

ZeroEmission LowEx Building Design

Prof. Dr. Hansjürg Leibundgut

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

09.03.2011

Seit rund 200 Jahren verbrennt die Menschheit fossile Energieträger. Die Grundsubstanzen (Holz, Blätter und Gräser) wurden vor Jahrmillionen durch den Prozess der Photosynthese aus Solarstrahlung gebildet und durch unterschiedliche Prozesse in die heutige Form gebracht. Die Energieträger sind Konserven hoch konzentrierter Energie, die in Kohlenwasserstoff-Molekülen unterschiedlicher Zusammensetzung chemisch gespeichert ist. Der Verbrennungsprozess setzt die gespeicherte Energie in Form von Wärme bei hoher Temperatur frei und führt gleichzeitig das im Brennstoff enthaltene C-Atom in CO₂ über.

Die Menschheit hat ein riesiges Arsenal an Maschinen und Apparaten geschaffen um die Energieträger aus dem Erdinnern zu gewinnen, zu transportieren, auf unterschiedlichste Art zu verbrennen und mit der Wärme zu kochen, zu braten, Warmwasser und vor allem mechanische Arbeit zu erzeugen. Die rasante Zunahme der Erdbevölkerung wurde nur möglich, weil der Mensch fossile Energie verbrannte. Heute muss die Menschheit so viel fossile Energieträger verbrennen, weil es so viele Menschen gibt, die unzählige Energiedienstleistungen beanspruchen.

Erst seit 20 Jahren ist erkennbar, dass das durch die Verbrennung frei gesetzte CO₂ Ursache für grosse künftige Probleme ist.

Das wirkliche Problem ist aber nicht das CO₂, sondern der durch das CO₂ verursachte steigende Wassergehalt in der Atmosphäre. Flut und Überschwemmung bei zu viel Wasser, Dürre bei zu wenig Wasser. Weniger Eis. Der Mensch kommt mit der raschen Änderung des Wasserflusses nicht zurecht.

Die einzig wirksame Massnahme lautet: Vermeidung des Verbrennens fossiler Brennstoffe.

Die systematische Analyse zeigt, dass letztlich nur zwei Primärprozesse den vom Menschen gewünschten Energiestrom generieren können:

- Die Spaltung (Fission) von grossen Kernen wie Uran im Erdinnern oder in menschgemachten Kernspalt-Reaktoren
- Die Verschmelzung (Fusion) des sehr kleinen Kerns Wasserstoff in der Sonne oder in menschgemachten Fusionsreaktoren.

Der geothermische Energiestrom ist das Resultat natürlicher Kernspaltungen im Erdinnern. Der resultierende Wärmefluss ist mit 0.06 W/m² Querschnittsfläche sehr, sehr bescheiden. Das Resultat der menschgemachten Kernspaltung ist im Gegensatz dazu so intensiv, dass die Lagerung der

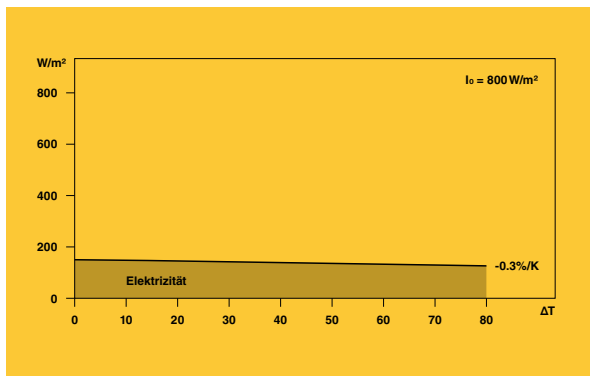
Spaltprodukte sehr, sehr schwierig ist. Die künstliche Fusion wiederum erweist sich als sehr, sehr schwierig, weil der Fusionsprozess erst bei einer riesigen Kompression von Wasserstoffatomen zustande kommt.

