreativität zu verdanken, dass Alternativen zu dieser menschenerniedrigenden Ausbeutung gefunden wurden, allen voran: Wind- und Wasserkraft. Bereits vor Christus trieben Wind und Wasser über grosse Räder erste Mühlsteine an, eine Arbeit, an der Sklaven zugrunde gegangen sind. Trotz ihres Potenzials, das Leben zu erleichtern, fanden diese beiden Erfindungen aber kaum Verbreitung. Lang, lange lagen sie brach.

Diesen erstaunlichen Umstand erklärt der indische Philosoph Vishal Mangalwadi in seinem «Buch der Mitte»: Zwar kannte die antike Welt viele technische Errungenschaften, setzte diese aber nicht breit um, da die nötige Rahmen-erzählung (Weltanschauung) oder das damit verbundene Menschenbild fehlte. Es gab keinen Bedarf, dem menschlichen Wesen die mühselige Arbeit zu erleichtern, denn zum Schuften ist es verdammt. Es brauchte ausgerechnet das biblische Narrativ des Sündenfalls, um den Fluch der mühseligen Arbeit zu lindern und alternative Energie anzuzapfen.

In meines Vaters Indien sind Götter typischerweise Tänzer oder Träumer. Im Gegensatz dazu ist der biblische Schöpfer ein «Arbeiter». Arbeit an sich war also biblisch gesehen etwas



Gutes. Was sich nach dem Sündenfall änderte: Arbeit wurde zur Mühsal. «Im Schweisse deines Angesichts sollst du dein Brot essen ...» Nun war der Mensch ursprünglich nicht für Mühsal gedacht.

Und wenn Christus den Fluch des Sündenfalls am Kreuz wettgemacht hatte, sollte man doch auch vom Fluch der Mühsal frei werden können. Das war die Motivation christlicher Mönche, als sie im 11. Jahrhundert monotone Arbeit an Wind- und Wassermühlen delegierten. Die Konsequenz? Der Mensch wurde für kreativere Arbeiten freigesetzt. Fand Zeit für Beobachtungen der Natur. Entwickelte weitere Arbeitserleichterungen. Investierte in Kunst und Kultur. Kennen wir diesen Freiraum noch? Oder hat das Diktat der «Gewinnmaximierung» bereits wieder unbedingten und exklusiven Anspruch auf die menschliche Arbeitskraft?

Einerseits wird in der Arbeitswelt immer mehr Leistung gefordert. Andererseits treiben unvorstellbare Automatisierung und Artificial Intelligence den Traum der Mönche zum Äussersten. In wenigen Jahren könnten bis zu 800 Millionen Jobs verloren gehen. Nun, da das Delegieren der Arbeit ad absurdum geführt wird, stellt sich zunehmend die Sinnfrage. Sinn ist eine Frage der Rahmenerzählung. Aber nicht jede Geschichte führt zu Erfolg. Bleibt uns Energie für wahren Fortschritt, oder werden wir, Matrix-ähnlich, zu den «Batterien» einer robotisierten militärisch-industriellen Welt – Sklaven ohne Arbeit quasi?

Das lateinische Wort für «Buch» und «frei» ist dasselbe: liber. Die Sklaverei wurde in den USA erst abgeschafft, nachdem ein Buch, «Onkel Toms Hütte», zum Bestseller wurde. Dieses fiktive Werk von Harriet Beecher Stowe schaffte, wozu die Politik nicht imstande war. Keine Energiewende also ohne die Geschichte eines Atomunfalls.

Kernenergie ist übrigens ein gutes Bild für uns Menschen. Sofern man Zugang zum Kern seines Menschseins hat, steckt in uns unendlich viel mehr Energie, als man von aussen sieht. Wir müssen von Neuem lernen, diese innere Kreativität zu entfesseln. Vielleicht braucht es dazu etwas Fiktion. Aber bitte lesen! Ein Netflix-Gelage ist, da Cloud-basiert, nicht nur extrem energieintensiv, schlimmer: Es verödet die eigene Vorstellungskraft. Im Gegensatz zum passiven Fernsehen trainiert Lesen den Imaginations-«Muskel». Der ist es, der Muskelkraft millionenfach multiplizieren kann.

Gibt es genug Ressourcen, genug Energie für den Menschen? Ja, denn die grösste Ressource ist der Mensch selbst. Es muss nur die Rahmenerzählung stimmen.

## Herr Professor Kupper, seit wann macht sich der Mensch Gedanken über die Zukunft?

Das kommt auf die Definition von Zukunft an. Menschen fragen sich seit jeher, was morgen sein wird. Zum Beispiel legen sie Vorräte für schwierige Zeiten an. Man müsste die Frage anders stellen: Wie gehen Menschen mit einer Idee von einem Morgen oder einer fernen Zukunft um?

Eine Antwort gibt der Historiker Lucian Hölscher in seinem Buch «Die Entdeckung der Zukunft». Danach begannen die Menschen erst relativ spät, ein Zukunftsbild von sich und der Gesellschaft zu entwerfen. Lange herrschte die Vorstellung vor, dass die Zukunft auf uns Menschen einfach zukommt, daher das französische Wort «avenir». Erst im 18. Jahrhundert kommt eine andere Vorstellung mit dem Begriff «futur» auf: eine Zukunft, auf die man zugeht und die man gestalten kann.



## Können Sie als Historiker nach dem Motto «alles wiederholt sich» die Zukunft vorhersagen?

Nein, das geht nicht. Die Konstellationen, unter denen eine bestimmte Entwicklung eintritt, sind immer wieder neu. Was aber geht, ist, anhand der Vergangenheit mögliche Zukünfte zu entwerfen. Auch darin verbirgt sich übrigens ein neues Verständnis von Zukunft: Während Zukunft lange nur in der Einzahl verwendet wird, kommt in den 1960er-Jahren zusammen mit dem Computer auch die Vorstellung auf, dass es nicht nur eine Zukunft gibt, sondern offene Entwicklungen. Diese Zukunftsszenarien wurden wie so oft erst für militärische, später auch für gesellschafts- und energiepolitische Zwecke genutzt. In der Schweiz arbeitet man mit Energieszenarien seit den 1970er-Jahren. Schon damals wurde übrigens ein Szenario mit erneuerbaren Energien und ohne Kernenergie entworfen, das aber von der Energiewirtschaft als «Fiktion» abgetan wurde.

## Bleiben wir bei Energie. Welchen Einfluss hat Energie auf die Entwicklung einer Gesellschaft?

Energie ist ein guter Indikator für die Möglichkeiten einer Gesellschaft: Wie viel Energie können die Menschen mobilisieren, um ihre Welt zu gestalten? Die Erschliessung zusätzlicher Energiequellen hat es Gesellschaften erlaubt, Wachstumsgrenzen zu durchbrechen. Und diese Brüche sind historisch betrachtet extrem. Mit jeder neuen Energieform hat sich der Pro-Kopf-Verbrauch vervielfacht: Hatten die Agrargesellschaften zwei- bis fünfmal mehr Energie zur Verfügung als Jäger und Sammler, verdoppelte sich diese Menge mit der Nutzung der Kohle. Mit dem Erdöl hat sich der Pro-Kopf-Verbrauch nochmals verdreifacht – und das bei stark wachsenden Bevölkerungszahlen!

