

Die Expedition viaGialla

Prof. Dr. Hansjürg Leibundgut

ETH Zürich, Institut für Technologie in der Architektur, Professur für Gebäudetechnik

16.05.2011

In der ersten Vorlesung an der ETH im Oktober 2005 sagte ich meinen Studierenden «Es ist verboten Feuer zu entfachen in Gebäuden».

In meiner Eintrittsvorlesung am 29. Mai 2006 präsentierte ich u.a. die folgende Folie:

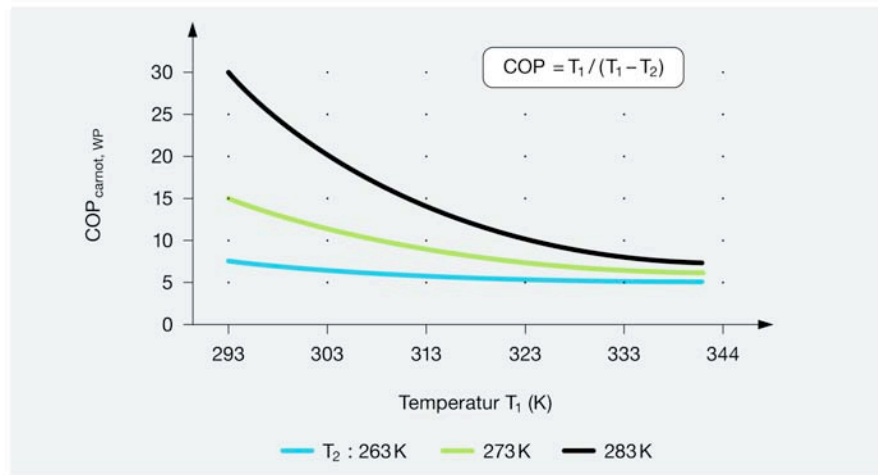
Cocktail zur C-Therapie

- 90% der Gebäude werden ausschliesslich mit Strom betrieben.
- Biomasse wird nicht mehr verbrannt, sondern in Treibstoff umgewandelt.
- Die akzeptierte Menge von ca. 8 - 10 Mia Tonnen Kohlendioxid (heute 26 Mia) wird zu 90% für die Wirtschaftssektoren Transport und Spezialindustrie verwendet.
- Alle Energieumwandlungsprozesse werden massiv besser sein, damit der Elektrizitätsbedarf einfacher zu decken ist.
- Der Strom wird CO₂-frei erzeugt.
- Die Stromproduktion wird keine problematischen Stoffflüsse hervorrufen.

Cocktail zur C-Therapie

Als vierten Punkt zeigte ich die Darstellung des «Coefficient of Performance» (COP) einer Wärmepumpe in Funktion der Temperaturen der Anergiequelle T₂ und der Wärmesenke T₁:

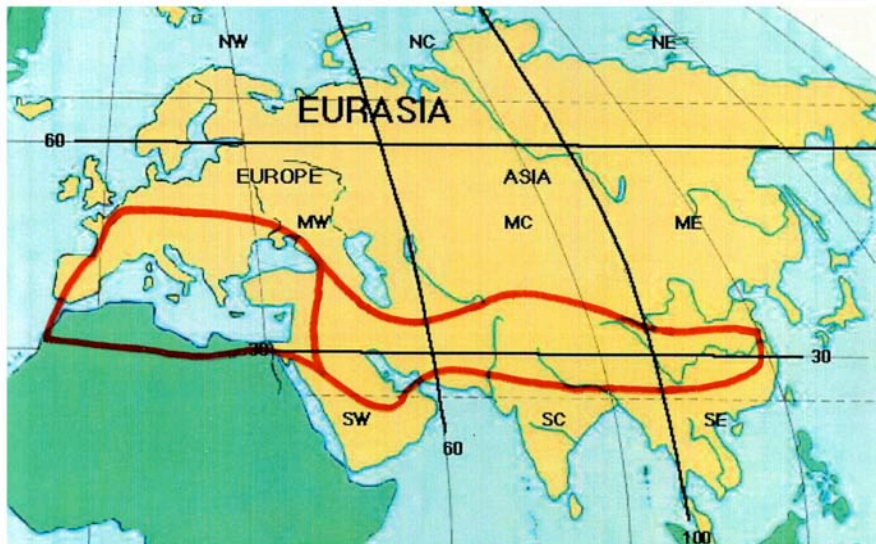
COP einer Wärmepumpe



Der COP ist sehr sensitiv bezüglich der Temperaturen der beiden Reservoirs.