Erst vor relativ wenigen Jahren hat die Menschheit damit begonnen, die Wirkung des Fusionsprozesses in der Sonne auf der Erde ohne den Verbrennungsprozess zu nutzen. Die Nutzung der Wasserkraft begann vor 150 Jahren, die Nutzung der Windkraft vor 30 Jahren. Die Umwandlung der Solarstrahlung durch Absorption und Umwandlung in Wärme und Strom ist ebenfalls erst 30 Jahre alt. Kaum verwunderlich, dass Neues möglich wird.

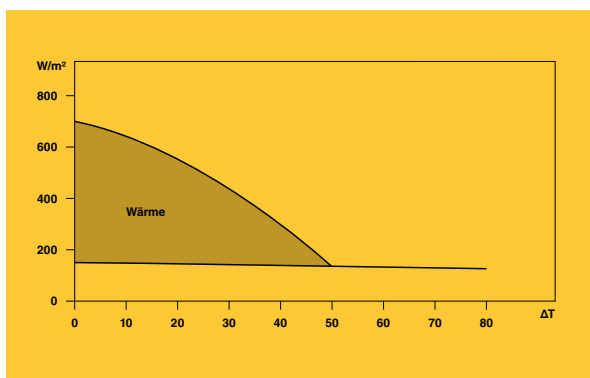
Im Folgenden wird ein neues System beschrieben mit dem Solarstrahlung weit effizienter in Wärme zwischen 30°C und 40°C umgewandelt werden kann als bisher. Das System besteht aus drei Elementen:

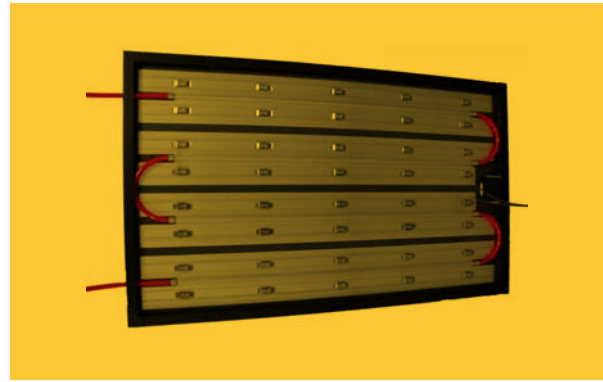
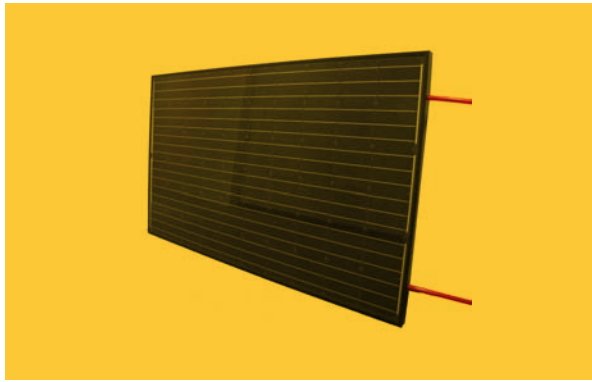
- dem Hybridkollektor
- der Niederhub-Wärmepumpe
- dem Erdspeicher

Der Hybridkollektor



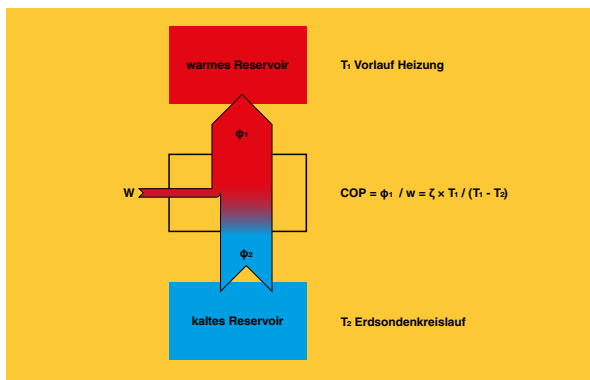
Der Hybridkollektor absorbiert hochwertige Solarstrahlung ($> 98\%$ Exergie) mit einem Wirkungsgrad von über 90% und wandelt bis zu 20% der Solarstrahlungsleistung in elektrischen Strom um. Die restlichen 70% werden in Wärme umgewandelt, wodurch sich das Halbleitermaterial erwärmt. Die Trägerplatte der Halbleiterschicht wird zum thermischen Sonnenkollektor.





