

**Prof. Dr. Gian-Luca Bona**

Direktor der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Empa und Professor für Photonik an der ETH Zürich und EPF Lausanne. Wissenschaftlicher Schwerpunkt auf photonischen Materialien und deren Anwendung auf neue Applikationen im Bereich Kommunikation, Interconnects und Sensoren.

www.empa.ch

**Lebenszyklus und graue Energie**

Umfassende und ganzheitliche Betrachtungen der Stoff- und Energieflüsse bei Bau, Betrieb und Erneuerung von Bauwerken sind entscheidend, um eine nachhaltige Entwicklung und Erneuerung unseres Lebensraumes bei hoher Lebensqualität zu erreichen.

[Transkription]

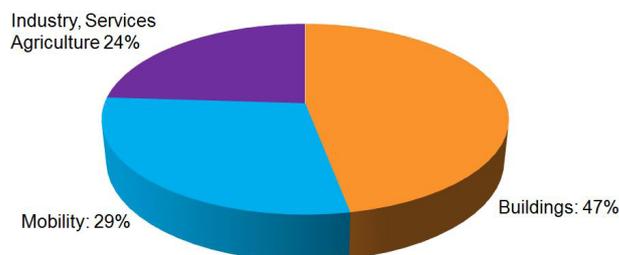
Vielen Dank. Ich habe nun die grosse Herausforderung, Ihnen das Thema «Graue Energie» näher zu bringen und Sie hierfür zu sensibilisieren. Herausforderung deswegen, da ich als technisch-naturwissenschaftlich interessierter Mensch natürlich weiss, dass ich nicht immer das gemacht habe, was nötig gewesen wäre, um meinen Footprint zu optimieren. Aber ich glaube, ich beziehungsweise wir alle sind irgendwie Teil der Natur, Teil des grossen Ganzen, und genau das sollten wir uns immer wieder vor Augen führen, wenn wir darüber reden, Dinge zu verbessern, umzusetzen und unseren Beitrag hierfür zu leisten. Graue Energie und Life Cycle Assessments sind herausfordernde Themen, vor allem aus Sicht eines Naturwissenschaftlers. Ich habe mir ein paar Gedanken dazu gemacht und bin dabei auf einige einfache, pragmatische Vorschläge gekommen, wie wir die graue Energie im Baubereich senken können.

**Im Baubereich**

Physiker mögen Zahlen und wollen damit darstellen, was «at stake» ist. Wir setzen in der Schweiz im Baubereich jährlich rund 54 Milliarden Schweizerfranken um, etwa gleich viel wie im health care-Bereich beziehungsweise in den life sciences, und bei beiden ist natürlich die chemische Industrie, aber nicht nur diese, stark involviert. Wir setzen in der Schweiz auch eine Unmenge an Materialien um, nämlich 70 Millionen Tonnen im Bau. Ich weiss, der Bausektor ist im Moment etwas überhitzt, aber fast die Hälfte des Energieverbrauchs entfällt auf den Baubereich. Das ist wirklich ein enorm hoher Anteil.

Abbildung 1 Energiestatistik

1 Energieverbrauch in der Schweiz in den ersten zehn Jahren des 21. Jahrhunderts: Gebäude sind für nahezu die Hälfte des inländischen Energieverbrauchs verantwortlich, Verkehr und Transport für weitere 30%. Quelle: Bundesamt für Energie BFE.



Analysis of Swiss energy consumption 2000-2009 according to usage, 2010, SFOE



Die fossilen – und damit CO<sub>2</sub>-produzierenden – Energieträger waren und sind enorm wichtig. Die Schweiz hat sich entschieden, den nuklearen Teil zu eliminieren, natürlich mit der Hoffnung, diesen durch Wasserkraft und erneuerbare Energien zu ersetzen. Das wird vermutlich schwierig; derzeit geht der Trend für mich eher Richtung Gas. Da ergibt sich vermutlich ein Spannungsfeld, dem wir uns stellen müssen.