Der COP ist sehr sensitiv bezüglich der Temperaturen der beiden Reservoirs.

Als fünften Punkt zeigte ich ein Bild der eurasischen Stromschiene:



Die Eurasische Stromschiene verbindet die besten Ernteplätze und die urbanen Zentren untereinander.

Die Eurasische Stromschiene

*Die CO₂-freie Stromversorgung Eurasiens
ist technisch machbar, mengenmässig
realisierbar und finanzierbar ...*

... wenn wir den Strom intelligent einsetzen.

Nach der allgemeinen Übersicht formulierte ich den Focus meiner Professur an der ETH Zürich in einem Satz:

*Die Professur Gebäudetechnik der ETH Zürich
konzentriert sich folglich auf die
massive Verringerung des Stromverbrauchs
von Gebäuden.*

und etwas später:

Low-Ex-Gebäude

- > Keine Verbrennungsprozesse!
Gebäude erhalten von Aussen Energie in Form von Elektrizität.
- > Strom CO₂-frei produziert
- > Strombezug vom Netz < 700 kWh / (Person × a)

Das Institut für Hochbautechnik im Departement Architektur an der ETH Zürich will signifikante Beiträge leisten für den Entwurf, die moderne Fabrikation und den nachhaltigen Betrieb von niedrig-Exergie (low-ex) Wohn- und Bürogebäuden.

Die Professur Gebäudetechnik will interdisziplinäre Projekte anstossen, der Bauindustrie Impulse vermitteln und Wirkung erzielen.

Die letzte Folie der Einführungsvorlesung war das Versprechen:

Wir werden etwas tun!

An einem Montagmorgen im Spätherbst 2006 las ich im Tagesanzeiger, dass an diesem Tag im Nationalrat die Umweltabgabe auf Strom beschlossen werden sollte und dass die Wahrscheinlichkeit gross sei, dass nur 0.3 anstatt 0.5 Rp/kWh beschlossen würde. Um 8.15 begann meine Vorlesung. Ich liess die Studierenden darüber abstimmen, ob ich mit dem normalen Stoff weiterfahren oder ob ich einen politisch motivierten Einschub vortragen solle. Man entschied für den Einschub. Am Ende führte ich eine zweite Abstimmung durch. Ich frage erneut, ob ich mit dem normalen Stoff weiterfahren solle oder ob sie eine Intervention in den Nationalrat bis um 11 Uhr vornehmen wollten. Die Mehrheit stimmte für die Weiterführung der Vorlesung. Nach 10 Sekunden Stoffvermittlung erhoben sich 3–4 «Aktivisten» und forderten die anderen auf, sich ihnen anzuschliessen. Ich unterbrach die Vorlesung, um sie zu entlassen. Nach zwei Minuten war der Saal leer, um 11.15 Uhr versandten die Studierenden eine gemeinsam und ohne mich erarbeitete Intervention an alle Nationalräte persönlich per E-Mail und an die gesamte Presse. Um 12 Uhr erhielt der Präsident der ETH mehrere Anrufe aus Bern. Der Präsident rief mich an. Ich erklärte ihm den Sachverhalt. Er antwortete mir, es sei zwar mein Recht, solche Aktionen zu initiieren, aber er erwarte eine deutlich fundiertere Basis für solche Aktionen. Am kommenden Montag informierte ich die Studierenden und initiierte den Donnerstagabend-Workshop. In diesen Workshops wurde die Basis gelegt für das, was später folgte.

Zu meinem 58. Geburtstag schenkte mir ein Freund ein Buch über die «Eroberung» des Mont Everest. Besonders faszinierte mich die Beschreibung der Expedition der Genfer Alpinistengruppe im Jahr 1952. Sie kannten das Ziel: der Gipfel des Mount Everest, wussten aber nicht, auf welchem Weg und mit welchen Mitteln sie das Ziel erreichen konnten. Trotzdem machten sie sich auf den Weg.

Unsere Gruppe an der ETH war in einer ähnlichen Situation. Wir kannten das Ziel: das emissionsfreie Gebäude, wussten aber nicht, wie wir es erreichen konnten. Wir einigten uns darauf, eine spezielle Route zum Ziel detaillierter zu erkunden und die für die Route notwendigen Werkzeuge zu entwickeln. Die Routenwahl basierte auf zwei Gewissheiten:

1. Es steht grundsätzlich genügend Energie zur Verfügung (allerdings in falscher Form und zur falschen Zeit) und
2. Die Exergiebetrachtung eröffnet neue Möglichkeiten. Wir nannten unsere Route «viaGialla».

Das Ziel war klar (Emissionsfreiheit im Betrieb), die Methode war klar (Verwendung des 2. Hauptsatzes der Thermodynamik, damit die Verwendung der Begriffe Exergie und Anergie), der Weg war offen. Um uns nicht zu verirren, einigten wir uns auf einige Prämissen:

- P1 Der thermische und hygrische Komfort im Innern soll gewährleistet sein. Dies führte zur Forderung nach Strahlungssymetrie, daraus abgeleitet zur Forderung nach einer minimalen Oberflächentemperatur von 17°C von 90% aller Flächen und daraus abgeleitet zu einem U-Wert der Aussenhülle von weniger als 1 W/m²K.
- P2 5–6 stöckige Gebäude mit U-Werten < 1W/m²K erhalten auf die Dachfläche 4–5 mal mehr Energie pro Jahr in Form von hochwertiger Solarstrahlung als das Haus im Winter zur Beheizung benötigt.
- P3 Die Jahresarbeitszahl (JAZ) einer Wärmepumpe soll > 6 sein, also wenig Strom benötigen (LowEx).
- P4 Die energetische Autarkie bzw. die Nullbilanz des Gebäudes ist nicht zwingend, da Strom sehr einfach transportiert werden kann.

P5 Die Optimierung des Systems erfolgt über die Kriterien der integralen Kosten und der Ästhetik. Bei beiden Kriterien sind alle Investitionen zu berücksichtigen, die zum Betrieb des Gebäudes benötigt werden, d.h. auch die fernen Investitionen für Stromproduktion und -speicherung, etc.

P6 Die unterschiedlichen Wegvarianten für ein individuelles Gebäude sollen einfach nachvollziehbar dargestellt werden können.

Mit diesen Prämissen, dem Ziel und der Methode begannen wir Mitte 2007 mit der Evaluation verschiedener Elemente und Kombinationen. Vier Jahre nach dem Start sind zwei Objekte fertig gestellt, mit denen wir die Tauglichkeit unserer Route viaGialla beweisen können. Der Neubau des Gebäudes B35 (Bolleystrasse 35, 8006 Zürich) und die Modernisierung des Gebäudes HPZ (Schafmattstrasse 32, 8093 Zürich). In Planung befinden sich die Modernisierungen der Objekte S270 (Seestrasse 270, 8002 Zürich) und W3 (Wengi 3, 8126 Zumikon). Es handelt sich dabei um vier Objekte mit sehr unterschiedlicher Nutzung, Architektur, und energetischer Qualität im Ausgangszustand. Bei allen vier Objekten werden die folgenden Regeln beachtet:

1. Die Hülle wird so gut nachisoliert, dass die erforderliche Behaglichkeit im Innern gewährleistet ist (siehe Prämisse P1).
2. In allen Objekten wird Wärme im Temperaturbereich von 22–30 °C im Sommer mit Anlagen abgeerntet, die neben der Wärmeproduktion eine andere Hauptfunktion sicher stellen.
3. Zu «Erntemaschinen» werden die folgenden Bauteile umfunktioniert:
 - a. Die Photovoltaikpaneele (mit einer technischen Ergänzung zum Hybridkollektor ausgebaut) bei den Objekten B35, S270, W3
 - b. Die Zuluft-Airboxen bei den Objekten B35, HPZ
 - c. Die Heizflächen bei den Objekten HPZ (Heptapanel), B35 (Fussbodenregister), S270 (Deckenregister), W3 (Heizkörper)
 - d. Die Kälte- und Klimaanlage beim HPZ
4. Mit diesen Erntemaschinen wird im Laufe des Jahres mehr Wärme bei 22–30°C abgeerntet als die Bauten im Laufe des Jahres an Wärme benötigen.
5. In allen Objekten wird die abgeerntete Sommerwärme lokal mittels Erdsonden ins Erdreich eingelagert. Dabei wird eine gewisse «Degradation» akzeptiert. Die Degradation wird so weit begrenzt, dass die Wärmepumpe eine JAZ > 6 aufweisen kann. Die Anforderung der Erdsonden und deren Tiefe ist unterschiedlich:
 - a. HPZ: 100 Sonden mit 200 m Länge als Feld mit Sondenabstand 5 m.
 - b. B35: Zwei 2-Zonen-Sonden mit 380/150 m Tiefe im Abstand von 15 m.
 - c. S270: 15 Sonden mit 220 m Tiefe als Feld mit Abstand 5 m.
 - d. W3: Zwei Sonden (koaxial) mit 450 m Tiefe mit Abstand von 7 m.
6. In drei der vier Objekte (exkl. W3) wurden Massnahmen ergriffen, um die Vorlauftemperatur T_1 für die Heizung zu reduzieren:

- a. HPZ: $T_1, \max = 30^\circ\text{C}$: Heptapanel, Airbox, neue Gläser (2-fach), U-Wert Brüstung = $0.5 \text{ W/m}^2\text{k}$
- b. B35: $T_1, \max = 28^\circ\text{C}$: U-Wert Fenster $1.0 \text{ W/m}^2\text{k}$, U-Wert Fassade $0.22 \text{ W/m}^2\text{k}$, Fussbodenheizung, TABS in Attikadecke, TABS unter Attikaterasse
- c. S270: $T_1, \max = 33^\circ\text{C}$: U-Wert Fenster $1.0 \text{ W/m}^2\text{k}$, U-Wert Fassade $0.4 \text{ W/m}^2\text{k}$
- d. W3: $T_1, \max = 52^\circ\text{C}$: keine Massnahmen (Wunsch Eigentümer)

7. In allen Objekten wird eine Niederhub-Wärmepumpe eingesetzt, die speziell auf das Objekt ausgelegt ist:

	$T_2/T_1^{1)}$	Gütegrad ¹⁾	JAZ ²⁾
a. HPZ:	15/30	0.55	11
b. B35:	13/28	0.42 ³⁾	8.4
c. S270:	10/30	0.55	8.3
d. W3:	15/40	0.55	6.8

1) Gemittelt über das Jahr (nur Heizung)

2) JAZ ohne Pumpen der Heizverteilung, Erdsonden

3) kleine Maschine mit R134a-Füllung (wird 2013 ersetzt durch WP mit Gütegrad > 0.55)

Mit den 5 Werkzeugen:

- Moderate Wärmedämmung zur Gewährleistung des Komforts
- Erntemaschinen für Sommerwärme
- Erdsonden zum Bau von guten Energiequellen
- Niedertemperatur-Wärmeabgabesysteme
- Niederhubwärmepumpe

werden die Gebäude so ausgerüstet, dass sie mit wenig Strom beheizt werden können. Der spezifische Strombedarf liegt bei drei der vier Objekte unter $10 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (LowEx). Dadurch ist es ökonomisch vertretbar, diesen kleinen Stromverbrauch mit emissionsfreiem Strom zu decken, der auf dem eigenen Gebäude produziert werden kann. Interessant ist dies dann, wenn Hybridkollektoren eingesetzt werden, die in erster Linie Erntemaschinen für die Sommerwärme sind. Bei den Objekten B35 und S270 liefern die PVT mehr Strom als die Wärmepumpe verbraucht. Beim Spezialfall W3 muss emissionsfreier Strom auch für den Wärmepumpenantrieb zugekauft werden, weil die sehr hohen Wärmeverluste durch die Gebäudehülle aus architektonischen Gründen weiterhin in Kauf genommen werden.

Die Route viaGialla ist somit eine Variante zur Erreichung des Ziels, die auf aktive Komponenten setzt und mit dem solaren Überschuss im Sommer und der Wärmespeicherfähigkeit vom Erdreich in einer Tiefe zwischen 100 und 500 Meter arbeitet. Energiesammler und Konverter (Induktivitäten), Energietransportsysteme (Rohre und Pumpen) und Energietransformatoren (Wärmepumpe) bilden zusammen mit der Fassade (Widerstand) das System eines solaraktiven Schwingkreises, bei dem

der riesige Erdreichspeicher die Funktion übernimmt, den Wärmeüberschuss vom Sommer mit kleiner Degradation der Wärme in den Winter zu retten. Die Wärmepumpe übernimmt die Aufgabe, die Wärme mit kleinem Aufwand im Winter wieder zu <rehabilitieren>.

Wir lassen die Degradation bewusst zu, weil wir wissen, dass die Rehabilitation nachhaltig möglich ist.