Die «Kollektorkennlinie» dieses Kollektors ist definiert durch die Leerlauftemperatur (kein Wärmeentzug) und die maximale Leistungsauskopplung (keine Temperaturdifferenz zur Umgebung). Der Hybridkollektor ist eine Einrichtung, die den Energie (Exergiestrom) der Solarstrahlung in zwei separate Ströme (Elektrizität und Wärme) aufteilt.

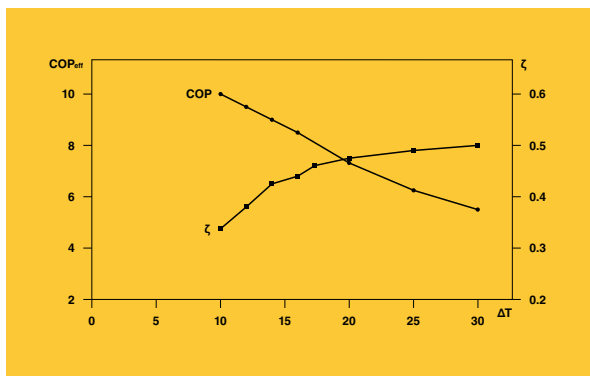
Die Wärmepumpe



Die Wärmepumpe ist die Maschine, die einen Wärmestrom mit Hilfe von Exergie (Elektrizität) auf eine höhere Temperatur transformiert. Speziell daran ist, dass der COP der Wärmepumpe mit

$$\text{COP} = \zeta \times T_1 / (T_1 - T_2)$$

nicht linear verläuft, sondern bei kleinen Temperaturdifferenzen (kleinen Temperaturhub) stark überproportional ansteigt. Der Wert ζ ist technologieabhängig, bei heutigen Maschinen ist bei abnehmenden Hub ein abnehmender ζ -Wert zu verzeichnen.



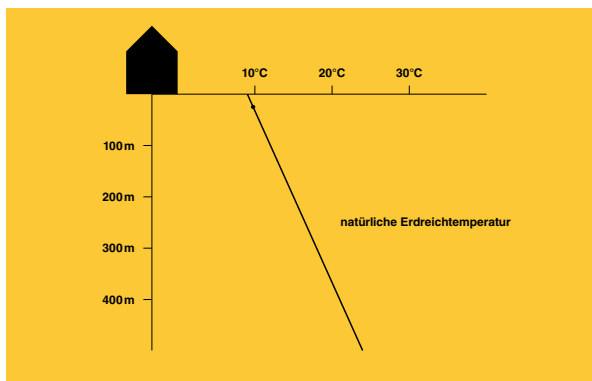
Dies kann geändert werden durch neue Konstruktionen: Kombiniert man den Hybridkollektor mit der Wärmepumpe, dann rekombiniert man die beiden Energieströme (teilweise) wieder. Bei grossem Temperaturhub reicht der Strom nicht aus, bei kleinem Temperaturhub resultiert ein Stromüberschuss.

Ist eine geeignete Wärmepumpe vorhanden, so kann das energetische/exergetische Optimum variiert werden.

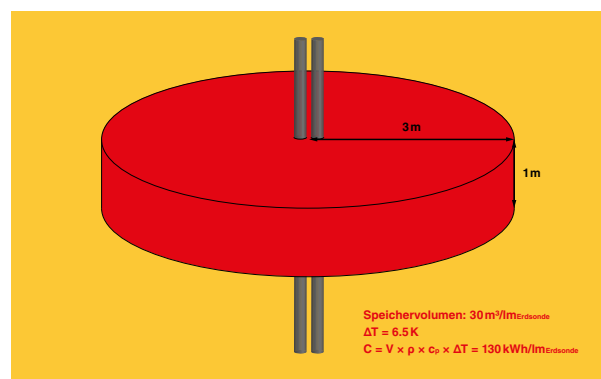
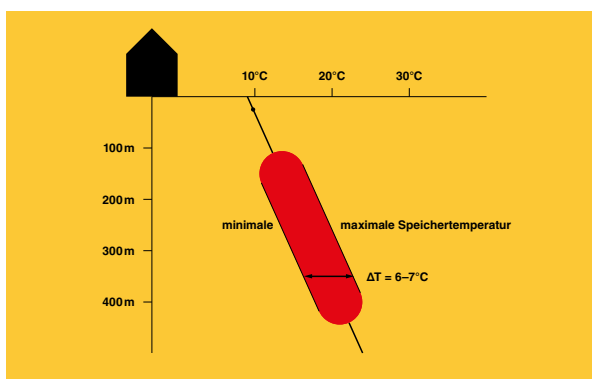
Der Erdspeicher