Was ist überhaupt graue Energie? Sie wissen es vermutlich alle besser als ich. Ich habe einfach auf Wikipedia nachgeschaut. Ein typischer Haushalt in Europa verbraucht zweimal so viel graue wie direkte Energie, also Energie, die wir direkt zum Heizen, für Licht und elektrischen Konsum aufwenden. Ein Grund hierfür ist: Die Schweiz baut für die Ewigkeit, unsere Gebäude stehen sehr, sehr lange. Die Amerikaner bauen für eine oder zwei Generationen. Was ist richtig? Was ist gut? Ich will nicht moralisierend wirken, aber man muss sich einfach vor Augen halten, dass man früher den Energieverbrauch unserer Gebäude praktisch nicht berücksichtigt hat; erst mit den neuen Technologien ist dies stärker ins Zentrum gerückt. Wenn man zusammenzählt, was zwischen 1900 und 1960/70/80 gebaut wurde, kommt man auf etwa 1,5 Millionen Häuser in der Schweiz, die aus heutiger Sicht deutlich zu viel Energie verbrauchen. Als Benchmark müssten wir den Verbrauch um den Faktor 5 bis 10 reduzieren, indem man innovative Bau- und Gebäudetechnologien nutzt. Ein Beispiel: Das Forum Chriesbach ist ein Gebäude auf dem Empa-Eawag-Campus in Dübendorf, das Energie deutlich effizienter nutzt und damit den Energieverbrauch um weit mehr als einen Faktor 10 reduziert. Wir haben viel gelernt, und inzwischen kann man aus solchen Gebäuden wie hier solche machen. Es geht also nicht immer nur darum, dass man alles abbricht und wieder neu aufbaut, man kann auch an der bestehenden Bausubstanz einiges verbessern. Hier sehen Sie unsere Partner, die mitgewirkt haben und mit uns versucht haben, solche innovativen Retrofit-Konzepte umzusetzen, die letztlich den Energieverbrauch und die damit einhergehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen massiv reduzieren. Ausserdem lassen sich so die Abhängigkeit vom Ausland reduzieren und Jobs innerhalb der Schweiz generieren. Ein schöner Nebeneffekt ist, dass einem vielleicht diese Architektur erst noch besser gefällt als die alte. Und in diesem Fall ist der Umbau auch ökonomisch lohnend, weil in urbanen Gebieten wie Zürich, wo die Wohnungspreise stetig steigen, allein schon die zusätzliche Attikawohnung die gesamten Kosten des Umbaus trägt. Bei diesen Umsetzungen geht es auch immer darum, wie man es genau macht. Kann man etwas standardisieren? Kann man vorfabrizieren? Kann man Solarenergie oder andere nachhaltige Energiequellen einsetzen, wenn man so etwas umbaut? Kann man modernste Techniken einsetzen, durch bessere oder sinnvollere Isolation den Wohnraum sogar noch etwas erweitern und entsprechend auf den neusten Stand bringen, so dass man sich schlussendlich darin wohlfühlt?

Hier ist nochmals das Gebäude der Eawag, das Forum Chriesbach. Auf dem Internet können Sie jederzeit nachverfolgen, welches die aktuellen Innen- und Aussentemperaturen sind, was die Photovoltaik leistet und wie es mit dem Stromverbrauch aussieht. Dadurch können wir verstehen, welche Prozesse sinnvoll waren oder wie man diese noch verbessern könnte. Mir gefällt das Beispiel, weil man seit 2005 bereits einiges gelernt hat. Ich glaube, es ist sehr wichtig, dass man aus der Vergangenheit lernt und es künftig besser macht, vor allem wenn es um graue Energie geht. Das Ziel war, auf unter 5000 Megajoule pro Quadratmeter zu kommen. Dieses Ziel ist recht schwer zu erreichen, wie man hier sieht. Es hängt damit zusammen, dass man gewisse ökonomische Überlegungen machen muss und diese ebenfalls sehr schwer umsetzen kann.



Wie Sie sehen, nimmt der Anteil der grauen Energie im Vergleich zum Rest relativ langsam ab, er ist schwer in den Griff zu bekommen. Wärme und Kälte, das habe ich Ihnen vorher gezeigt, können dank neuer Technologien besser kontrolliert werden. Es braucht zum Beispiel nicht überall Kupferleitungen. Man kann durch Infrarot- oder andere Fernbedienungen eine bessere Effizienz erreichen und damit Rohstoffe sparen. Zur grauen Energie tragen sehr viele Elemente bei. Eine Grundregel, die ich Ihnen aufzeigen möchte, ist, dass man Lebens- und Nutzungsdauer eines Gebäudes in ein gewisses Gleichgewicht bringen muss. Man muss sich überlegen, wie man mit passenden Rohstoffen einfach, leicht und trotzdem sicher bauen kann, wie lange man ein Gebäude nutzen will, wie lange man sich drin wohlfühlen wird – und dies alles in eine gewisse Balance bringen. All dies kann man heute quantitativ sehr gut erfassen, wie hier gezeigt; aber dies nachträglich zu verbessern, ist äusserst schwierig. Ich möchte Ihnen im Folgenden einige Beispiele zeigen, wo das hinführen könnte.

### **Beispiel leichtere Konstruktionen bauen**

Hier sehen Sie zum Beispiel den neuen Bahnhof Stettbach, den man nach 20 Jahren völlig neu gestaltet hat. Das sind die neuen Ständer für Velos und Töffs. Hier sieht man, wie man dies auf der anderen Seite des Areals gemacht hat. Ich habe es absichtlich bei Regenwetter fotografiert, weil ich es für ein Trauerspiel halte. Was man da verbaut hat, sind 40 cm Beton für ein Dach, das nicht unbedingt diese Dimension braucht. Es lastet nur Luft darauf, und es sollte ein wenig vor Regen schützen. Eigentlich wissen wir, was man heute mit gewissen neuen Betonarten machen kann. Wir wissen, dass man sie durch Kohlefasern verstärken kann. Wir wissen, dass man sie vorspannen kann. Alle diese Technologien, die heute in anderen Bereichen entwickelt und genutzt werden, kann man auch auf Dinge wie Veloständer anwenden. Ich plädiere sehr dafür, dass man interdisziplinär überlegt, wie man Dinge, die im einen Bereich entwickelt wurden, in einem anderen Bereich nutzen kann. Selbst unter Berücksichtigung gewisser Bau- und Sicherheitsvorschriften sieht man, dass man mit neuartigen Betontechnologien rund 50 % weniger Beton benötigt und trotzdem dieselbe Performance erreicht. Man kann dadurch auch neue, spannende architektonische Elemente kreieren. Ein Teil unserer Aufgabe bei der Empa ist es, solche Konzepte anzudenken und dann in die Praxis zu übertragen und mit Firmen umzusetzen. Und dazu braucht es das Wechselspiel zwischen den verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen, das reicht von den klassischen Ingenieurwissenschaften bis zur Nanotechnologie.

Lassen Sie mich noch ein weiteres Beispiel anführen. Aerogele sind nichts anderes als Schäume. Schäume, die für die Raumfahrt entwickelt wurden. Schäume isolieren sehr gut, sind aber auch sehr leicht. Aus Aerogelen kann man heute ein Granulat machen wie dieses hier. Es hat Silikatstoffe drin und eine um einen Faktor 3 bessere Isolation als konventionelle Polyurethan- oder andere Schäume. Auch hier versuchen wir derzeit, dies mit einem Industriepartner in die Praxis umzusetzen, auf den Markt zu bringen. Mit solchen Bausubstanzen könnte man beispielsweise Fachwerkhäuser und andere geschützte Bauwerke auf den heutigen Isolationsstand bringen. Was Sie hier sehen, ist ein Test, der gerade an der Empa läuft. Die Frage dabei ist: Wie kann ich einen solchen Aerogelputz aufbringen, ohne die Grundsubstanz eines solchen Fachwerkhäuses zu verändern? Eigentlich ganz pragmatisch, was wir machen.



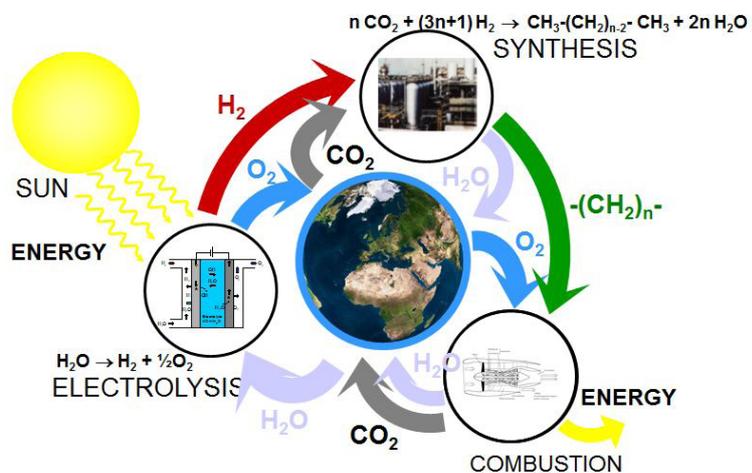
Auch die Photovoltaik bietet zahlreiche Möglichkeiten. Wenn man Nanotechnologie und Photovoltaik zusammennimmt, sind es nur einige hundert Nanometer dünne Schichten aus Titandioxid mit einem Farbstoff zwischen zwei Glasplatten. Damit kann man heute eine Solarzelle machen. Man kann Strom generieren durch das Licht, das auf eine Fassade fällt. Wenn Sie das jetzt noch über das gesamte Strahlenspektrum der Sonne anschauen, dann können Sie mit bestimmten Farbstoffen in diesem sichtbaren Teil Strom gewinnen, mit anderen Farbstoffen in diesem Teil, etwa dem Infrarotbereich. Es geht also darum, verschiedene einfache, metallfreie organische Farbstoffe herzustellen, zum Beispiel diese Squaraine, die je nachdem, wie lange dieser molekulare «Schwanz» hier ist, einen anderen Teil des Sonnenlichts absorbieren, und in Panele einzubringen. Zurzeit haben diese organischen Solarzellen natürlich noch einen relativ bescheidenen Wirkungsgrad. Aber wenn man verschiedene Farbstoffe kombiniert, hat man gegenüber kristallinem Silizium den Vorteil, dass die Absorptionsbreite einen grösseren Bereich des Sonnenlichts abdeckt. Das heisst: Ein solches Gebäude mit dieser grünen Fassade, wie wir es hier in Zürich gebaut haben, könnte mit Solarzellen in der Glasfassade bestückt werden – und dadurch bei einer Effizienz von gerade einmal 2 % rund 1/5 des Energieverbrauchs des Gebäudes abdecken.

Was ich damit anregen möchte ist, dass man sich Gedanken macht, wie man moderne und wohldurchdachte Technologien für die Zukunft einsetzen kann, indem man die ganzen Produktions- und Entsorgungswege oder Kreisläufe berücksichtigt. Auch hier plädiere ich dafür, interdisziplinär zu denken. Dafür ist die Schweiz ja geradezu prädestiniert. Wir haben eine breite Kultur, wir haben ausgezeichnete Wissenschaftler, und die ETHs verzeichnen ein rund 20 %-iges Wachstum in den naturwissenschaftlichen Fächern. Das finde ich bemerkenswert. Ich sehe, dass wir da riesige Chancen haben. Die Chancen, die ich sehe, sind für mich aber auch ein Müssen. Den Motor, den diese Welt antreibt, nämlich die Sonne, müssen wir irgendwie vernünftig nutzen. Das macht die Natur auch nicht anders, nämlich indem sie Photosynthese betreibt, Biomasse erzeugt, die dann über Hunderttausende von Jahren in Rohöl umgewandelt wird, und wir verbrennen dieses jetzt möglichst schnell, in Hunderten oder weniger Jahren. Eigentlich müssten wir uns überlegen, ob wir ähnliche synthetische Wege finden, um einen Rohstoff in Kreisläufen zu machen, die an unseren Lebenszyklus angepasst sind.

Abbildung 2 Synfuels

2 Warum etwas entsorgen, wenn es sich nutzen lässt? Empa-Forscher wollen eine ehrgeizige Vision in die Realität umsetzen: Aus Wasserstoff und dem Treibhausgas Kohlendioxid soll ein flüssiger Kohlenwasserstoff entstehen, der ganz normal getankt wird. Im Labor funktioniert es bereits. Quelle: Empa.

### Synthetic Hydrocarbons



Man kennt heute die Hydrolyse, also wie man aus Wasser Sauerstoff und Wasserstoff macht durch Solarzellen mit grossen Bandlücken (mit Galliumnitrid). Man weiss auch, dass man Kohlenwasserstoffe – der Hauptbestandteil von Öl und Benzin – künstlich synthetisieren kann. Das hat man bereits im Zweiten Weltkrieg gemacht, sehr ineffizient zwar, aber mit katalytischen Methoden kann man durchaus längerkettige Kohlenwasserstoffe herstellen – also künstliches Öl, das man dann in effizienteren Maschinen entsprechend nutzen kann. Damit kann man unseren Motor Sonne, der die Erde antreibt, sinnvoll nutzen.

Konzepte wie das Forum Chriesbach und «self», unser mobiles, energie- und wasser-autarkes Wohn- und Arbeitsmodul, das wir 2010 an der Empa entwickelt haben und das zahlreiche neue Technologien enthält, zeigen uns Wege in die Energiezukunft und damit die Zukunft des Bauens auf. Das wollen wir nun noch weiter entwickeln, und zwar mit einem neuen Konzept, «NEST», einer Art Arbeitsplattform und Gästehaus, das sich immer wieder verändert und adaptierbar ist, um neuartige Technologien, die man im Labor entwickelt hat, auch im «wirklichen Leben» testen zu können. Mir schwebt eine Art Leuchtturm vor, der die solare Nutzung der Energie, Leichtkonstruktionen, den Leichtbau allgemein demonstriert, vor Augen führt und auf ihre Eignung für den Alltagsbetrieb testet. Beispielsweise kann hier oben in den zweistöckigen Attikawohnungen Trittschall und Akustik bei Leichtbaukonstruktionen untersucht werden.

Abbildung 3 Self

3 «Self» ist eine moderne energie- und wasserunabhängige Raumzelle zum Wohnen und Arbeiten für zwei Personen. Die Forschungsinstitute Empa und Eawag entwickeln und testen darin neue Gebäudekonzepte sowie Energie- und Wassertechnologien. Quelle: Empa.



Abbildung 4 NEST

4 Das geplante Gebäudelabor «NEST» auf dem Empa-Eawag-Campus in Dübendorf (Empa / Gramazio & Kohler): In ein Stahlbetonskelett mit offenen Stockwerken lassen sich Forschungsmodule einschieben, die sich dann im Alltagseinsatz bewähren müssen. Auf mehr als 600 Quadratmeter Nutzfläche pro Stockwerk können hier visionäre und pragmatische Ideen, modernistische und traditionelle Wohnkonzepte gegeneinander antreten und so der Bauforschung neue Impulse verleihen. Quelle: Empa.



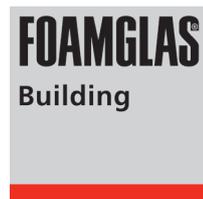
## Modulare Konzepte

Genauso wie wir uns stetig verändern, sollte idealerweise auch unser Haus mitwachsen und sich verändern, natürlich möglichst intelligent, modular vielleicht. Wir sind heute sehr stark abhängig von Informations- und Kommunikationstechnologien. Das kann man nicht negieren. Ich finde, man muss diese Techniken integrieren, um schlussendlich auch auf Umwelteinflüsse richtig reagieren zu können, sich anzupassen. Dieses Konzept steht hinter «NEST», und das möchten wir in Partnerschaft mit der Industrie umsetzen – wofür ich zurzeit noch Sponsoren suche. Ich glaube, man muss derartige Projekte gemeinsam umsetzen. Was wir machen müssen, ist die Brücke bauen, damit wir über multidisziplinäre Zusammenarbeit innovative Lösungen auf den Markt, in die Praxis bringen können. Materialien, Technologien und Prozesse sind sehr entscheidend, ob wir graue Energien im Baubereich optimieren können. Dabei müssen wir schauen, dass wir die ökonomischen Bedingungen und die technischen Möglichkeiten in der Konstruktion – und ich sage hier auch im Mobilitätsbereich, weil das heute stark zusammenhängt – miteinander ins Gleichgewicht bringen und ganzheitlich betrachten.

Dies waren einige Ideen mit Lösungsansätzen, wie sie sich ein Physiker überlegt.

Vielen Dank.

Herzlichen Dank unseren Projektpartnern



Medienpartner