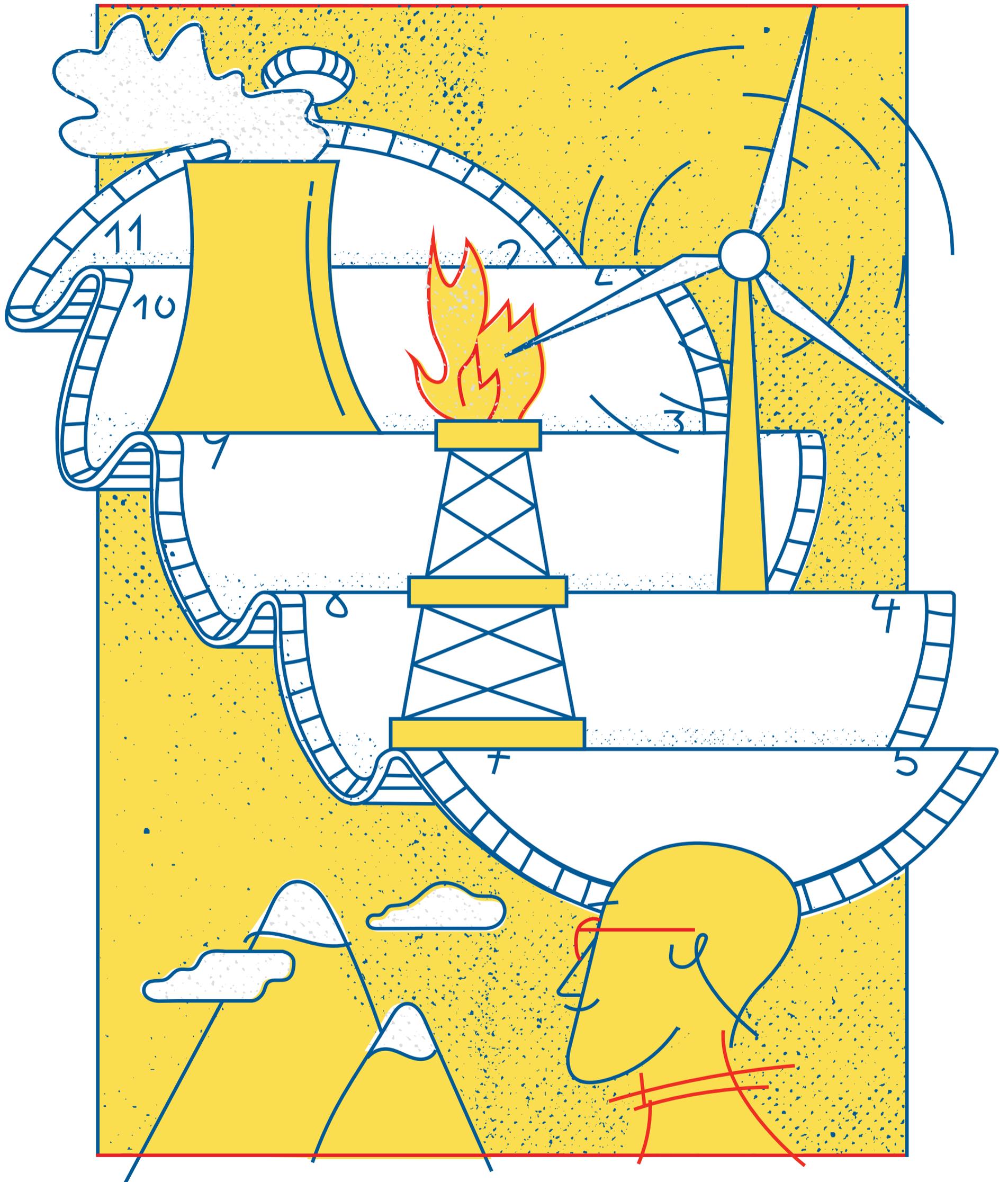
Die fossilen Energien waren aber nicht nur eine neue gewaltige Energiequelle. Sie wurden auch nicht länger an Ort und Stelle gewonnen und genutzt, sondern mussten vom Ort der Produktion zum Ort des Konsums transportiert werden.

## Wie haben sich diese Innovationen durchgesetzt?

Ich rede in meinen Vorlesungen oft über Joseph Schumpeter. Gemäss seinem Modell der «Schöpferischen Zerstörung» müssen alte Strukturen verdrängt und abgetragen werden, damit Neues entstehen kann. Auch der Energiesektor verändert sich natürlich, aber das Energiesystem ist in den letzten 200 Jahren vor allem durch Expansion gekennzeichnet. Durch alle Epochen ist zu beobachten, dass das Neue nicht das Alte ersetzt, sondern sich auf dieses «draufsetzt».

## Geben Sie uns dafür ein Beispiel?

Sehr deutlich wird das am Beispiel der Kohle: Mit dem Erdöl, der Grosswasserkraft und der Kernenergie ist der Anteil der Kohle am Gesamtenergieverbrauch zwar gesunken, in absoluten Zahlen ist sie aber weltweit noch immer bedeutend. Das liegt daran, dass die Strukturen von Energiesystemen sehr robust sind und sich nicht so schnell zerstören lassen, wie Schumpeter das sagen würde. Zwar gab es auch im Energiesystem Krisen und Einbrüche, aber bisher keine vollkommene Zerstörung.



Prof. Dr. Patrick Kupper leitet das Kernfach Wirtschafts- und Sozialgeschichte der Universität Innsbruck und hat gemeinsam mit Mag. Irene Pallua die Studie «Energierregime in der Schweiz seit 1800» (<http://bit.ly/2cAcRoS>) verfasst.

### **Was bedeutet das für die laufende Transformation des Energiesystems?**

Heute stehen wir vor der Herausforderung, das Energiesystem nachhaltig zu gestalten. Das geht nicht in den alten Strukturen, sondern es braucht ganz neue Strukturen sowohl aufseiten der Produktion als auch des Konsums. Das erfordert ein vollständiges Umdenken.

### **Sie haben in einer Studie die «Energieregime» der letzten 200 Jahre untersucht. Was kennzeichnet ein Energieregime?**

Am offensichtlichsten unterscheiden sich diese Regime durch die Energieträger sowie die Technologien und Infrastrukturen, um Energie zu produzieren, zu transportieren, zu verteilen und schliesslich zu verbrauchen. Diese Technologien und Infrastrukturen sind gesellschaftlich eingebettet mit entsprechenden Normen und Werten.

### **Was bringt es, diese Regime zu untersuchen?**

Das Bundesamt für Energie, das diese Untersuchung in Auftrag gegeben hat, wollte ein historisch fundiertes Verständnis, wie die heutige Situation entstanden ist. Das ist gerade im Energiesektor wichtig, da sich diese Strukturen über lange Zeiträume entwickelt haben und hohe Beharrungskräfte aufweisen. Wie gesagt: Das heutige System ist während 200 Jahren durch ständige Expansion entstanden – und diese Entwicklung muss nun durchbrochen werden.

### **Das künftige Energiesystem soll dezentral organisiert sein. Sehen Sie bereits eine Entwicklung weg von den «historischen» Grossanlagen hin zu vielen kleineren Anlagen?**

Ehrlich gesagt, sehe ich derzeit nicht, dass dieser Umbau im grossen Stil stattfindet. Noch stehen zwei Entwicklungen nebeneinander: Auf der einen Seite entsprechen die Offshorewindparks, die an starke europäische Transportnetze angebunden werden, eher dem Trend der letzten Jahrhunderte zu immer grösseren Strukturen. Auf der anderen Seite stehen einzelne Solarstromproduzenten oder Eigenverbrauchsgemeinschaften für den Trend zu Selbstversorgung und lokaler Autonomie. Was sich letztlich durchsetzt, kommt auf die gesellschaftliche Zielvorstellung an und damit auch auf die Bereitschaft der Gesellschaft, sich mit zu verändern.

### **Brauchen wir für diese Veränderung auch Persönlichkeiten und Pioniere, wie wir sie aus der Geschichte kennen?**

Ich rede nicht gerne von solchen Pionieren. Natürlich gab es diese Menschen, die die Geschichte geprägt haben. Aber auch sie konnten ihre Ideen und Visionen nur verwirklichen, weil ihnen die gesellschaftlichen Umstände das ermöglicht haben.

Zwei entgegengesetzte Beispiele für diese These: Nehmen Sie die jüngste Geschichte der erneuerbaren Energien. Auch wenn die deutsche Energiewende wegen der hohen Kosten viel kritisiert wird, hat sie den Durchbruch der Solartechnologie gebracht, weil sich Menschen darauf verlassen konnten, dass sich eine entsprechende Investition lohnt. Umgekehrt wurden bereits in der Zeit zwischen den beiden Weltkriegen alternative Energietechnologien entwickelt. Diese Entwicklung wurde aber nach dem Zweiten Weltkrieg durch die Erdölschwemme im Keim erstickt. Hinzu kam die gesellschaftliche Vision eines Atomzeitalters, die wesentlich beeinflusst hat, wohin Forschungsgelder flossen und wie sich Unternehmen ausrichteten.

Wenn wir also heute die Idee eines neuen nachhaltigen Energiesystems verfolgen, müssen wir Räume schaffen, damit Menschen Perspektiven sehen und kreativ werden.



Sonnenenergie, wie wir sie  
noch nie gesehen haben.

Wir bei Flisom glauben an eine Zukunft mit Solarmodulen auf jedem Dach, jeder Fassade, jedem Auto, jeder Bahn, jedem Bus und allem, was Strom braucht. Sauberer – nahezu kostenloser – Solarstrom ist unser Traum, der schon begonnen hat, sein Potenzial zu entfalten: Gemeinsam mit unseren Partnern im Nationalen Forschungsprogramm «Energiewende» (NFP 70) entwickeln wir Solarzellen der nächsten Generation. So verändern wir die Energielandschaft – in der Schweiz und über ihre Grenzen hinaus.





**Im vorfossilen Zeitalter lieferten Sonne, Holz, Wind und Wasser die Energie. Die Zukunft soll auf den «alten» Energieträgern aufgebaut werden. Fiktion? Möglichkeit? Bald Wirklichkeit?**

Der Mensch will nicht frieren, und er will nicht hungern. Es waren die elementarsten Bedürfnisse, die ihn nach neuen und immer besseren Formen der Energiegewinnung suchen liessen. Seit die Technik des Feuerentzündens unseren Vorfahren ungeahnte Möglichkeiten bescherte, scheint sich das Rad gleich zu drehen: Der Mensch ist ein expansives Wesen, er trachtet vor allem danach, seinen Lebensstandard zu verbessern. Macht er dazu mehr Energie verfügbar, nutzt er auch mehr davon. Die Menschheitsgeschichte ist eine Geschichte der optimierten Energiegewinnung: Mit dem Feuer kochte der Homo sapiens Nahrung, er schmolz Metalle für Werkzeuge, brannte Ton zur Nahrungsaufbewahrung und Ziegel für die Behausung, Wassermühlen ersetzen seine Muskelkraft – bis die Dampfmaschine die industrielle Produktionskraft entfesselte. Schliesslich liess Öl billige Energie sprudeln. Diese geballte Energie stiess eine 200-jährige Wachstumsphase an, später befördert durch Elektrizität im Überfluss aus Kernkraftwerken.

#### «Weisses Gold»

Auch nach der tiefgreifenden Wende zur Kohle und zur Dampfmaschine blieben aber Holz und Wasserkraft im Einsatz. Gerade in der Schweiz vollzog sich die Industrialisierung auf Basis dieser «alten» Energieträger. Energiehistorisch betrachtet sind wir technologisch und mental prädestiniert für die Weiterentwicklung traditioneller Energieformen.

Laut Energiestrategie 2050 soll uns der Weg in die Zukunft zurückführen zu Sonne, Wasser, Wind und Holz – aber unter Anwendung innovativster Methoden: Photovoltaikmodule sollen effizienter, multifunktionell und architektonisch ansprechender sein, und Ausbaupotenzial wird vor allem bei der Wasserkraft, aber auch bei der Holzverbrennung geortet.

Zu ihrer Blütezeit Anfang der 1970er-Jahre lieferte Wasserkraft über 90 Prozent der inländischen Stromproduktion. Heute sind es noch rund 59 Prozent. Ein grösserer Einsatz des «weissen Goldes» wäre durch eine

nachhaltige Weiterentwicklung zu erreichen. Bestehende Wasserkraftwerke müssten unter ökologischen Gesichtspunkten saniert, ihre Leistung und Flexibilität gesteigert werden. Neue Speicherkraftwerke könnten in alpinen Regionen, beispielsweise in Gletscherrückgangsgeländen, errichtet werden.

Das grösste Hindernis für den verstärkten Einsatz der Wasserkraft aber ist der niedrige Strompreis im europäischen Stromhandel, der den Betrieb und damit die Investitionen in Wasserkraft unrentabel macht. Und so lange der Preis für die Emission von CO<sub>2</sub> niedrig ist, ist die Wasserkraft benachteiligt. Entsprechende regulatorische Rahmenbedingungen könnten das Marktszenario positiv für die Wasserkraft verändern.

#### **Unterschätzt und unternutzt**

Der Energieträger Holz trägt heute nur rund 4 Prozent zum Gesamtenergieverbrauch bei und ist unternutzt. Der Anteil der Energieholznutzung liesse sich laut Thomas Nussbaumer, Leiter der Fachgruppe Bioenergie an der Hochschule Luzern, bis 2035 um 50 Prozent erhöhen. Wollte man Holz stärker und ressourcenschonender nutzen, könnte mit bereits verfügbaren Methoden die Verbrennungstechnik verbessert und damit der Schadstoffausstoss reduziert werden. Wichtige Massnahmen dazu sind etwa Feuerungen mit gestufter Ver-

brennung. Das in der Energiestrategie 2050 skizzierte Szenario, wonach der Holzverbrauch für die Wärmeerzeugung bis 2050 um knapp 60 Prozent abnimmt, hält Nussbaumer aus ressourcenökonomischer Sicht für nicht sinnvoll. Seiner Ansicht nach könnten ungenutzte Energieholzpoteziale für Heizungen, Fernwärme und Wärme-Kraft-Kopplung erschlossen werden. Die Stromerzeugung in grösseren Anlagen mit Holzvergasung und Kombikraftwerkstechnik würde Kosten senken. Durch Nutzung in Holzheizkraftwerken (wie zum Beispiel in Zürich Aubrugg), die bedarfsgerecht Wärme für das Fernwärmenetz liefern und gleichzeitig Strom erzeugen, kann Energieholz gantztägig zur Stromversorgung beitragen und die Stromproduktion aus Photovoltaikanlagen vor allem im Winterhalbjahr ergänzen.

Es gibt somit eine ganze Reihe technisch machbarer Massnahmen, mit denen althergebrachte Energien in Zukunft verstärkt genutzt werden können. Da Effizienzsteigerungen aber oft zu Rebound-Effekten führen, also zu einem Mehrkonsum verleiten, stellt sich die Frage einer grundlegenden Änderung des Lebensstils zu mehr Suffizienz, d.h. einem achtsamen, sparsamen Umgang mit Energie. Inwieweit sich das expansive Wesen Mensch aber darauf einlässt, wird mit Hochdruck erforscht.

Brigitte Ulmer – Journalistin und Autorin



#### **Forschungsprojekte:**

Erneuerbare Energieträger zur Stromerzeugung (NFP 70)  
Photovoltaik der nächsten Generation (NFP 70)  
Die Zukunft der Schweizer Wasserkraft (NFP 70)  
Wasserkraft und Geoenergie (NFP 70) / Subprojekt  
«Adequate sediment handling at high-head hydropower plants to increase scheme efficiency» ([bit.ly/2Gymlwp](https://bit.ly/2Gymlwp))  
Holzfeuerung zur Energiegewinnung in Gebäuden (NFP 70)

## Anteil Holz am Endenergieverbrauch

Der Holzverbrauch in absoluten Zahlen ist in den letzten 100 Jahren praktisch unverändert. Das heisst aber auch: Der relative Anteil von Holz am Gesamtenergieverbrauch hat überproportional stark abgenommen. Lieferte Holz im Jahr 1910 17,2 Prozent zum Endenergieverbrauch, waren es 1950 noch 13 Prozent, 1980 gar nur 3,8 Prozent und 2016 noch 4,6 Prozent. Möglich wäre aber, diesen Anteil bis 2035 auf rund 6,8 Prozent zu erhöhen.

Quelle:  
Bundesamt für Energie BFE



# Holz: saubere Energie.



Beim Verfeuern von Holz kann gesundheitsschädlicher Feinstaub entstehen. Somit scheint die Förderung des erneuerbaren Energieträgers Holz auf den ersten Blick ein Widerspruch zu den Zielen der Luftreinhaltung zu sein. Dank einem besseren Verständnis der Biomassekonversion lassen sich aber Holzfeuerungsanlagen optimieren. Thomas Nussbaumer von der Hochschule Luzern untersucht, wie die primären Staubemissionen und die Vorläufersubstanzen für sekundären Feinstaub aus Holzfeuerungen reduziert werden können. Dazu werden die Bildungsmechanismen der Schadstoffe für verschiedene Feuerungen bei unterschiedlichen Betriebsarten beschrieben: in Holzöfen, Stückholzkesseln, Pellet- und automatischen Holzfeuerungen, bei

idealem Betrieb sowie bei Bedingungen wie zum Beispiel Luftmangel, die bei unsachgemässer Bedienung auftreten. Seine Befunde: Bei handbeschickten Feuerungen sind ein geeigneter Brennstoff und ein sachgerechter Betrieb entscheidend, um niedrige Schadstoffemissionen sicherzustellen. Automatische Holzfeuerungen erzielen dagegen im Regelbetrieb einen vollständigen Ausbrand und enthalten im Abgas praktisch nur salzartigen Feinstaub aus Aschebestandteilen, der in einem nachgeschalteten Feinstaubabscheider zurückgehalten werden kann.

Energie und Fiktion. Ein herausforderndes Thema. Fiktion oder kann man auch sagen Zukunft, Erfinden und Utopie? Unsere Zukunft sieht recht düster aus. Umweltverschmutzung und Energieverbrauch nehmen zu, Platz und Ressourcen nehmen ab. Für dieses Szenario präsentieren wir Ihnen unsere Erfindung: das Energetikum. Es kann Alles und Nichts in Energie umwandeln. Die utopische Lösung all unserer Energieprobleme.

Andrina Grimm, Cornelis van Gogswaardt, Noemi Lepore, Nadine Bühler  
Schülerinnen und Schüler der Kantonsschule Romanshorn



PANIK

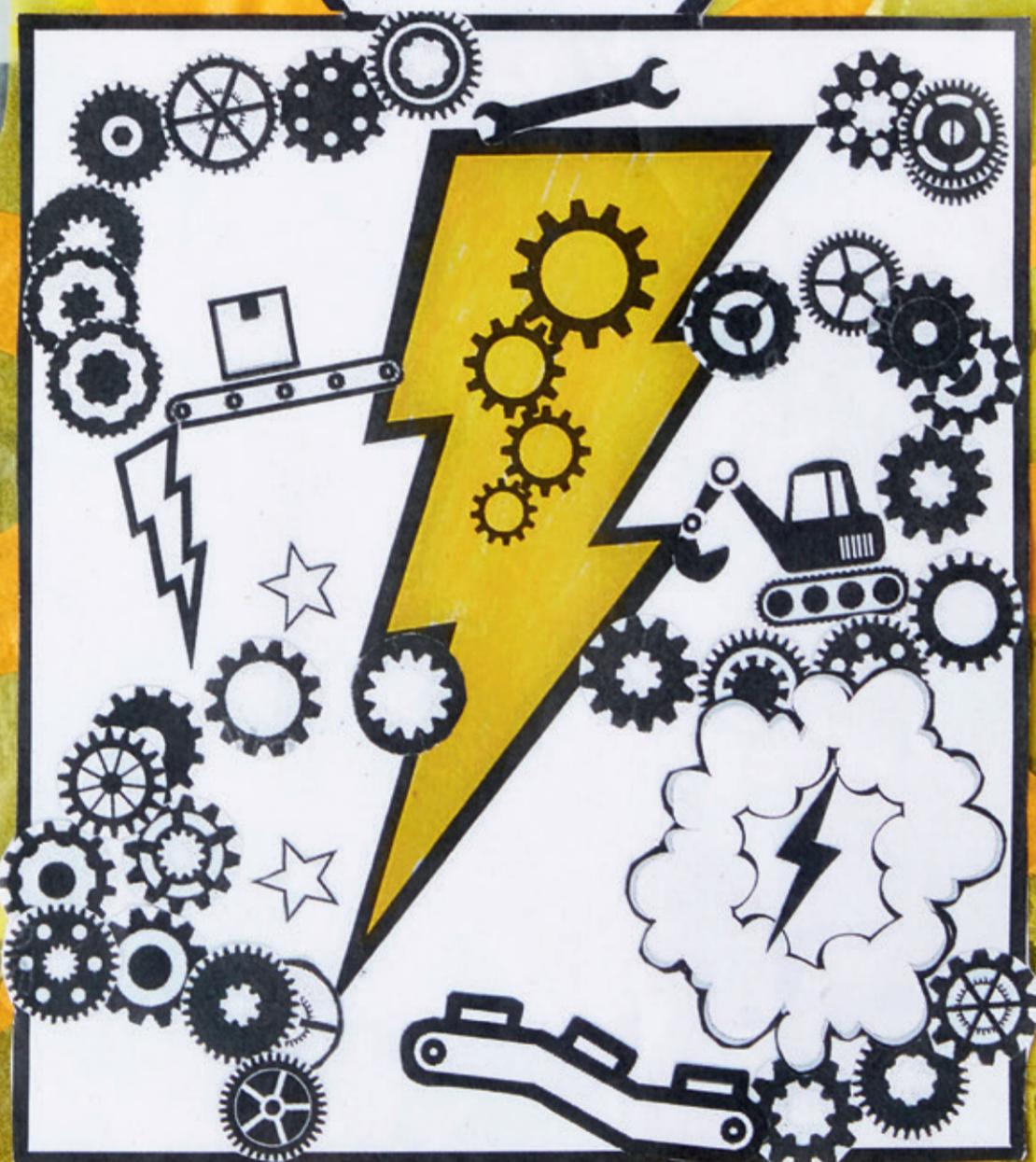
Ende

OHNE

SKRUPPEL  
Abgas

IN WAS FÜR EINER WELT LEBEN WIR EIGENTLICH?



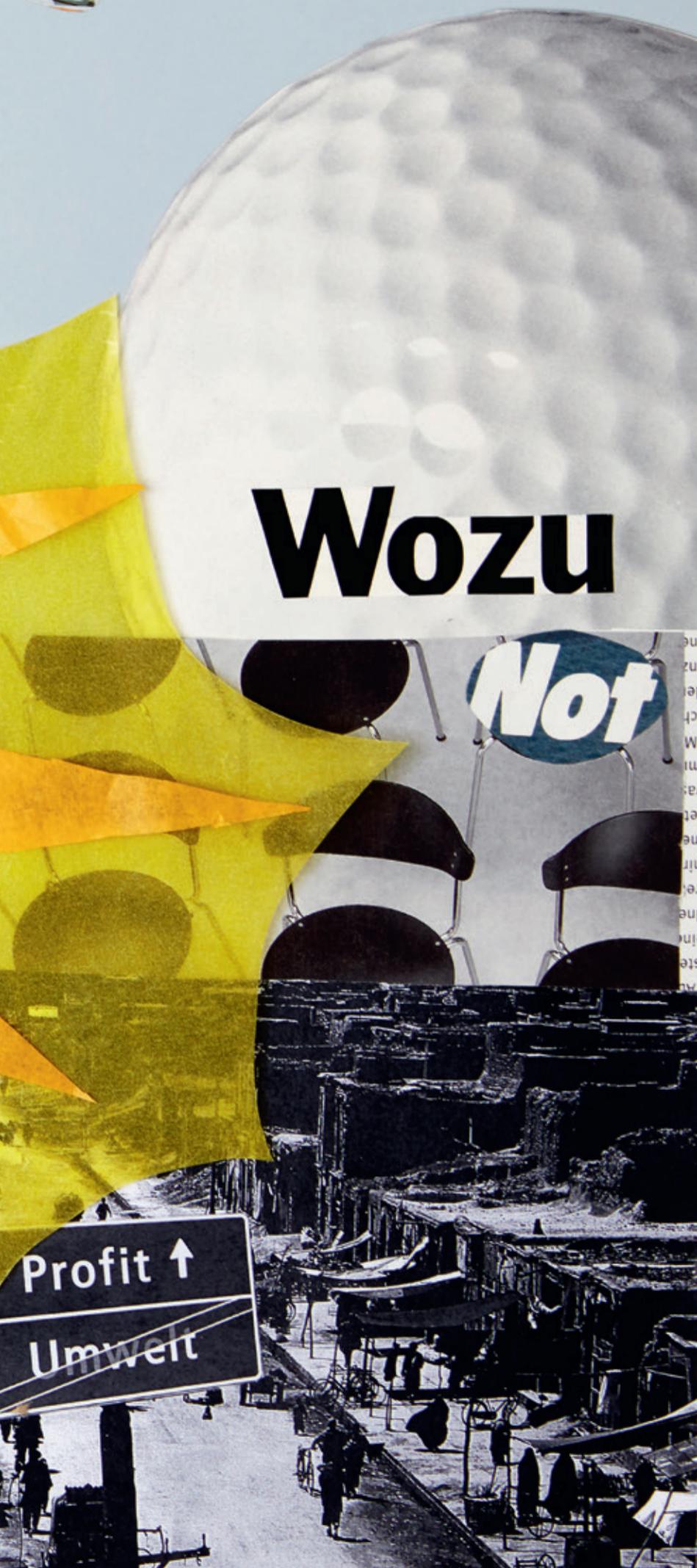


# Wozu

# Not

Profit ↑  
~~Umwelt~~

igen Flächen  
das Polster  
gramm ist au  
e 14.2, Stand N  
Passagen bei P





**Ein neues Energiesystem ersetzt Schritt für Schritt das alte. Bis der Idealzustand erreicht ist, sind jedoch noch einige Hindernisse zu überwinden, wie das Beispiel des Walliser Skiorts Crans-Montana zeigt.**

Crans-Montana ist eher für seine Pistenbars und komfortablen Chalets als für seine grüne Energiestrategie bekannt. Touristen, die auf der Hochebene mit dem grossartigen Panorama ankommen, sind vielmehr überrascht angesichts der urbanen Zersiedelung und des starken Autoverkehrs. Doch der Schein trügt: Crans-Montana gehörte 2008 zu den ersten Skiorten, die das Label Energiestadt erhielten. Zudem hat sich der Ort dem Konvent der Bürgermeister angeschlossen, der seine Mitgliedsgemeinden verpflichtet, bis 2020 die «3x20»-Ziele zu erreichen (20 Prozent weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen, 20 Prozent weniger Energieverbrauch und 20 Prozent mehr erneuerbare Energien).

## Initiativen, die von einem starken politischen Willen zeugen

«Hinter diesen Initiativen steckt ein starker politischer Wille», so Yves-Roger Rey, Generalsekretär des Gemeindeverbands Crans-Montana. «Dieses Engagement geht eindeutig über das Tourismus-Marketing hinaus, denn Energie ist dabei kaum ein Thema.» Zu den zahlreichen realisierten Projekten im Ort, dessen Bevölkerungszahl mit der Tourismussaison zwischen 15 000 und 50 000 variiert, gehört zum Beispiel die Verbesserung des öffentlichen Verkehrsnetzes. «Bei Bussen hat das Passagieraufkommen um 35 Prozent zugenommen», erzählt Yves-Roger Rey. Diverse gemeindeeigene Gebäude wurden saniert und teilweise mit Solaranlagen ausgestattet, mehrere Fernwärmeprojekte realisiert. «Der Anteil an erneuerbaren Energien hat deutlich zugenommen, vor allem im Bereich Wärme», so Energiestadtberaterin Sonia Morand.

In Crans-Montana hat die Energiewende begonnen. Doch bis die ehrgeizigen Ziele erreicht sind, sind noch einige Hindernisse zu überwinden. Wie bei allen Skiorten sind die Seilbahnen grosse Stromverbraucher. Auch wenn die moderneren Anlagen in Sachen Energieeffizienz auf dem neuesten Stand sind, bleibt noch einiges zu tun. Die grösste Herausforderung stellt laut Sonia Morand der Gebäudebestand dar, der zu 70 Prozent aus Zweitwohnungen besteht. «Zahlreiche Gebäude stammen aus den 1960er-Jahren und die Besitzer leben oft im Ausland. Einige von ihnen kommen gar nie mehr nach Crans-Montana. Es handelt sich um «kalte Betten», die aber häufig permanent geheizt werden.»

## Verhalten als Unsicherheitsfaktor

Einige Fernwärmeprojekte trafen auf grossen Widerstand von Anwohnern. Handelt es sich dabei um das «Nimby»-Phänomen («Not in my backyard»)? «Es ist doch etwas komplexer», erklärt Isabelle Stadelmann, Professorin für Politikwissenschaften an der Universität Bern. Es hängt von diversen Faktoren ab, ob die Lokalbevölkerung Infrastrukturen für erneuerbare Energien akzeptiert oder nicht. Dazu gehören das Ausmass, in dem die Bevölkerung beim Projekt einbezogen wird, die vorherrschende politische Ideologie oder die Ablehnung bestimmter Technologien. Wenn in einer Region die Landschaft von besonderem Wert ist, wie beispielsweise in Berggebieten, kann dies ebenfalls eine Rolle spielen. Die Akzeptanz in der Bevölkerung ist ein grosser Unsicherheitsfaktor bei der Neuausrichtung des Energiesystems.

Einen weiteren Unsicherheitsfaktor stellt das Verhalten der Bevölkerung beim Energieverbrauch dar. Gibt es in diesem Bereich nichtmonetäre Fördermassnahmen, die auch Touristen einbeziehen? Ja, meint Andreas Diekmann, Soziologieprofessor an der ETH Zürich. «Wie bei anderen sozialen Gruppen zeigen moralisierende Aufforderungen auch bei Touristen wenig Wirkung. Eine der nichtmonetären Motivationsmassnahmen, die am besten funktionieren, ist der Vergleich als starke soziale Norm. Hotels können den Gast zum Beispiel darauf hinweisen, dass 90 Prozent der Gäste ihre Wäsche mehrere Tage lang benutzen, und ihnen vorschlagen, dies auch zu tun. Sie können auch Systeme installieren, welche automatisch Energieverschwendung verhindern, beispielsweise Magnetkarten, welche das Zimmer aufschliessen und gleichzeitig den Strom einschalten. Solche Massnahmen können den Verbrauch jedoch nur um einige Prozent senken.»

Die alte Energiewelt wird sich also nicht ohne Weiteres durch die neue ersetzen lassen. Aus diesem Grund, erklärt Isabelle Stadelmann, wird der Begriff «Wende» nicht mehr so oft für diesen Übergangsprozess benutzt: «Wir wechseln nicht von heute auf morgen den Kurs! Es handelt sich vielmehr um einen langsamen Wandel.» Dazu braucht es Anpassungen der Infrastruktur, der Ansichten und Alltagsgewohnheiten über mehrere Generationen.

Geneviève Ruiz – Journalistin BR

### Was geschieht mit stillgelegten Kernkraftwerken?

Ein Kernkraftwerk besteht aus ganz unterschiedlichen Elementen. Je weiter man sich vom Reaktorkern entfernt, desto schwächer wird die Radioaktivität. Bei der Stilllegung des Kernkraftwerks Mühleberg zum Beispiel schätzt man, dass 92 Prozent des Gesamtvolumens nichtradioaktiver Bauschutt sein wird, der auf konventionellem Weg entsorgt werden kann. Von den verbleibenden 8 Prozent können 6 Prozent behandelt oder gelagert werden, bis die Strahlung so weit abgenommen hat, dass die Freigabeschwelle erreicht ist. Vom ursprünglichen Volumen bleiben somit 2 Prozent radioaktive Abfälle, die konditioniert werden müssen.

### Welche Lösung sieht die Schweiz für die Lagerung von radioaktiven Abfällen vor?

Die geologische Tiefenlagerung. Dieses Verfahren ist international nach aktuellem Wissensstand als das sicherste anerkannt. Die Lagerung von Abfällen an der Oberfläche bringt Unsicherheiten mit sich, wenn man an gesellschaftliche und klimatische Entwicklungen denkt. In Europa gab es beispielsweise keine Friedensperiode, die länger als ein Jahrhundert andauerte. Die Stabilität bestimmter Gesteinssorten über eine Million Jahre hinweg können wir hingegen aufgrund unserer geologischen Kenntnisse als realistisch betrachten.

### Radioaktive Abfälle verlieren nach und nach an Radioaktivität, was sich mit dem Konzept der «Halbwertszeit» berechnen lässt. Können Sie dieses erläutern?

Radioaktivität ist ein natürliches Phänomen, das im Kern bestimmter Isotope – Atomarten – entsteht. Die Halbwertszeit sagt aus, wie lange es dauert, bis die Hälfte der Kerne eines Isotops zerfallen ist. Je nach Art des Isotops kann sie von Sekundenbruchteilen bis zu mehreren Tausend Jahren lang sein.

Die Schweizer Kernkraftwerke werden stillgelegt, aber ihre hochaktiven Abfälle überdauern bis zu eine Million Jahre. Was soll man damit machen? Antworten von Olivier Leupin von der Nagra, der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle.

20 000 Frauen, Männer und Kinder der Spezies Homo erectus bevölkern die Erde.

-1 Mio.



### Wann werden die Abfälle eingelagert?

Dieser Prozess dauert mehrere Generationen. Der endgültige Standort wird 2022 bestimmt und das Projekt muss vom Parlament abgesegnet sowie dem fakultativen Referendum unterstellt werden. Dann folgen geologische Forschungsarbeiten und Tests, die mehrere Jahre dauern. Die Einlagerung der Abfälle wird etwa 2060 beginnen. Ungefähr zwei Generationen später werden alle unterirdischen Installationen aufgeschüttet.

### Wie organisiert man ein so langfristiges Projekt?

Die grosse Herausforderung bei diesem Projekt ist der Zeitaspekt! Wie werden alle Informationen an die künftigen Generationen weitergegeben? Werden sie die Abfälle vergessen? Wie kennzeichnet man die Abfälle? Einige Fragen sind philosophischer Natur. Unser Konzept besteht darin, dass die Abfälle an ihrem Endlagerort schwer zugänglich sind, damit künftige Generationen ohne das nötige technische Wissen nicht an sie herankommen.

### Eine Million Jahre ... Bewegen wir uns da nicht im Reich der Fiktion?

Diese Zeitspanne erscheint nach menschlichen Massstäben sehr lange, nach geologischen Massstäben jedoch sehr kurz. Die Abfälle an der Erdoberfläche zu lagern, würde bedeuten, der Gesellschaft statt der Geologie die Rolle des Aufpassers zu übertragen. Möchte man die Entwicklung der Menschheit in einer Million Jahre voraussagen, dann ist das tatsächlich reine Fiktion.

Der Mensch beginnt,  
das Feuer zu kontrollieren.

- 200 000



Homo sapiens,  
der moderne Mensch,  
taucht auf.

- 600 000

+ 100 000



- 11 700

Das Ende der Eiszeit  
bricht an, und der  
Mensch wird sesshaft.

# ZEIT

Die Besiedelung  
des Planeten Mars  
ist denkbar.

+ 269 000

+ 500 000

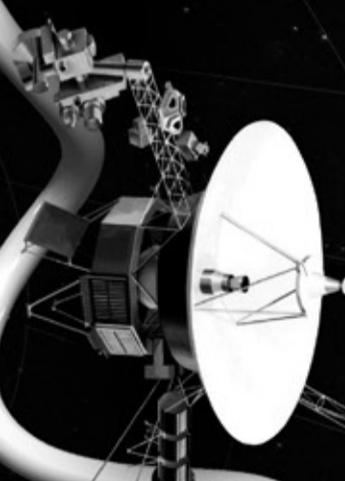
30 000 000 m / s

+ 1 Mio.

Die Raumsonde Voyager 2  
passiert Sirius, den hellsten  
Stern am Nachthimmel,  
mit 4,3 Lichtjahren Abstand.

Mit gewisser Wahrscheinlichkeit  
wird ein Asteroid von 1km  
Durchmesser die Erde treffen.

Die Menschheit könnte begonnen  
haben, weitere Planeten der  
Milchstrasse zu kolonialisieren.



**Ein gewagter Blick in die ferne Zukunft:  
Energie setzt keine Grenzen mehr. Zum Potenzial der Sonne  
wird mit grosser Wahrscheinlichkeit die Kernfusion dazu-  
kommen. Dafür tauchen andere Wachstumsgrenzen auf und  
aus der Science-Fiction-Literatur ist die Vorstellung  
verschwunden, dass Technologie Neues schaffen kann.**

«Die freie Verfügbarkeit von Energie ist in vielen Science-Fiction-Welten eine Selbstverständlichkeit und bestimmt selten die Handlung», hält Philipp Theisohn fest. Er erforscht an der Universität Zürich die literarischen Vorstellungen eines bewohnten Weltalls.

Die Science-Fiction-Literatur spiegelt damit eine Gewichtsverschiebung, die sich in den letzten Jahrzehnten auch in den wissenschaftlichen Prognosen vollzogen hat. Auch diese sehen in der Energie keine prinzipielle Wachstumsgrenze mehr. Allein die Sonne liefert pro Jahr rund  $1,5 \times 10^{18}$  kWh auf unseren Planeten. Das ist etwa 10 000-mal mehr, als wir zurzeit pro Jahr verbrauchen. Dazu wird sich mit grösster Wahrscheinlichkeit bis zum Ende dieses Jahrhunderts das Potenzial der Kernfusion addieren. Die Umsetzung von einem einzigen Kilogramm Deuterium-Tritium-Gemisch kann eine thermische Energie von  $10^8$  kWh freisetzen – die Energie von rund 10 Millionen Litern Heizöl!

#### **Ökologie und Demografie statt Energie**

Die aus heutiger Sicht praktisch unerschöpflichen Energiequellen bedeuten aber nicht, dass sich die literarischen und wissenschaftlichen Fiktionen in Richtung endloses Wachstum entwickeln. Ökologie und Demografie haben ganz einfach die Energie als Wachstumsgrenzen abgelöst. Die optimistischen Weltraum-Kolonie-Szenarien der 1950er-Jahre

sind mit der Zeit in dystopische Zukunftsvorstellungen gekippt, in denen die Menschen in einem von Knappheit beherrschten technischen Morast um ihr Überleben kämpfen, wie Theisohn ausführt.

Damit wird auch klar, dass Science-Fiction wie jede unserer Zukunftsvorstellungen immer die Gegenwart spiegelt. In einem wichtigen Punkt unterscheidet sich laut Theisohn die literarische Auseinandersetzung mit der Zukunft aber grundlegend von der wissenschaftlichen Futurologie. Während Letztere immer an die Zeit gebunden ist und mit ihren Modellberechnungen im Wesentlichen die Gegenwart extrapoliert, imaginiert Science-Fiction bewusst disruptiv. Sie schafft in der Regel ein Novum und damit einen Schock. Aus diesem heraus kann sie dann reflektieren, was von unserer heutigen Gesellschaft in einer anderen Version der Welt noch übrig bleiben würde.

#### **Von Futuristen und Akzeleristen**

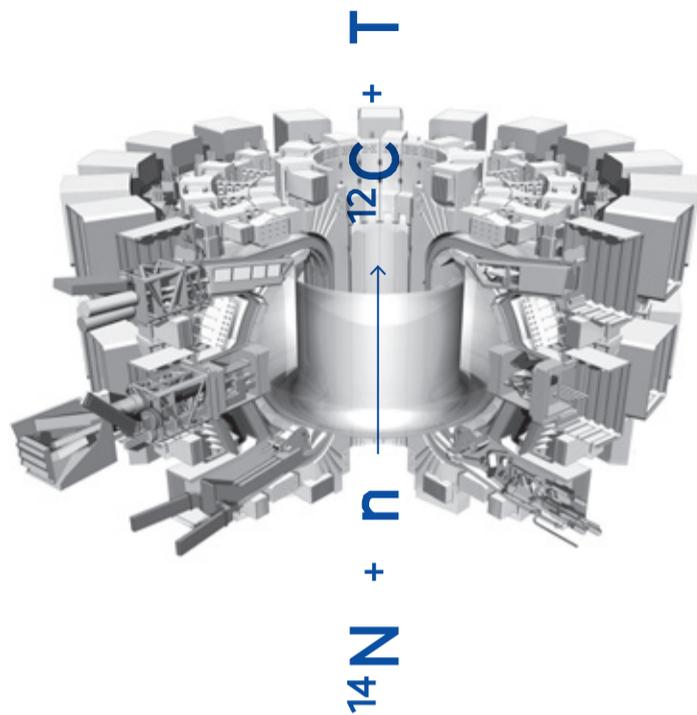
Auf diese Weise ist mit der Zeit beispielsweise aus den Fiktionen auch die Vorstellung verschwunden, dass Technologie an sich in der Lage ist, Neues zu schaffen, wie Theisohn erklärt. Diese von den eingesetzten Techniken unabhängige, fundamentale Kontinuität in der Entwicklung unserer Gesellschaft zeigt sich unter anderem auch in einer auffälligen Parallele von heute zu den 1910er- und 1920er-Jahren, als Energie noch die treibende Zukunftskraft darstellte. So, wie die damaligen «Avantgarden» von

den mit dem Faschismus verbandelten italienischen Futuristen bis zum sowjetischen Suprematismus und Kosmismus Geschwindigkeit und Kraft zelebrierten, feiern auch heute wieder die politischen Extreme die Beschleunigung. Anstelle der Energie sind für linke Akzeleristen und alternative Rechte die Informationen und die Digitalisierung zum Kraftstoff geworden, der die bestehenden Strukturen zum Einsturz bringen soll.

#### **Energie zeigt abnehmende Wirkung**

Die Erfahrung zeigt allerdings, dass mehr Energieeinsatz nicht automatisch auch eine grössere Wirkung bedeutet. Der Philosoph und Theologe Ivan Illich hat dieses Paradoxon bereits in den 1970er-Jahren eindrücklich illustriert: Wird der gesamte Zeitaufwand miteinberechnet, der investiert werden muss, um das Geld für ein Auto zu verdienen, sinkt die Geschwindigkeit, mit der ein Motorfahrzeug seinen Besitzer vorwärtsbringt, auf durchschnittlich nur noch fünf Stundenkilometer und damit auf Schrittempo. Auch Theisohn hat dazu im Rahmen früherer Studien ein sinnbildliches Detail herausgearbeitet: Die Beschleunigungsenthusiasten aus den 10er- und 20er-Jahren des letzten Jahrhunderts hatten gar nie eine langfristige Vision davon entwickelt, wohin die Macht der Energie die menschliche Gesellschaft überhaupt führen sollte.

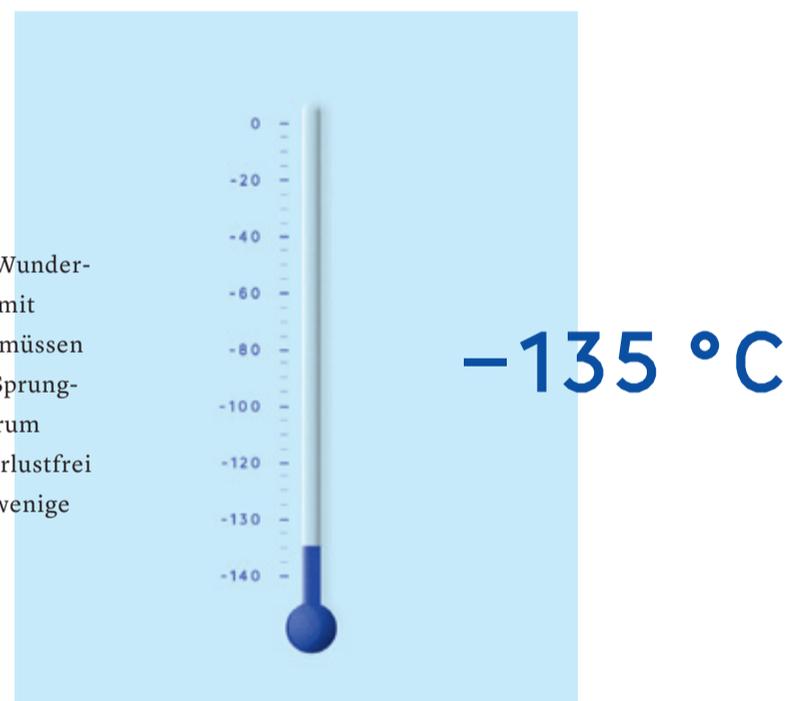
## DIE SONNE AUF DIE ERDE HOLEN



An Fusionsreaktoren wird schon mehr als 60 Jahre geforscht. Jetzt scheinen die Aktivitäten aber tatsächlich auf die Zielgerade einzubiegen. 2035 soll der sogenannte ITER-Reaktor in Frankreich erstmals für einige hundert Sekunden Fusionsenergie in einer Grössenordnung von 500 Megawatt erzeugen. Er wird dafür die Kerne der beiden schweren Wasserstoffvarianten Deuterium und Tritium miteinander verschmelzen. Diese Reaktion verlangt weniger extreme Druckverhältnisse als die Fusion von zwei «normalen» Wasserstoffatomkernen, wie sie im Innern unserer Sonne stattfindet. Bis die Technologie in kommerziellen Kraftwerken eingesetzt werden kann, dürfte es mindestens 2050 werden. Dann aber verspricht sie Energie im Überfluss. Trotzdem ist die Frage offen, ob sich der Aufwand unter dem Strich rechnen wird.

## DER WIDERSTAND VERSCHWINDET

Reibungsfrei gelagerte Räder und verlustfreie Stromspeicher – Supraleiter sind Wundermaterialien, die bisher allerdings mit einem grossen Nachteil behaftet sind: Damit der elektrische Widerstand auf Null abfällt und sie somit supraleitend werden, müssen sie auf extrem tiefe Temperaturen abgekühlt werden. Die höchste sogenannte Sprungtemperatur für einen festen Werkstoff liegt derzeit bei  $-135^{\circ}\text{C}$ . Gesucht sind darum Materialien, die den Strom bereits unter normalen Umgebungsverhältnissen verlustfrei transportieren können. Theoretisch spricht nichts gegen ihre Existenz und für wenige Pikosekunden konnte der Effekt auch schon beobachtet werden.



3 <b>Li</b> Lithium	2 1	49 <b>In</b> Indium	2 8 15 15 3
	73 <b>Ta</b> Tantal		2 8 18 32 11 2

## SHOWSTOPPER SELTENE ELEMENTE

Die aus heutiger Sicht praktisch unerschöpflichen Energiequellen bedeuten nicht, dass automatisch alles möglich sein wird. Praktisch jede Technologie zur Energieerzeugung ist von speziellen Materialien abhängig, deren Vorkommen auf der Erde begrenzt ist. So benötigt etwa die Kernfusion ein bestimmtes Lithium-Isotop, um das fusionsfähige Wasserstoff-Isotop Tritium erzeugen zu können. Photovoltaik, Batterien und auch Windkraft hängen wie alle modernen Elektronikkomponenten von der Verfügbarkeit seltener Metalle wie Tantal, Indium und auch Lithium ab. Neigen sich deren Reserven dem Ende zu, droht den meisten dieser Zukunftstechnologien das Aus – falls keine Alternativen gefunden werden.

Die Sonne ist unser einziger wirklich nachhaltiger Energie-lieferant. Für die Chemikerin Greta Patzke von der Universität Zürich geht das Potenzial des Lichts aber noch weit über das Energiethema hinaus.

**Frau Patzke, Sie forschen an der künstlichen Photosynthese. Mit ihr wird Sonnenlicht – ähnlich wie in den Pflanzen – in chemische Energie umgewandelt. Welche Vision haben Sie persönlich von unserer Energiezukunft?**

Ich bin in den 1970er-Jahren und damit in einer Zeit geboren, in der die Grosstechnologien auf einem ersten Höhepunkt angekommen waren. Seither hat sich viel verändert. Es ist offensichtlich, dass das Verbrennen unserer Kohlenwasserstoffreserven nicht mehr weitergehen kann, und in meinen Augen gibt es auch keine scheinbar so einfache All-in-one-Lösung für unsere Herausforderungen mehr. Stattdessen sind dezentrale und lokal angepasste Systeme gefragt. Meine Hoffnung ist, dass dadurch die Menschen aus ihrer Verbraucherrolle herauskommen, dass sie mehr Eigenverantwortung übernehmen – und dass sie dies im Endeffekt auch zusammenschweisst.

**Welche Rolle kann die künstliche Photosynthese in einer derartigen Zukunft spielen?**

Sie ist eine von mehreren aufkommenden Technologien. Wie gross ihr Gewicht sein wird, ist derzeit schwer abzuschätzen. Wovon ich aber überzeugt bin, ist, dass das Sonnenlicht zu unserer wichtigsten Energiequelle wird. Es ist unser einziger nachhaltiger und praktisch unerschöpflicher Energielieferant – und somit auch eine grosse Triebkraft für viele Forschungsprojekte landesweit. Die künstliche Photosynthese hat den Vorteil, dass bei ihr die Lichtenergie in Form von Molekülen gespeichert wird, die dann bei Bedarf Reaktionsenergie freisetzen können. Die Photovoltaik wandelt demgegenüber das Sonnenlicht direkt in elektrische Energie um. Deren Speicherung erfordert einen zweiten Schritt, dafür ist aber die primäre Umwandlungseffizienz grösser. Natürlich werden wir die Sonne zudem auch weiterhin direkt über Wärme (Solarthermie) nutzen, und sie beeinflusst ja klimatisch auch massiv die Wind- und Wasserkraft.

**Was sind die chemischen Herausforderungen der Energiequelle Licht?**

Richtig spannend wird es, wenn wir in die Details vorstossen. Kürzlich ist es uns beispielsweise gelungen, einen molekularen Katalysator zur Wasserspaltung (bzw. Oxidation) zu bauen, der gewisse Ähnlichkeit zum anorganischen Katalysatorkern in der natürlichen Photosynthese hat. Interessanterweise verhalten sich seine Komponenten aber etwas anders als erwartet. Einige Katalysatoren, die eine effiziente künstliche Photosynthese ermöglichen, können sich auch während der Reaktionen an ihre Umgebung anpassen. Diese Prozesse beginnen wir nun zu nutzen. In Zürich verfügen wir über eine ungeheure Dichte an exzellenten Forschenden, um derartige Fragen aus unterschiedlichsten Perspektiven anzugehen. Im Forschungsschwerpunkt LightChEC der Universität sind Chemiker, Physiker und auch Materialforscher der Empa Dübendorf zusammengeschlossen. Das Feld spannt sich für mich aber sogar noch viel weiter auf.



**Über die Energiethematik hinaus?**

Genau. Die Sonne bringt ja wortwörtlich Licht ins Dunkel. Wir und mit uns unzählige andere Lebewesen nutzen Lichtsensoren in Form von Augen, um unsere Umwelt zu erfassen. Genauso kann man Licht für die medizinische Diagnostik und für das Monitoring von Ökosystemen verwenden. Lichtenergie lässt sich aber auch therapeutisch oder zum Abtöten von Keimen einsetzen. Das Potenzial ist riesig und wir haben bereits Pläne für einen grösseren Forschungsverbund. Wir stehen quasi am Anfang eines Licht-Zeitalters, das die Erdöl-Ära ablöst.

## ZÜRICH

Jeder Abfall ist auch ein Rohstoff. Es ist nur eine Frage des Blickwinkels. Die Forschungsgruppe von Stefanie Hellweg am Institut für Umweltingenieurwissenschaften der ETH Zürich hat sich zum Ziel gesetzt, aus den Abfall-Rohstoff-Kreisläufen das Maximum herauszuholen. «Meine Zukunftsvision ist ein Energiesystem, das über die Ländergrenzen hinweg ökologisch optimiert und gleichzeitig ökonomisch tragbar ist», umschreibt die Umweltingenieurin die Triebfeder für ihre Forschungsarbeit.

Bezogen auf das Abfallmanagement heisst dies, dass der Müll sowohl materiell als auch energetisch bestmöglich genutzt werden soll. Durch die materielle Nutzung werden primäre Materialien und damit die Energie für deren Herstellung eingespart. Dass der Nettoeffekt dabei oft im Ausland anfällt, ist sinnvoll, wenn er grösser ist, als es eine direkte energetische Nutzung zur Wärme- oder Elektrizitätsgewinnung in Kehrrechtverbrennungsanlagen oder Klinkeröfen im Inland wäre.

Inzwischen kennen die Forschenden den Verlauf der Schweizer Abfallflüsse schon sehr genau, und sie können auch die Umweltwirkung der unterschiedlichen Verwertungs- und Entsorgungswege bewerten. Jetzt geht es darum, das System konsequent zu optimieren, indem etwa möglichst treibhausgasintensive Materialien durch Recyclingprodukte ersetzt werden. Je nachdem kann dies aber auch mehr Fernwärme aus der regionalen Kehrrechtverbrennung bedeuten. Und dann gilt es auch, den Transformationsprozess für eine Umsetzung der Resultate in der Politik in Gang zu bringen – damit die Vision Schritt für Schritt zur Zukunft werden kann.

Forschungsprojekt: Verbundprojekt «Abfallmanagement als Beitrag zur Energiewende» (NFP 70)

## LAUSANNE

Eine dezentrale und durch die Bürgerinnen und Bürger kontrollierte Energieproduktion aus erneuerbaren Quellen. So sieht die ideale Energiezukunft für Majed Chergui aus. Damit würde nicht zuletzt das Risiko für kriegerische Auseinandersetzungen sinken, die häufig um zentralisierte Energieressourcen wie Erdöl oder Uran ausbrechen, ist der Leiter des Labors für ultraschnelle Spektroskopie der ETH Lausanne überzeugt. Gleichzeitig relativiert er aber auch seinen Anspruch: «Unsere Arbeit ist ein Tropfen in den Ozean. Allenfalls etwas dazu beizutragen, ist mir aber Ansporn genug.»

Das Hauptstudienobjekt von Cherguis Team sind sogenannte Perowskite und Metalloxide. Diese Mineralien versprechen günstigere und mit massiv weniger Energieaufwand produzierte Solarzellen. Sie lassen sich mit einfachen Flüssigchemieverfahren herstellen. In Sachen Umwandlungseffizienz nähern sich die Perowskite bereits der etablierten Siliziumtechnologie. Die grösste Herausforderung stellt derzeit noch die chemische Stabilität gegenüber Licht, Hitze und Feuchtigkeit dar. «Ich habe keine Zweifel, dass wir diese Hürden überwinden werden», blickt Chergui in die Zukunft. Die gleiche Zuversicht hat er auch hinsichtlich seiner Energievision: «Die dezentrale und autonome Energieversorgung setzt sich in vielen Regionen bereits heute auf Basis von Siliziumtechnologien durch. Sie entspricht offensichtlich einem Bedürfnis der Menschen.»

Forschungsprojekt: Perowskite für die Solarenergie (NFP 70)

## FREIBURG

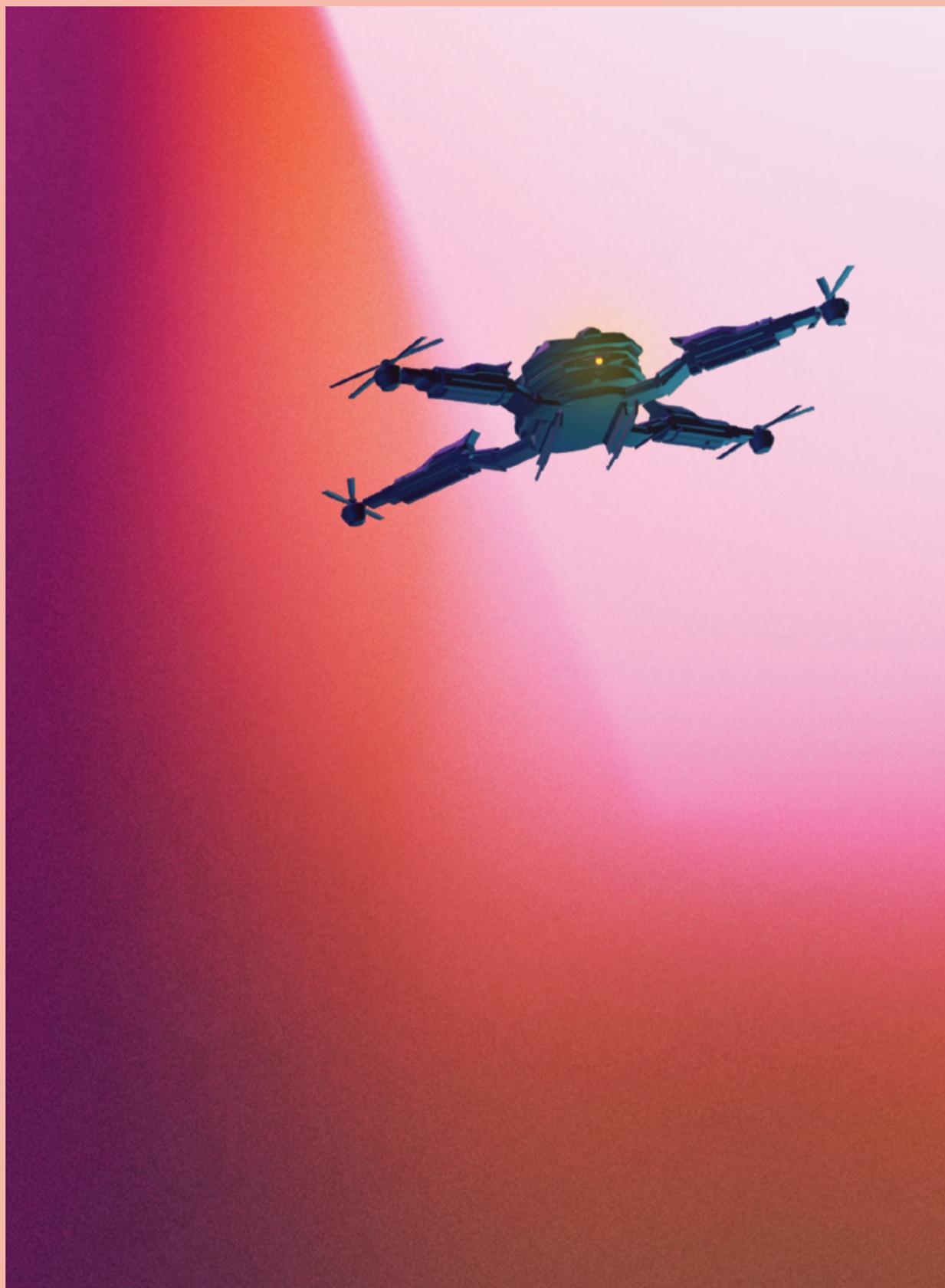
«Meine Fiktion ist eine elektrische.» Ullrich Steiner ist davon überzeugt, dass unsere Zukunft nur nachhaltig werden kann, wenn die Elektrizität die Verbrennung von kohlenstoffbasierten Energieträgern als Hauptenergiequelle ablöst. Dafür forscht der Physiker und Materialforscher am Adolphe Merkle Institute der Universität Freiburg unter anderem an Wegen, mit denen sich die Batterietechnologie grundlegend verbessern lässt.

Sein Fokus gilt Metalloxiden, welche an der Kathode von Lithium-Ionen-Batterien Lithium speichern. In heutigen Akkus, wie sie in Handys, Laptops oder Elektroautos zum Einsatz kommen, wird das Lithium nur in der Nähe der Kathodenoberfläche eingelagert, die einen Bruchteil des Materials ausmacht. In der Innere der Keramikverbindungen können die geladenen Ionen nicht eindringen. Steiners Forschungsgruppe arbeitet an einem Verfahren, mit dem die Oberfläche – ähnlich wie in unseren Lungen – durch ein bis in den Nanobereich hinunter verästeltes Gangsystem vervielfacht wird. Dafür verwenden die Freiburger selbstorganisierende Polymere. Sie bilden mikrometergrosse Kügelchen, die ein Nanometergerüst enthalten, welches in das gewünschte Metalloxid umgewandelt wird. Diese Kügelchen werden schliesslich zum Kathodenmaterial zusammengebacken.

Und wann wird diese Technologie die Leistung unserer Handy-Akkus steigern? «Die Ergebnisse unserer Arbeit, so wie sie derzeit im Labor existieren, wird man – wie bei jeder Grundlagenforschung – nie kaufen können», betont Steiner: «Unsere Arbeit kann allerdings eine Basis legen, auf der Ingenieure neue Produkte aufbauen können, die künftigen Generationen das Leben erleichtern.»

Forschungsprojekt: Nanostrukturierte Lithium-Ionen-Batterien (NFP 70)

**Elektrisch, dezentral, als autonome Bürger in einer ökologischen und friedfertigen Welt: In jedem Forschungsprojekt stecken auch die persönlichen Zukunftsvisionen der beteiligten Wissenschaftler.**



Die Nationalen Forschungsprogramme «Energiewende» (NFP 70) und «Steuerung des Energieverbrauchs» (NFP 71) des Schweizerischen Nationalfonds erforschen die naturwissenschaftlich-technologischen und gesellschaftlich-ökonomischen Aspekte für die erfolgreiche Realisierung der Energiewende.

Über 300 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler werden bis Ende 2018 in mehr als 100 Forschungsprojekten Erkenntnisse zur substantziellen Verringerung des Energieverbrauchs, zu

neuen Technologien sowie zu gesellschaftlichen Rahmenbedingungen für deren Implementierung in den kommenden 10 bis 30 Jahren erarbeiten.

Aufgrund zahlreicher Wechselbeziehungen arbeiten die parallel laufenden NFP 70 und NFP 71 zusammen. Weitere Informationen zu den einzelnen Forschungsprojekten und zu den Nationalen Forschungsprogrammen sind auf [www.nfp70.ch](http://www.nfp70.ch) und [www.nfp71.ch](http://www.nfp71.ch) zu finden.