Ohne akuten Wärmebedarf stellt sich die Frage der Verwertung des Wärmestroms des Hybridkollektors. Wärme kann grundsätzlich gut gespeichert werden, sofern ein geeigneter Speicher vorhanden ist.

Im LowEx-System dient das Erdreich in einer Tiefe zwischen 80 m und 350 m als Speichermedium. Die Tiefe von 350 m ist zurzeit ökonomisch bedingt durch den Sprung der Bohrkosten. Kompakte Bohrgeräte erreichen zurzeit max. 350 m Tiefe bei einem Bohrdurchmesser von 17 cm.



Die von der Witterung unbeeinflusste Erdreichtemperatur steigt ab ca. 3 m bis 4 m Tiefe mit 3 K/100 m bis 3.5 K/100 m Tiefe an. In 350 m Tiefe werden im Schweizerischen Mittelland durchschnittlich 20°C gemessen.



Im LowEx-System wird das Erdreich in einem Zylinder von 3 m Radius um eine Erdsonde im Sommer auf 4 K bis 5 K über die natürliche Temperatur aufgewärmt und im Laufe des Winters auf ca. 2 K unter die natürliche Temperatur ausgekühlt. Pro m Erdsonde berechnet sich die gespeicherte Wärme zu

$$C = V \times \rho \times c_p \times \Delta T$$

$$C = 30 \times 2000 \times 0.0003 \times 6.5 \text{ kWh/m}_{\text{Sondenlänge}}$$

$$C \approx 130 \text{ kWh/m}_{\text{Sondenlänge}} \text{ (äquivalent 13 Liter Heizöl)}$$

Im Ladebetrieb muss das Wasser in den Sonden rund 6°C bis 7°C wärmer, im Winter 6°C bis 7°C kühler sein als das Erdreich, um die erwünschte Belade/Entladeleistung von ca. 45 W/m Sonde zu gewährleisten.

Die Charakteristik des Hybridkollektors passt perfekt zur Ladetemperatur-kurve des Erdspeichers. Bei der Entladung des Speichers stellen sich komplexe dynamische Verhältnisse ein. Das Gesamtsystem kann aber so designed werden, das die Rücklauftemperatur aus der Sonde nie unter 12°C fällt. Von grosser Bedeutung ist dabei die Art der Sonde. Die Koaxial-Sonde ist deutlich besser als die U-Rohr-Sonde.

Damit hängt der COP der Wärmepumpe nur noch von der Vorlauftemperatur des Wärmebezügers (Heizung/Warmwasser) ab, diese Vorlauftemperatur kann weitgehend konstruktiv beeinflusst werden. (Dimensionierung der Wärmeabgabesysteme). Die Wärmedämmung der Gebäudehülle ist nicht sehr sensitiv auf das Gesamtsystem, sobald der Temperaturhub unter 18 K sinkt (COP > 7).

Sobald die Forderung nach Strahlungssymmetrie im Raum erfüllt ist (Temperatur der Aussenwand > 17°C) ist es nur noch eine Frage der Wärmeabgabesysteme, ob ein COP > 7 erreicht werden kann. Strahlungssymmetrie wird erreicht, wenn der U-Wert einer Wand gegen Aussen den Wert von 0.7 W/m²K unterschreitet. Dies kann erreicht werden durch ein 25 cm dickes Einstein-Mauerwerk verputzt mit einem 3 cm dicken Aerogel-Dämmputz. Einfaches Bauen wird wieder möglich:

