

## Vorsicht Feinstaub

**Der Feinstaub, den wir tagtäglich einatmen, kann krank machen. Drei Millionen Menschen leben in der Schweiz in Gebieten, in denen die Belastungsgrenzwerte teils massiv überschritten werden. Besonders im Winter kommt es in Ballungsräumen regelmässig zu hohen, gesundheitsschädlichen Feinstaubkonzentrationen. Die Quellen sind vielfältig, überraschend gross ist aber der Beitrag von Holzfeuerungen – das ergaben Messungen des PSI.**

Obwohl die Feinstaubbelastungen in der Schweiz seit Ende der 1980er Jahre zurückgegangen sind, liegen sie immer noch deutlich über den von der Weltgesundheitsorganisation empfohlenen Grenzwerten. Winterliche Inversionswetterlagen führen alljährlich zu starken Belastungsepisoden. Während dabei in Dörfern der Alpentäler oft Holzfeuerungen die wichtigste Feinstaubquelle sind, spielt im Mittelland der Verkehr die grösste Rolle. Mehr als die Hälfte dieser sogenannten Aerosole wird erst in der Atmosphäre aus gasförmigen Emissionen wie Stickoxiden, Ammoniak, Schwefeldioxid und Kohlenwasserstoffen gebildet. Damit tragen verschiedenste Emissionsquellen zum Problem bei: Feuerungen, Verkehr, Industrie und die Landwirtschaft. Für unsere Gesundheit ist Feinstaub nicht gleich Feinstaub. Besonders schädlich sind aller kleinste Partikel und krebserregender Russ, der vor allem aus Dieselmotoren und der Holzverbrennung stammt.

Feinstaub wirkt auch auf das Klima. Aerosole kühlen durch Rückstreuung des Sonnenlichts und Beeinflussung der Wolken die Atmosphäre und reduzieren so die globale Erwärmung durch Treibhausgase wie CO<sub>2</sub>. Auf diese Art wirkt Feinstaub im Gegensatz zu CO<sub>2</sub> aber nur kurzfristig.

Weniger Feinstaub bedeutet geringere Gesundheitsschäden. Effiziente Reduktionsmassnahmen stehen grossteils bereit, kurzfristiges Kostendenken verhindert aber oft die Umsetzung. Für eine dauerhafte Problemlösung braucht es ein ganzes Bündel an Massnahmen: etwa wirksame Partikelfilter für alle Dieselmotoren, DeNOx-Systeme zur Reduktion von Stickoxiden als Vorläufersubstanzen von sekundären Aerosolen sowie möglichst feinstaubfreie Nutzung von Biomasse. Und generell weniger Verbrauch von Brenn- und Treibstoffen senkt die Feinstaubbelastung ebenfalls.

### Inhalt

- 2 Quellen: **Woher kommt der ganze Feinstaub**
- 3 Ausbreitung und Auswirkungen: **Gesundheits- und Klimaeffekte**
- 4 Interview mit Bruno M.C. Oberle: **«Feinstaub ist eines der dringlichsten Umweltprobleme»**

# Woher kommt der ganze Feinstaub?

Jeden Winter wieder liegt zu viel Feinstaub in der Luft. Besonders schädlich sind die kleinsten Teilchen (PM<sub>1</sub>). Aber nicht nur direkte Partikelemissionen schaden uns, sondern auch Feinstaub, der sich nachträglich in der Luft aus anderen Schadstoffen bildet.



Jahr für Jahr das gleiche Schauspiel: Die Sonne versteckt sich über dem Mittelland zwischen November und März oft tagelang hinter einer grauen Hochnebeldecke. Das drückt manchen nicht nur aufs Gemüt, sondern auch auf die Lunge: Wenn die Heizungen auf Hochtouren laufen, sich jeden Morgen und Abend die Autos in den Agglomerationen Stossstange an Stossstange stauen und eine Inversionswetterlage den Luftaustausch verhindert, dann kommt es regelmässig zu gesundheitsschädlichen Feinstaubbelastungen. Aber nicht nur solche Smog-Episoden, son-

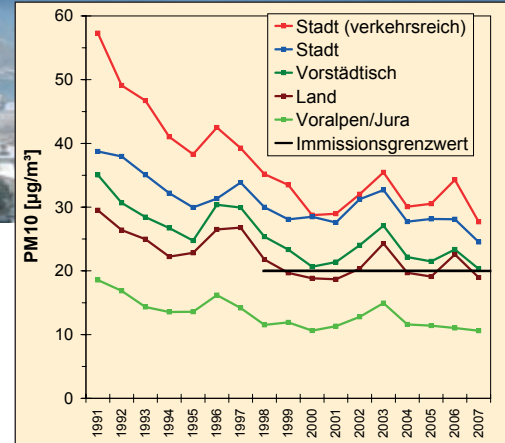
der Industrie, Ammoniak aus der Landwirtschaft und Kohlenwasserstoffe aus all diesen Quellen beteiligt. Grössere und damit weniger schädliche Partikel kommen noch durch mechanische Prozesse wie Bremsabrieb oder Wiederaufwirbelung dazu.

## Die Quellen des Übels

Kombiniert man die gemessene chemische Zusammensetzung der Aerosole mit Emissionsdaten des Bundesamtes für Umwelt, dann lassen sich die Beiträge einzelner Quellen zur Gesamtbelastung abschätzen. Hauptverursacher sind der Verkehr, Holzheizungen und offene Feuer sowie die Industrie. Nicht übersehen darf man aber auch die Landwirtschaft bzw. Öl- und Gasheizungen. Nun sind aber nicht alle Staubteilchen gleich gefährlich: Die von Dieselmotoren und Holzheizungen direkt emittierten Russteilchen schaden nicht nur der Lunge, sondern sind auch krebserregend und müssen so weit wie möglich eliminiert werden.

## Aufwändige Messungen

Hinter diesen Erkenntnissen steht eine intensive Messkampagne des PSI an vielen Orten in der ganzen Schweiz. Die meisten vom Bund und den Kantonen kontinuierlich betriebenen Stationen messen die Feinstaubmasse für PM<sub>10</sub>. Darauf beziehen sich auch die gesetzlichen Grenzwerte für die Schadstoffbelastung. Diese Messungen alleine geben aber noch keine Hinweise auf die Zusammensetzung, die Schädlichkeit und die Quellen des Feinstaubes. Die vom PSI benutzte Aerosolmassenspektrometrie erfasst die flüchtigen



PM<sub>10</sub>-Belastungen in der Schweiz: Jahresmittelwerte. Quelle: BAFU 2008

Bestandteile des Feinstaubes in geringsten Konzentrationen. Sogar kurzfristige Schwankungen lassen sich damit messen. Zusammen mit der Uni Bern wurde die in der Archäologie bekannte <sup>14</sup>C-Datierungsmethode für die Bestimmung fossiler und nicht-fossiler Kohlenstoffquellen im Feinstaub weiterentwickelt. Die Kombination dieser beiden Methoden erlaubt eine vollständige Charakterisierung von Partikeln mit Durchmessern kleiner als 1 Mikrometer (PM<sub>1</sub>).

**Feinstaub:** Besteht aus Partikeln (auch Aerosole genannt) mit einem Durchmesser von weniger als 10 Tausendstelmillimetern (10 µm Δ PM<sub>10</sub>). Sind die Teilchen kleiner als 1 µm, spricht man von PM<sub>1</sub>.

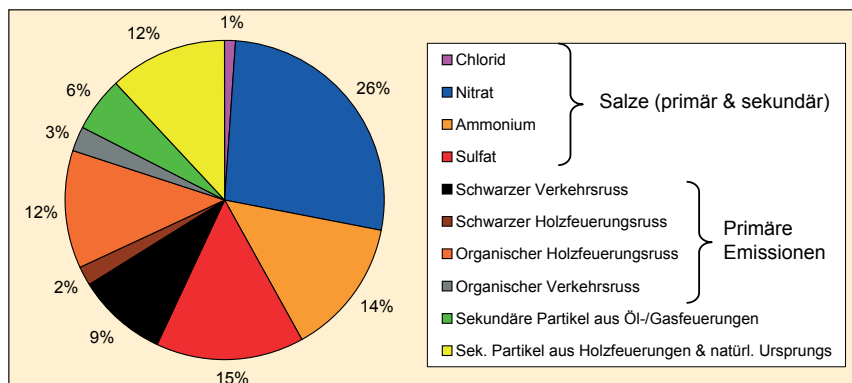
**Primäre Partikel:** Teilchen, die bei Verbrennungsprozessen entstehen und direkt von Autos, Baumaschinen, Heizungen etc. emittiert werden oder durch mechanische Prozesse in die Luft gelangen.

**Sekundäre Partikel:** Werden in der Atmosphäre durch chemische Umwandlung, Nukleation und Kondensation aus gasförmigen Vorläufersubstanzen wie Stickoxiden, Schwefeldioxid, Ammoniak und Kohlenwasserstoffen gebildet.

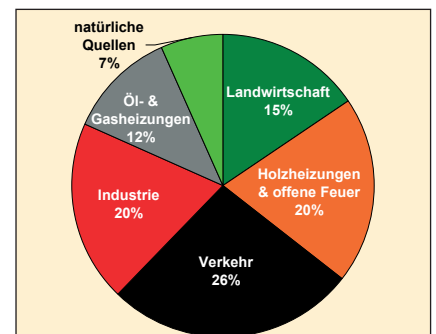
## Die Hauptverursacher: Verkehr, Holzverbrennung und Industrie

dem auch dauerhaft hohe Feinstaubkonzentrationen sind ein Gesundheitsproblem. Und diese Konzentrationen sind in der Schweiz seit Jahren zu hoch. Weniger Emissionen aus Verkehr und Industrie haben die Situation zwar zwischen 1990 und 2000 verbessert, seither stagniert die Entwicklung aber.

Die Partikel setzen sich ganz unterschiedlich zusammen: Neben Russ aus Dieselauspuffen und schlecht betriebenen Holzfeuerungen sind auch eine Menge Salze, die sich meist aus verschiedenen gasförmigen Luftschadstoffen bilden, in Aerosolform in der Luft. Diese sogenannten sekundären Partikel machen an einem typischen Wintertag in der Stadt sogar den Grossteil der Belastung aus. An den chemischen Umwandlungen sind Stickoxide aus dem Verkehr und der Industrie, Schwefeldioxide aus Ölheizungen und



Typische Zusammensetzung von PM<sub>1</sub>-Feinstaub in Zürich im Winter. (Quelle: PSI, Prevot et al.)



Mittlerer Beitrag verschiedener Quellen zum PM<sub>1</sub>-Feinstaub in Zürich im Winter. (Quelle: PSI, Prevot et al.)

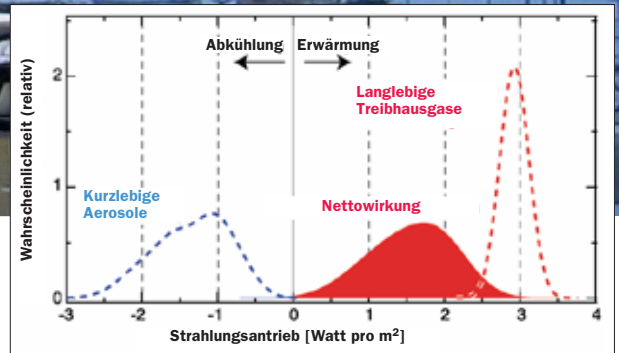


# Gesundheits- und Klimaeffekte

**Unser Organismus leidet unter Feinstaub in der Luft: Mit zunehmender Belastung fällt das Atmen schwer, chronische Bronchitis, Asthma, Herz-Kreislauf- und Krebserkrankungen nehmen zu, die Sterblichkeit steigt. Und zwar nicht nur direkt neben den Quellen, sondern auch noch weit davon entfernt.**

Je kleiner die Partikel, desto tiefer dringen sie in das Lungensystem ein und entfalten ihre schädliche Wirkung: Es kommt unter anderem zu Entzündungsprozessen, die wiederum Folgeerkrankungen auslösen. Während sich 5–10 µm kleine Teilchen im Nasen- und Rachenraum ablagern und

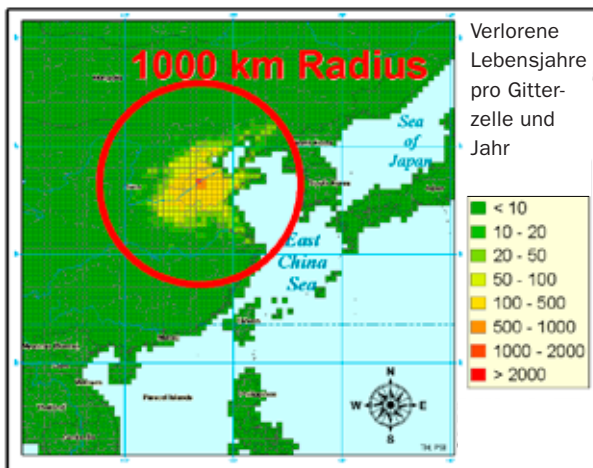
Die rote gestrichelte Kurve zeigt die erwärmende Wirkung (den sogenannten Strahlungsantrieb) der Treibhausgase und ihren Unsicherheitsbereich: je breiter die Kurven, desto höher die Unsicherheit. Blau gestrichelt die abkühlende Wirkung der Aerosole; die Unsicherheit ist hier viel höher als bei den Treibhausgasen. Der Netto-Effekt (rote ausgezogene Kurve) weist deshalb auch hohe Unsicherheit auf. Das macht Voraussagen über die zukünftige Entwicklung des Klimas unsicher (nicht ob, sondern wie schnell es wärmer wird). Quelle: IPCC 2007



## Die Mittel zur Feinstaubreduktion sind grossteils vorhanden

von dort vom Organismus selbst entfernt werden können, gelangen Partikel kleiner als 1 µm bis in die Lungenbläschen. Mit dem Blut verteilen sie sich im ganzen Körper. Aller kleinste Staubteilchen schaffen es sogar in Körperzellen und deren Kern.

Die Wirkungen sind durch viele Studien belegt, auch in der Schweiz: Die Feinstaubbelastung verschlechtert die Lungenfunktion, führt zu akuten und chronischen Gesundheitsschäden und erhöht die Sterblichkeit. Wie die einzelnen Bestandteile des Feinstaubes im Detail wirken, weiss man jedoch noch nicht sehr genau.



**Erhöhte Sterblichkeit** durch primäre und sekundäre Partikel aus einem einzigen grossen Kohlekraftwerk in China (Mitte des Kreises) bei einer Bevölkerung von 100'000 bis 4 Mio. pro Gitterzelle in der betroffenen Region. (Quelle: PSI, Heck)

## Unterschätzte Fernwirkung

Anders als man glauben würde, ist Feinstaub nicht nur ein lokales Problem am Ort der Quellen. Durch den Wind werden Vorläufersubstanzen und die emittierten Partikel selbst zum Teil über Hunderte von Kilometern transportiert. Die Emissionen eines einzelnen grossen Kohlekraftwerks wirken auch noch in einer Entfernung von 1000 km gesundheitsschädigend. Die Auswirkungen sind dabei immer ein komplexes Zusammenspiel von Wind und Klimabedingungen, von der Stärke und Lage der Emissionsquellen und der Bevölkerungsverteilung.

Hierzulande sind die Quellen gleichmässiger verteilt. Die Distanzen, in denen die Emissionen ihre Schäden anrichten, sind aber ähnlich. Auch der in Zürich gemessene Feinstaub stammt zum Teil aus weit entfernten Emissionsquellen in der Schweiz oder im Ausland, auch aus der offenen Verbrennung von Feld- und Waldabfällen.

## Globaler Schatten

Partikel in der Luft wirken zudem auf das Klima. An diesen Effekten wird auch im ETH-Bereich intensiv geforscht. Das PSI führt seit 1995 regelmässige Messungen auf dem Jungfrauoch durch mit dem Ziel, diese Effekte besser zu quantifizieren. Auch wenn noch einiges unklar ist: Die hohen Emissionen von Schwefeldioxid, Stickoxiden und primärem Feinstaub in allen bewohnten Teilen der Welt haben eine deutlich abkühlende Wirkung auf das Weltklima. Auf den ersten Blick erscheint

das positiv, da wir uns sonst noch mehr Sorgen um die globale Erwärmung durch CO<sub>2</sub> und andere Treibhausgase machen müssten. Tatsächlich ist die Kühlung durch Partikel jedoch eine Maskierung des aktuellen Klimawandels: Aerosole sind nur für zirka eine Woche in der Atmosphäre und kühlen so nur kurzfristig, während CO<sub>2</sub> über Jahrzehnte hinaus wirksam bleibt.

## Gegenmassnahmen

Die Feinstaubkonzentrationen müssen aus gesundheitlichen Gründen dauerhaft gesenkt werden. Die technischen Mittel dazu sind zum Grossteil vorhanden. Effektive Partikelfilter für Dieselmotoren, egal ob sie Privatautos, LKW, Baumaschinen oder Traktoren antreiben, senken die Emissionen drastisch. Holz können wir schon heute fast feinstaubfrei nutzen: wirksame Filter für grössere Heizungen sind vergleichsweise günstig, als Alternative bietet sich die Vergasung an. Auch für kleinere Holzfeuerungen gibt es bereits Filter, deren Wirkung allerdings noch verbessert werden muss. Und eine bessere Wärmedämmung bei Gebäuden reduziert den Heizbedarf an sich und damit Feinstaubvorläufersubstanzen.

An weiteren Massnahmen wird geforscht, auch am PSI. Etwa an neuen DeNOx-Verfahren zur Reduktion von Stickoxid-Emissionen von Dieselmotoren als Ergänzung zu Partikelfiltern. Und die Erforschung der Verbrennungsprozesse in Gasturbinen wird helfen, Emissionen von Vorläufersubstanzen aus Erdgas-, Biogas- und Kohlekraftwerken zu senken.

# «Feinstaub ist eines der dringlichsten Umweltprobleme»



**Bruno M.C. Oberle,** promovierter Biologie und Umweltwissenschaftler ETH, ist seit 1. Oktober 2005 Direktor des Bundesamtes für Umwelt (BAFU, ehemaliges

BUWAL). Von 1999 bis 2005 war er als Vizedirektor für den technischen Umweltschutz zuständig. Zuvor betätigte sich Oberle als Berater im Bereich Umweltmanagement und -schutz sowie als ETH-Dozent für Umweltnaturwissenschaften.

## Wie schätzen Sie die vom Feinstaub ausgehende Gesundheitsgefahr für die Schweizer Bevölkerung ein?

Aus gesundheitlicher Sicht ist die Luftverschmutzung durch Feinstaub sicherlich eines der dringlichsten Umweltprobleme. Die Luft ist unser wichtigstes Lebensmittel, weil wir Tag und Nacht atmen und uns nicht vor schlechter Luft schützen können. Eine stark verschmutzte Atemluft beeinträchtigt die Gesundheit und kann im schlimmsten Fall sogar zum Tod führen. In Europa gehen jährlich rund 3 Millionen Lebensjahre als Folge der Luftbelastung durch Feinstaub verloren. Allein in der Schweiz sind es jährlich mehr als 40'000 verlorene Lebensjahre. Das entspricht etwa 350'000 frühzeitig verstorbenen Menschen pro Jahr in Europa bzw. 3000 bis 4000 in der Schweiz.

## Wo sehen Sie die primären Ursachen des Problems und welche Massnahmen sind vorgesehen, um die Belastung zu senken? Wo liegen die Prioritäten?

Am stärksten betroffen sind rund 3 Millionen Menschen in den Städten und Agglomerationen sowie im Südtessin - insbesondere entlang von viel befahrenen Strassen. Zum Teil wird der Feinstaub-Jahresgrenzwert an diesen Orten um fast das Doppelte überschritten. Mit dem 2006 lancierten Aktionsplan Feinstaub hat die Schweiz aber einen wichtigen Schritt zur Verminderung der Feinstaub-Belastung getan, indem der Schadstoff-Ausstoss von Dieselfahrzeugen, neuen Holzheizungen und industriellen Anlagen klar verringert wurde. Die Luftreinhalteverordnung sieht zudem auch eine periodische Anpassung der Emissionsvorschriften an den Stand der Technik vor. Diesen Weg gilt es konsequent weiter zu gehen. All diese Massnahmen zur Verbesserung der Luftqualität haben nämlich nachweislich positive Effekte auf die Volksgesundheit: Neuste wissenschaftliche Untersu-

chungen in der Schweiz zeigen, dass sich die Gesundheit von Kindern und Erwachsenen relativ rasch verbessert, wenn der Schadstoffgehalt der Luft abnimmt.

## Wie sind hier die Kompetenzen zwischen Bund und Kantonen verteilt? Gibt es auch einen grenzüberschreitenden Dialog zwischen den Regierungen in Europa, um die Feinstaubbelastung zu senken?

Der Bund ist hauptsächlich für den Erlass der dauerhaften, schweizweit geltenden Massnahmen zuständig. Die lokale Verkehrspolitik, Gebäudeenergievorschriften und Massnahmenpläne liegen dagegen in der Kompetenz der Kantone, die grösstenteils auch für den Vollzug der Luftreinhalte-Massnahmen zuständig sind. Die internationale Zusammenarbeit ist wichtig, da die Luftverschmutzung grenzüberschreitend ist und die Schweiz entscheidende Vorschriften wie Abgasgrenzwerte mit der EU harmonisiert hat. Internationale Kontakte finden beispielsweise im Rahmen der UNECE Konvention über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung, in EU-Arbeitsgruppen oder bei Umweltministertreffen statt.

## Der Immissionsgrenzwert für die Feinstaubkonzentration ist in der Schweiz tiefer als in der EU. Warum ist das so und welche Konsequenzen ergeben sich daraus?

Massgebend für die Festlegung der Immissionsgrenzwerte (IGW) in der Schweiz sind die Vorgaben im Umweltschutzgesetz, das den Bundesrat verpflichtet, die IGW derart festzulegen, dass bei ihrer Einhaltung Menschen, Tiere, Pflanzen, Böden usw. vor schädlichen und lästigen Auswirkungen der

Luftschadstoffe geschützt sind. Diese Grenzwerte richten sich also an einem gesundheitlichen Schutzziel aus. Sie stimmen grösstenteils mit den Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation WHO überein. Die momentan geltenden Grenzwerte der EU sind dagegen als im vorgegebenen Zeitrahmen in allen Mitgliedsstaaten zu erreichende Zwischenziele anzusehen. Es ist anzunehmen, dass die EU zu einem späteren Zeitpunkt noch strengere Werte festlegen wird.

## Am stärksten betroffen sind 3 Millionen Menschen in den Agglomerationen

## Wie schätzen Sie die Rolle der Forschung ein, wo besteht für Sie Forschungsbedarf?

Die Forschung liefert der Politik die Grundlagen, auf deren Basis Massnahmen geplant und umgesetzt werden. So wurden z.B. die Feinstaub-Grenzwerte der Schweiz auf der Basis der Resultate der grossen Schweizer Kohortenstudie SAPALDIA festgelegt. Insofern spielt die Forschung eine entscheidende Rolle im Kampf für bessere Luft. Forschungsbedarf besteht unter anderem bei der Charakterisierung, Quantifizierung und Modellierung von Emissionen aus Holzheizungen oder aus dem Abrieb von Materialien wie Autoreifen oder Bremsen. Zudem müssen die gesundheitlichen Wirkungen von einzelnen Fraktionen der Feinstaubmischung noch besser charakterisiert werden. Sind z.B. Verkehrsabgase schädlicher als Holzrauch oder welche gesundheitliche Bedeutung haben Partikel aus dem Ferntransport?

## Impressum

**Energie-Spiegel** ist der Newsletter des PSI zur ganzheitlichen Betrachtung von Energiesystemen (Projekt GaBE). Er erscheint alle vier Monate. Beiträge zu dieser Ausgabe von A. Prevot, T. Heck und U. Baltensperger.

ISSN-Nr.: 1661-5093

**Auflage:** 15 000 Ex. Deutsch, 4000 Ex. Französisch, 800 Ex. Englisch  
Bisherige Ausgaben als Pdf (D, F, E):  
<http://gabe.web.psi.ch/>

### Verantwortlich für den Inhalt:

Paul Scherrer Institut  
Dr. Stefan Hirschberg  
5232 Villigen PSI, Schweiz  
Tel. 056 310 29 56, Fax 056 310 44 11  
[stefan.hirschberg@psi.ch](mailto:stefan.hirschberg@psi.ch); [www.psi.ch/GaBE](http://www.psi.ch/GaBE)

**Redaktion:** Christian Bauer

**Verteilung und Subskription:**  
[energiespiegel@psi.ch](mailto:energiespiegel@psi.ch)

**Layout:** Paul Scherrer Institut

**Energiesystem-Analysen am PSI:** Ziel der Energiesystem-Analysen am Paul Scherrer Institut, Villigen, ist eine umfassende und detaillierte Beurteilung heutiger und zukünftiger Energiesysteme. Betrachtet werden neben Technologien insbesondere gesundheitliche, ökologische und ökonomische Kriterien. Auf der Basis von Life Cycle Assessment (LCA), energiewirtschaftlichen Modellen, Risikoanalysen, Schadstoff-Ausbreitungsmodellen und schliesslich einer Multikriterien-Analyse ist es möglich, unterschiedliche Energieszenarien zu vergleichen, um Grundlagen für politische Entscheidungen zu schaffen.

### Zusammenarbeiten mit:

ETH Zürich; EPF Lausanne; Empa; Massachusetts Institute of Technology (MIT); University of Tokyo; Europäische Union (EU); International Energy Agency (IEA); Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD); Organisation der Vereinten Nationen (UNO)