

ViaGialla

Wegbeschreibung für Gebäude in eine nachhaltige Energie-Zukunft

Report

Author(s):

Leibundgut, Hansjürg

Publication date:

2007

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005391899>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

—
Titel:

**Wegbeschreibung
in eine
nachhaltige Energie-Zukunft
der Gebäude**

—
Herausgeber:

Prof. Dr. Hansjürg Leibundgut, ETH Zürich

—
**Wegbeschreibung
in eine
nachhaltige Energie-Zukunft
der Gebäude**

—
Teil 1:
Thermodynamische und technologische Grundlagen

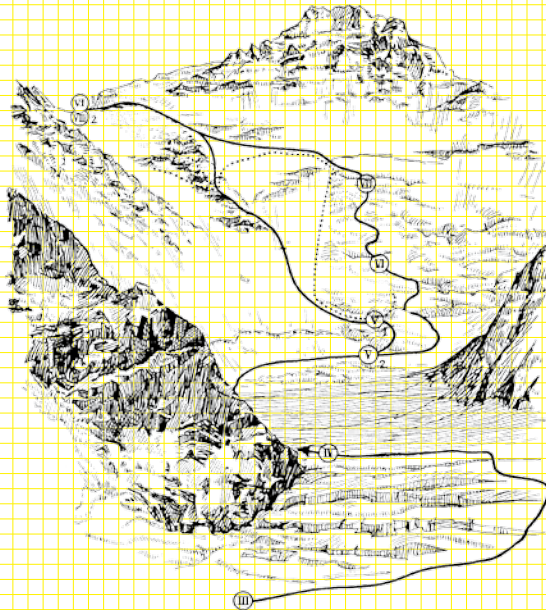
—
Teil 2:
Weg und Ziel – Beschreibung der Route «viaGialla»

Motivation

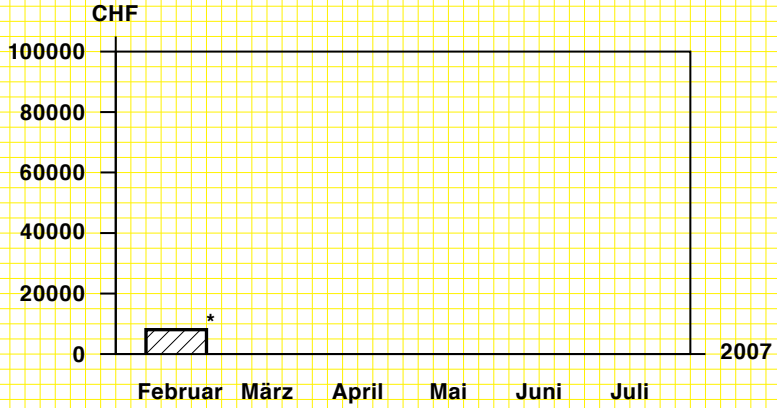
Zu jedem Ziel führen verschiedene Wege; auch zum Ziel der Energieversorgung der Schweiz im Stoffkreislauf. Die vorliegende Arbeit ist die Beschreibung einer Route, die mir als erfahrenem «Expeditionsleiter» als attraktiv und machbar erscheint und für deren Planung ich meine Kraft und Zeit einsetze. Um mich nicht zu verzetteln, konzentriere ich mich auf diese Variante, werde in den kommenden Jahren den Weg präzisieren und die Ausrüstung überprüfen, ergänzen, auswechseln. Andere Varianten und Wege auf den Gipfel zu gelangen kenne ich an und sehe diese als Herausforderung für andere Expeditionen. Mein Interesse gilt dem «viaGialla». Unser Team wird die Route detaillierter beschreiben, neue

Werkzeuge entwickeln, die Kosten und die Auswirkungen der Expedition immer präziser planen, so gut, dass viele sich mit uns auf den Weg machen werden. Jährlich werden wir einmal Bericht erstatten und unsere Homepage [www.viagialla.ch] neu aufschalten, immer exakt am 0X.0X.0X um 0X:0X Uhr, erstmals am 07.07.07 um 07:07 Uhr.

Prof. Dr. H.J. Leibundgut
ETH Zürich



Unser Konto



* Stand am 13.2.2007: CHF8000

Unser Team



H.J. Leibundgut



A. Schlüter



F. Meggers



F. Thesseling



G. Krüger



P. Bollier



R. Lzicar



L. Baldini

Thermodynamische und technologische Grundlagen

Der erste Hauptsatz der Thermodynamik / Seite 06

Thermodynamik der Gebäudeheizung / Seite 07

Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik / Seite 08

Der Carnot-Wirkungsgrad / Seite 09

Die Wärmepumpe / Seite 10

Der COP der Wärmepumpe / Seite 11

Energiequelle / Seite 12

Der effektive COP / Seite 13

Parameter für die Optimierung von Gebäuden / Seite 14

Strom aus Wind und Sonne / Seite 15

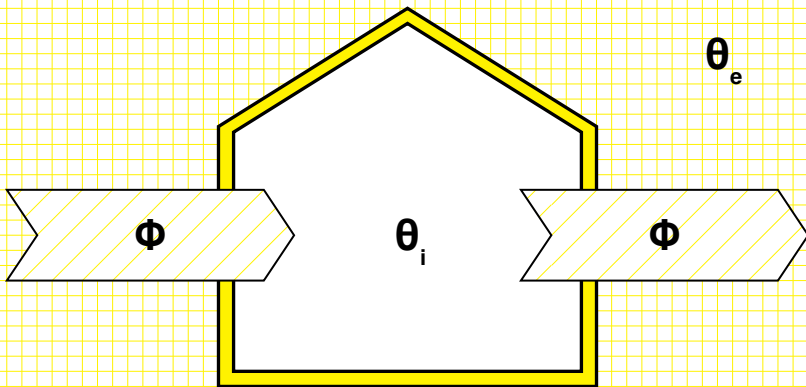
Stand und Prognose der Photovoltaik / Seite 16, 17

Stand und Prognose der Windenergie / Seite 18, 19

Prognose Stromsparerpotential / Seite 20

Der erste Hauptsatz der Thermodynamik

Der erste Hauptsatz der Thermodynamik sagt aus, dass dem Gebäude gleich viel Wärme Φ zugeführt werden muss, wie es gegen Aussen verliert, wenn die Raumtemperatur θ_i konstant bleiben soll.



Thermodynamik der Gebäudeheizung

Der Wärmestrom Φ besteht aus:

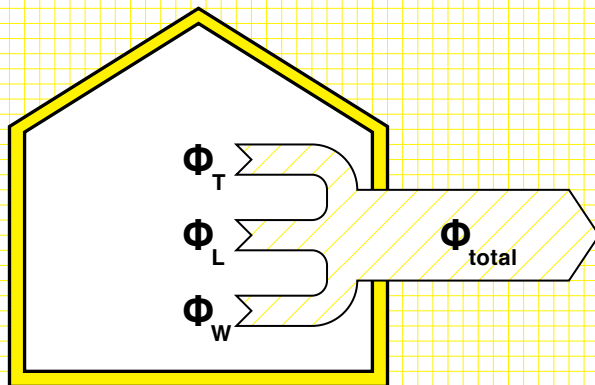
- Wärmedurchgang durch die Hülle Φ_T
- Wärmetransport der Abluft Φ_L
- Wärmetransport des Abwassers Φ_W

Ohne Einbusse an Komfort stehen uns die Parameter (U) , $(\Delta T_L \times \eta_{WRG,L})$ und $(\Delta T_W \times \eta_{WRG,W})$ für eine Optimierung zur Verfügung.

Die bisherigen Energieverordnungen und -labels orientieren sich praktisch ausschliesslich an diesen Grössen:

- Häuser isolieren (U verringern)
- Kontrolliertes Lüften ($\Delta T \times \eta_{WRG,L}$)

Im Bereich des Warmwassers wird aber noch sehr wenig gemacht, obwohl die Brauchwasseraufbereitung fast gleich viel Wärme erfordert wie das Heizen.



$$\Phi_T = A \times (U) \times \Delta T$$

$$\Phi_L = \dot{m} \times c_{p,L} \times (\Delta T \times \eta_{WRG,L})$$

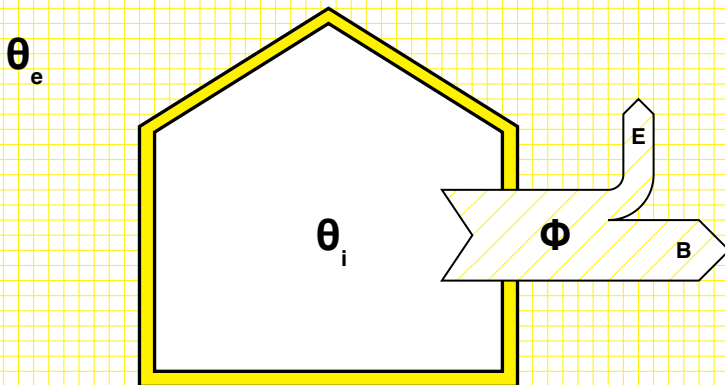
$$\Phi_W = \dot{m}_{WW} \times c_w \times (\Delta T_w \times \eta_{WRG})$$

$$\Phi_{total} = \Phi_T + \Phi_L + \Phi_W$$

Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik

Aus dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik lässt sich ableiten, dass der Wärmestrom Φ , der zwischen den Reservoiren mit den Temperaturen θ_i und θ_e fließt, theoretisch eine Wärmekraftmaschine antreiben könnte, die den Anteil E an mechanischer Nutzarbeit und die Abwärme B abgibt.

E wird als Exergie, B als Energie bezeichnet.

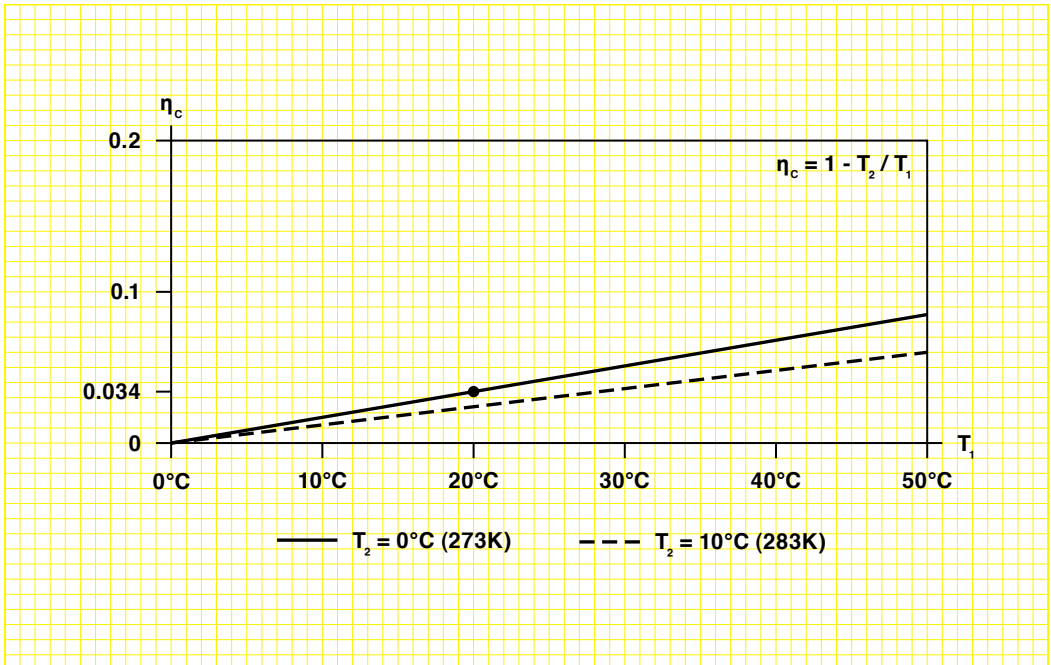


Der Carnot-Wirkungsgrad

Der Carnot-Wirkungsgrad ist das Verhältnis von E zu Φ und wird berechnet mit:

$$\eta_c = 1 - T_2 / T_1$$

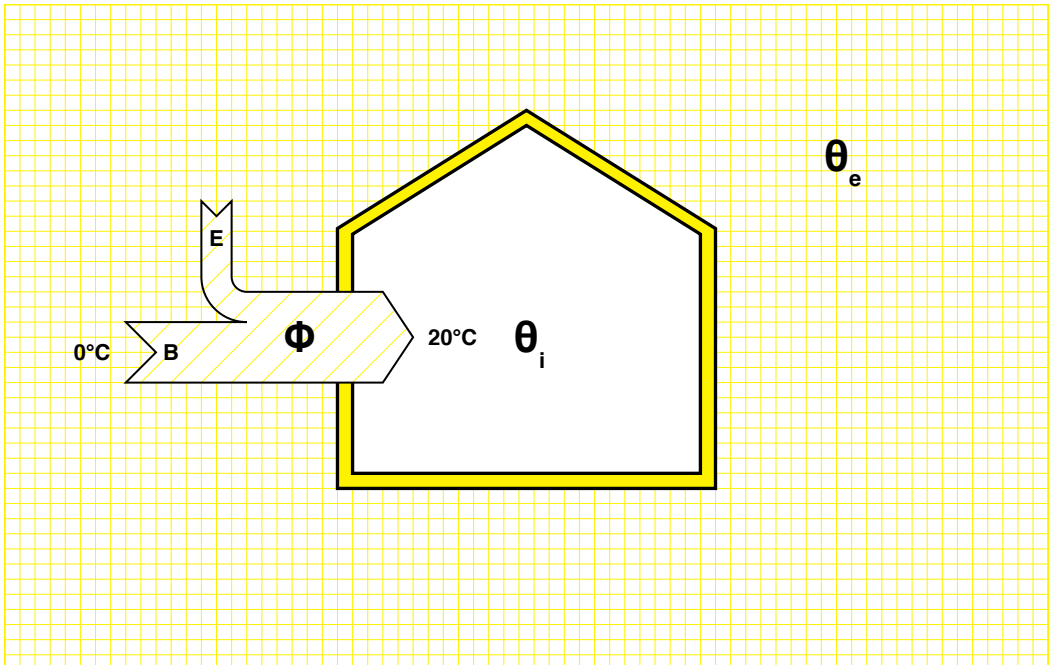
Bei den Temperaturen $T_1 = 293\text{K}$ (20°C) und $T_2 = 283\text{K}$ (10°C) könnte die Maschine theoretisch maximal 3.4% Arbeit leisten, 96.6% wären Abwärme bei 10°C .



Die Wärmepumpe

Um die Temperatur T_1 bzw. θ_i konstant bei 20°C zu halten, muss nach dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik der Wärmestrom Φ zugeführt werden, der nach dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik aus einem Anteil Exergie und einem Anteil Anergie besteht.

Die Maschine, die einen Anergiestrom B mit Hilfe von Exergie E in den Wärmestrom Φ transformieren kann, ist die Wärmepumpe.



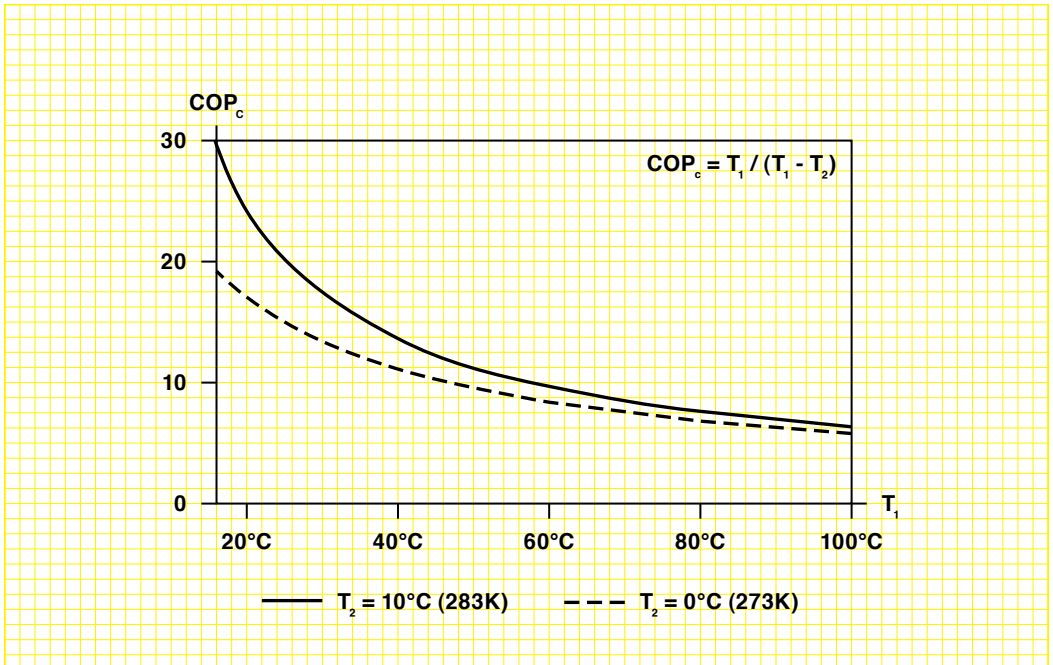
Der COP der Wärmepumpe

Die Effizienz der Wärmepumpe wird beschrieben mit dem «Coefficient of Performance» (COP), der angibt, wieviel Nutzwärme Φ pro Einheit Exergie E gewonnen werden kann.

Der COP der idealen Carnot-Wärmepumpe berechnet sich zu:

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

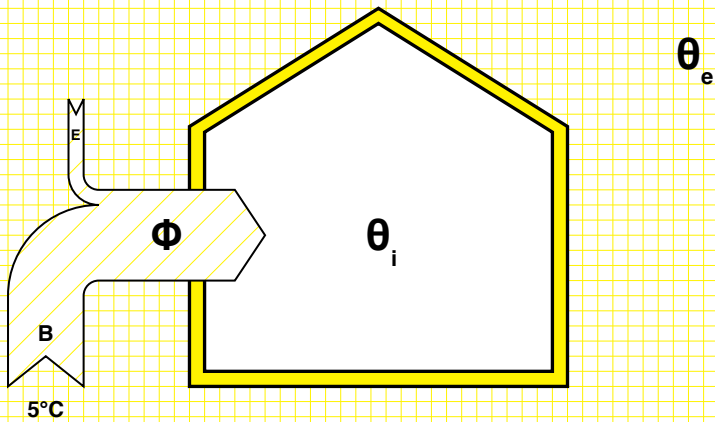
Die Darstellung zeigt, dass hohe COP-Werte vor allem durch tiefe Temperaturdifferenzen ($T_1 - T_2$) und hohe Temperaturen T_2 erreicht werden können.



Anergiequelle

Anergiequellen mit hohen Temperaturen (z.B. das Erdreich oder das Grundwasser, die Abluft und das Abwasser) ermöglichen hohe COP-Werte.

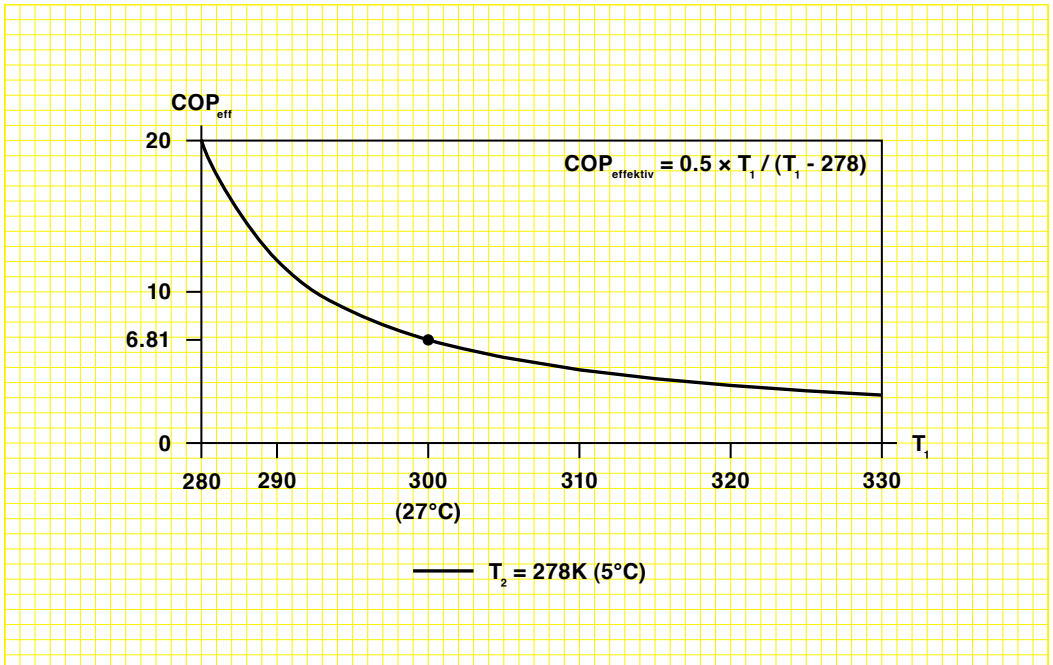
Eine Anhebung der Temperatur T_2 von 0°C auf 5°C bewirkt in guten Anlagen eine Erhöhung des COP_c von 11.1 auf 13.6 bei $T_1 = 27^\circ\text{C}$. Bei $T_2 = 10^\circ\text{C}$ resultiert ein Wert von 17.6.



Der effektive COP

In der Realität weicht der effektive COP_{eff} vom idealen COP_c ab. Qualitativ gute Wärmepumpen weisen einen Gütegrad $g > 0.5$ auf:

$$COP_{eff} = g \times T_1 / (T_1 - T_2)$$



Parameter für die Optimierung von Gebäuden

Mit Berücksichtigung des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik stehen für die thermische Optimierung von Gebäuden sechs anstatt nur drei Parameter zur Verfügung:

- U
- $(\Delta T_1 \times \eta_{WRG,C})$
- $(\Delta T_W \times \eta_{WRG,W})$
- T_1
- T_2
- ξ

Strom aus Wind und Sonne

Die Gestehungskosten für Strom aus der Windkraft und der Solarstrahlen sind zu mehr als 90% Kapitalkosten.

Die spezifischen Investitionskosten $\text{CHF}/\text{kW}_{\text{peak}}$, der Zinssatz und die Lebensdauer der Anlagen sind die entscheidenden Parameter der Gestehungskosten. Nach der Erstellung sind bei langfristiger Finanzierung die Gestehungskosten über die ganze Lebensdauer bekannt.



Stand und Prognose der Photovoltaik

Die spezifischen Produktionskosten der Photovoltaik pro kW_{peak} sind vorwiegend eine Frage der industriellen Produktion und weniger der Forschung.

Alle sechs Monate wurden bisher die Prognosen* für die weltweite jährliche Zellenproduktion nach oben korrigiert.

*

The Institute of Energy Economics (IEEJ), Japan [www.iee.or.jp]
Paul Scherrer Institut (PSI), ISSN 1019-0643, S.208
Sarasin Privatbank (Sarasin), Schweiz [www.sarasin.ch]

→→

	PSI / 05.2005	Sarasin / 10.2005	IEEJ / 09.2006	Sarasin / 11.2006
	$\text{GW}_{\text{peak}} / \text{a}$	$\text{GW}_{\text{peak}} / \text{a}$	$\text{GW}_{\text{peak}} / \text{a}$	$\text{GW}_{\text{peak}} / \text{a}$
2010	1 – 2.5	2.5	5.3	5.5
2020	3.7 – 29.9	15	30	31
2025	k.A.	k.A.	90	k.A.



Stand und Prognose der Windenergie

Die spezifischen Produktionskosten pro kW_{peak} sind bei der Windenergie bereits nahe den tiefstmöglichen Kosten.

800 bis CHF1000/ kW_{peak} sind für 6MW Off-shore-Maschinen in etwa 10 Jahren zu erwarten.*

Der Wert von 15GW/a und der spezifische Preis von CHF1500/ kW_{peak} sind im Jahr 2006 Stand der Dinge.

Die mittlere Lebensdauer der Anlagen wird mit ca. 30 Jahren angegeben, die energetische Amortisationszeit liegt unter 1.5 Jahren.

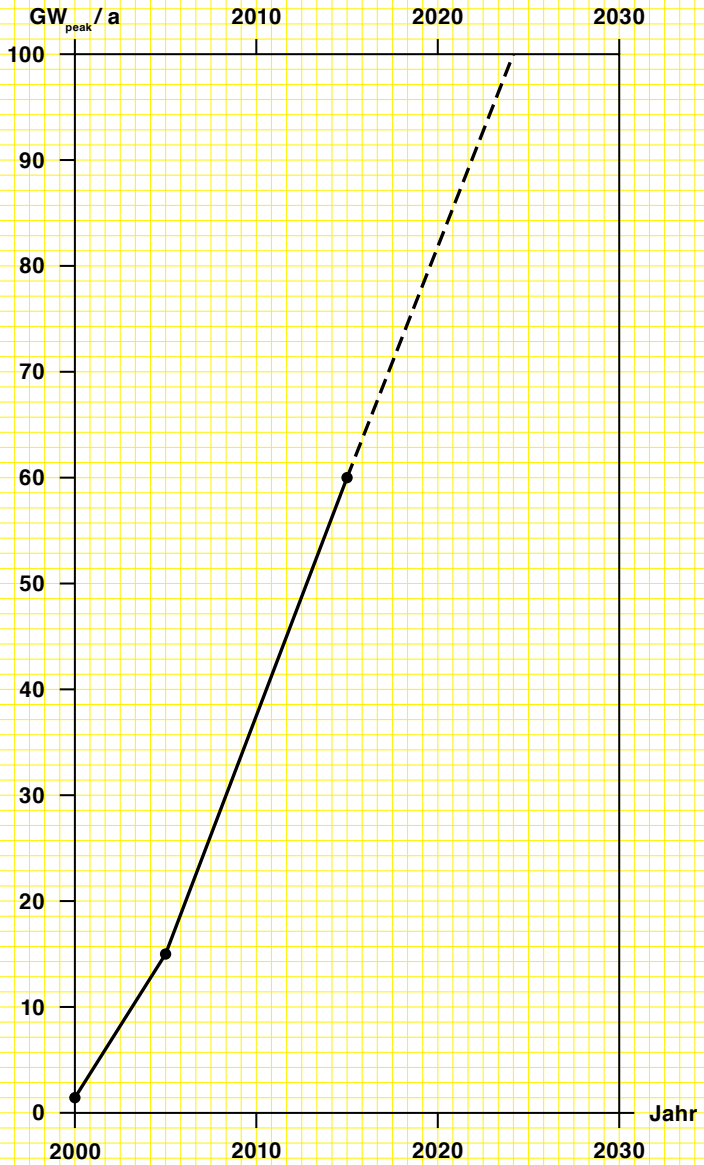
*

Bundesverband Windenergie (BWE), Deutschland [www.wind-energie.de]

→→

	CHF / kW_{peak}	Rp / kWh*
2006	1500	15
2020	900	9
2030	800	8

* unter optimalen Bedingungen



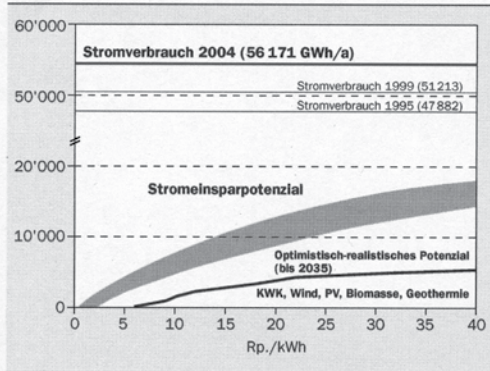
— Anlagenproduktion (BWE) - - - eigene Verlängerung

Prognose Stromsparpotential

Das PSI* veröffentlichte im Oktober 2005 eine Prognose zum Stromsparpotential der Schweiz. Bei einem Strompreis von 10Rp/kWh wird ein Stromsparpotential von 5TWh/a angegeben. Bei einem Strompreis von 20Rp/kWh steigt das Stromsparpotential auf 10TWh/a (17% des Verbrauchs).

*

Paul Scherrer Institut (PSI), Energie-Spiegel Nr.14 / 10.2005



Figur 1: Gesamtes Stromproduktionspotential bis 2035 und zugehörige Kosten der neuen Erneuerbaren in der Schweiz. Das Stromeinsparpotential basiert auf früheren Analysen und ist für Vergleichszwecke angegeben.

der ... Potentiale für Windkraft (<1 MW)

Weg und Ziel – Beschreibung der Route «viaGialla»

Das Ziel / Seite 23

Das abgeleitete Ziel / Seite 24

Risiken verschiedener Wege / Seite 25

Die Wahl der Route / Seite 26

Ausgangspunkt / Seite 27

Die bauliche Transformation der Gebäude / Seite 28

Das Low-Ex-Gebäude nach dem Umbau / Seite 29

Die Energiebilanz für die Wärmeerzeugung / Seite 30

Die CO₂-Emissionsbilanz / Seite 31

Die Speicher- und Verteilverluste des Stroms / Seite 32

Stromproduktion aus Photovoltaik an guten Standorten / Seite 33

Stromproduktion aus Windkraft an guten Standorten / Seite 34

Leistungselektronik und Stromspeicherung im Gebäude / Seite 35

Individuelle Tarife / Seite 36

Stabilisierung des Stromverbrauchs / Seite 37

Grosses Angebot von Wind und Sonne / Seite 38

Geeignete Ernteplätze / Seite 39

Rasanter Zuwachs an Wind- und Solarstrom / Seite 40

Die Deckung der Stromlücke bis 2035 / Seite 41

GUD-Kraftwerke zur Überbrückung / Seite 42

Reduktion der Brennstoffmenge / Seite 43

CO₂-Reduktion / Seite 44

Versorgungssicherheit / Seite 45

Investitionen und Erlös / Seite 46

Gute Amortisation der Investition / Seite 47

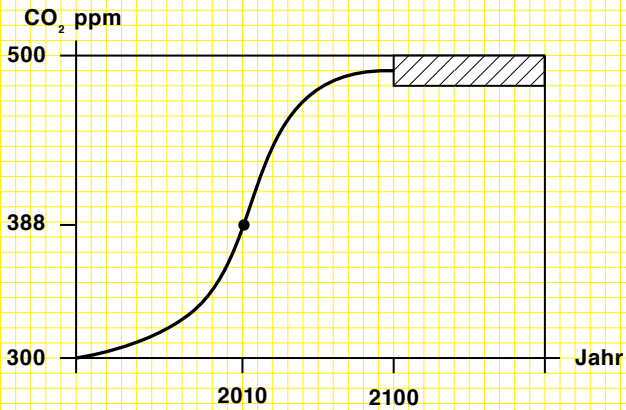
Finanzierung / Seite 48

Das Ziel

Das Ziel ist klar erkannt und unumstritten: Die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre soll den eingezeichnete Grenzbereich von 500 - 550ppm* nie überschreiten.

*

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPPC), Bericht vom 2.2.2007

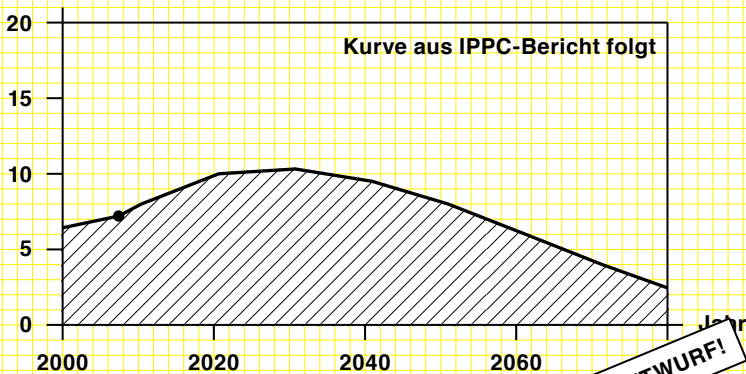


Das abgeleitete Ziel

Die IPCC hat berechnet, dass – um das Ziel «Konzentration < 550ppm» zu erreichen – die anthropogenen CO₂-Emissionen rasch von heute 7,2GtC auf unter 2.5GtC reduziert werden müssen.

Das abgeleitete Ziel der massiven und raschen CO₂-Emissionsverminderung wird damit ein wesentliches Kriterium für die Wahl des einzuschlagenden Weges.

anthropogene C-Emissionen
Gt C/a



Risiken verschiedener Wege

Alle Lösungsansätze haben Risiken:

- Energieeffizienz:

Das Risiko besteht darin, dass mit der Effizienzsteigerung alleine das Ziel nicht erreicht wird.

Neben den Massnahmen zur Verbrauchsreduktion gehören auch Gaskraftwerke GUD und Wärmekraftkopplungsanlagen WKK zu diesem Weg, weil mit diesen Technologien die fossilen Brennstoffe exergietisch effizienter genutzt, nicht aber ersetzt werden. Technologisch und ökonomisch bestehen wenig Risiken.

- Kernenergie:

Das Risiko ist im Betrieb und bei der Lagerung grundsätzlich gleich:

Der Austritt von Radioaktivität. Zum einen ist der extrem hohe potentielle Schaden bei einem wenig wahrscheinlichen Austritt von Radioaktivität sehr gross, zum anderen ist auch bei einem kleinen Störfall der globale psychologische Effekt als kritisch zu betrachten. Das ökonomische Risiko ist bei sicherem Betrieb sehr klein, jedoch im Schadensfall sehr gross.

- Solar-/Windenergie:

Das Risiko liegt nur bei der Geschwindigkeit in der Einführung. Der anfänglich hohe Preis behindert die rasche Einführung. Technologisch bestehen wenig Risiken, der Schadensfall hat sehr kleine Auswirkungen.

Die Wahl der Route

Unsere Gruppe hat aus den vielen möglichen Wegen den Weg ausgewählt, der uns langfristig die kleinsten Risiken verspricht. Der Preis für diese Wahl, die Technologie an sich und die Wirkung werden nachstehend aufgezeigt.

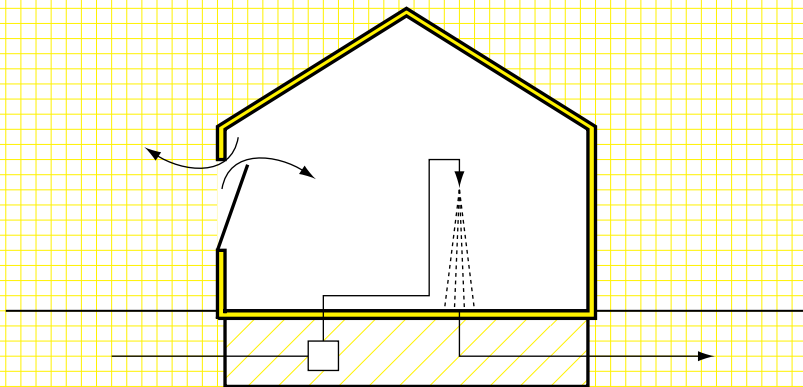
viaGialla:

*Die Kombination aus Energieeffizienz
und Solar-/Windenergie!*

Ausgangspunkt

Die Ausgangssituation wird beschrieben durch ein bestehendes Gebäude mit einem spezifischen Wärmefluss $\Phi = 120 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ und mit hohen Vorlauftemperaturen des Heizungssystems. Dieses Gebäude ist überwiegend mit Gas oder Öl beheizt.

Die Technik für Beleuchtung, Lüftung, für die IT-Geräte und den Haushalt entsprechen dem Stand des Jahres 2005 eines durchschnittlichen Haushalts bzw. Arbeitsplatzes ausserhalb von Industrie/Gewerbe.



$$Q_H = 120 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

$$T_1 \sim 50^\circ\text{C}$$

T_2 : kein Reservoir erschlossen

Die bauliche Transformation der Gebäude

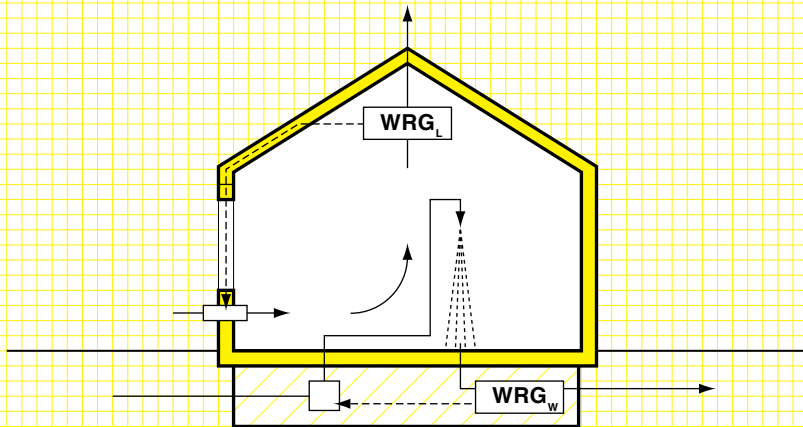
Die Transformationen am Gebäude selbst verändern die Parameterwerte (→ S.14) so, dass die Voraussetzungen für den Wärmepumpenbetrieb mit einer Jahresarbeitszahl von > 5 gegeben sind:

- gezielte Wärmedämmungen der Hülle
 - gegen oben und unten
 - Fenster
 - Teile der Fassade so weit, dass alle Wandtemperaturen über 17°C liegen. (Herstellung der Strahlungssymmetrie in den Räumen.)
- Aufheizung der Aussenluft in neuen Geräten mit grossen Wärmetauscherflächen, die die Luft von -10°C auf 18°C mit einer Vorlauftemperatur von 28°C erwärmen können.
- Einbau von Wärmerückgewinnungsapparaten in der zentral abgesaugten Abluft und dem Dusch-Abwasser.

- Vergrösserung der Heizkörper

Die erneuerten Elemente der Bauten müssen so ausgelegt werden, dass am Ende der Umbaukette in spätestens 50 Jahren die Vorlauftemperatur unter 30°C liegt, dass in jedem Raum Strahlungssymmetrie besteht (keine Wände kälter als 4° unter der Raumlufttemperatur) und, dass Niedertemperaturquellen erschlossen sind, die bei einer Temperatur $> 5^{\circ}\text{C}$ 80% der benötigten Wärmemenge liefern.

Diese Massnahmen sind kostengünstig, wenn sie im Rahmen der ohnehin notwendigen Umbaumassnahmen vorgenommen werden.



$$Q_H < 75 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

$$T_1 < 30^{\circ}\text{C}$$

$$T_2: \text{Reservoirre für } 60\text{ kWh/m}^2\text{a bei } 5^{\circ}\text{C}$$

Das Low-Ex-Gebäude nach dem Umbau

In die so transformierten Gebäude wird eine Wärmepumpe als Wärmeerzeuger eingesetzt.

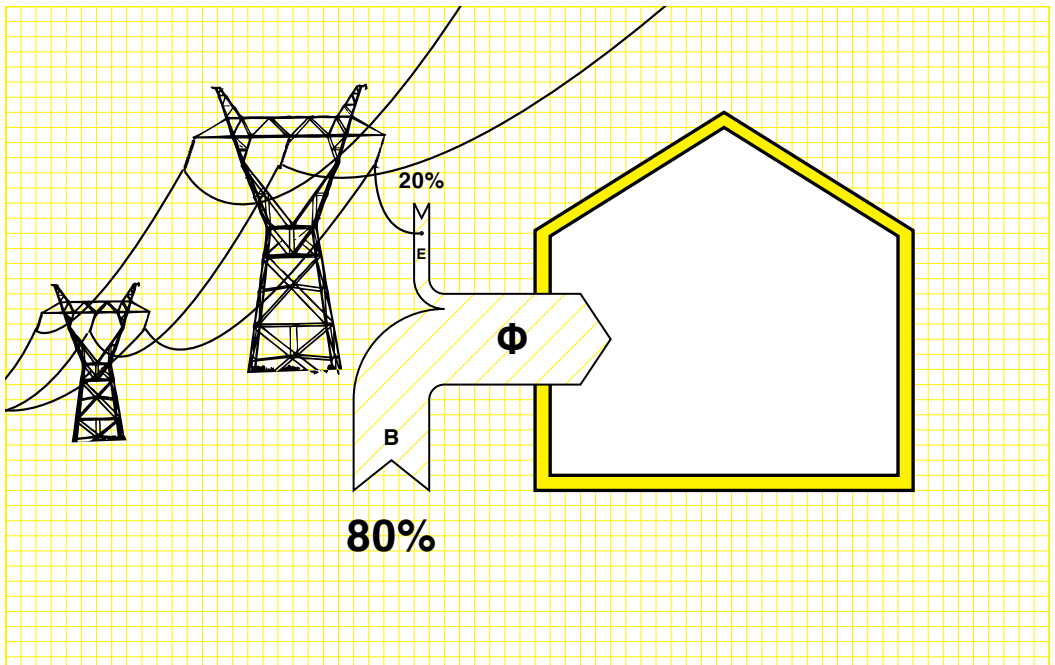
80 % der Wärme Φ für die Beheizung der Häuser und zur Aufbereitung des Warmwassers ist lokal abgeerntete Anergie.

20 % der Wärme Φ ist dem Gebäude zugeführte Exergie, die in Form von elektrischem Strom geliefert wird.

90 % aller bestehenden Gebäude der Schweiz können innerhalb von 50 Jahren in Low-Ex-Gebäude umgebaut werden.

Energiekennzahl Wärme und charakteristische Temperaturen nach Umbau in ein Low-Ex-Gebäude:

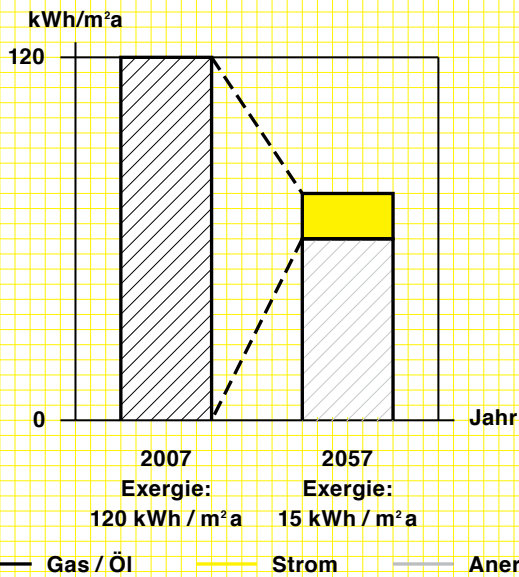
- $Q_H < 75 \text{ kWh} / (\text{m}^2 \times \text{a})$
- $T_1 < 30^\circ\text{C}$ max. Vorlauf Heizung
- $T_2 > 5^\circ\text{C}$ min. Anergietemperatur



Die Energiebilanz für die Wärmeerzeugung

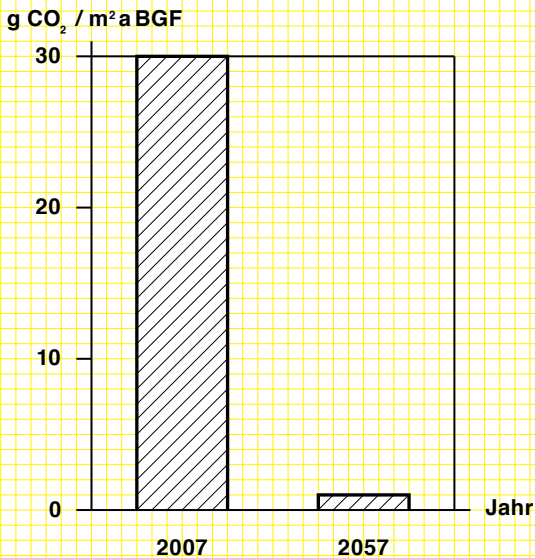
Die Massnahmen bewirken, dass dem Gebäude bzw. dem Grundstück nur noch 15kWh/m²a Strom anstatt 120kWh/m²a Öl/Gas von ausserhalb zugeführt werden muss.

Mit dem Einbau der Wärmepumpe wird erreicht, dass 80% des Wärmeflusses Φ aus erneuerbarer Anergie stammt.



Die CO₂-Emissionsbilanz

1m² beheizte Fläche braucht neu
15kWh/a Strom für die Wärmepumpe.
Dieser Strom wird zu 90% aus erneuer-
baren Energiequellen (Solarstrahlung,
Wind, Wasser, Geothermie, etc.)
gewonnen. 10% des Stroms dürfen aus
öl-/gasbetriebenen Kraftwerken
stammen, die einen elektrischen Wir-
kungsgrad von mehr als 50% aufweisen.



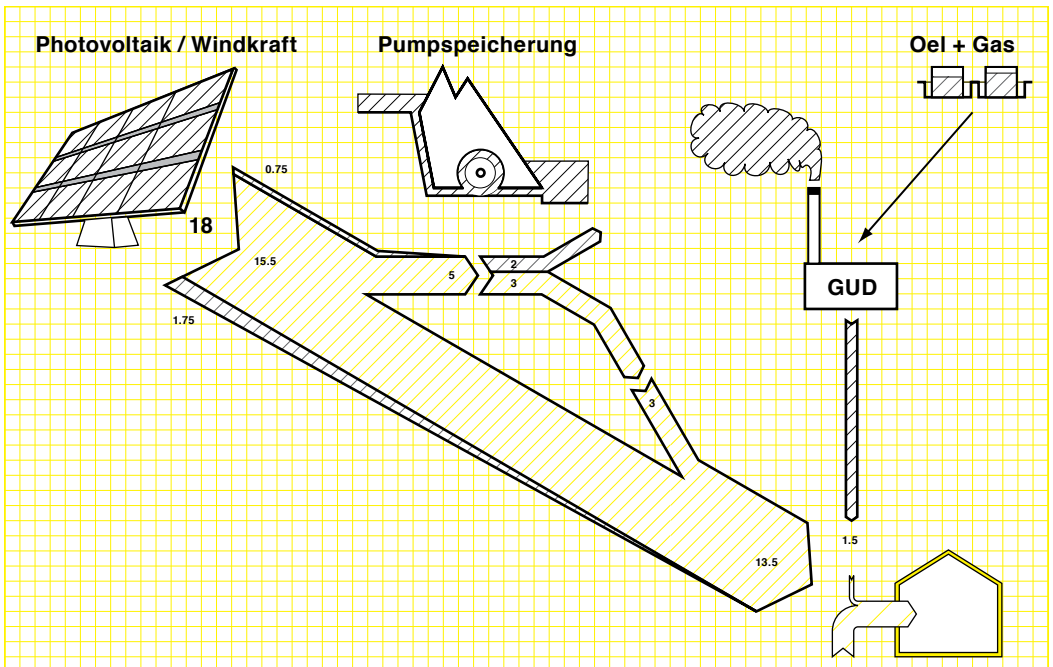
Die Speicher- und Verteilverluste des Stroms

Die Produktion der $15\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$ Strom erfolgt zu 90% aus Solar- und Wind und zu 10% aus öl- / gasbefeueten GUD-Kraftwerken (wenn möglich mit Abwärmenutzung).

78% des Solar- und Windstroms wird ohne Zwischenspeicherung, 22% mit Zwischenspeicherung dem Gebäude zugeführt.

Das Gebäude erhält demnach rund 30% des Stroms aus einer speicherbaren Energieform (Öl, Gas, Wasser mit Höhendifferenz), dieser Strom kann bewirtschaftet werden.

Mittels Photovoltaik und Wind müssen inkl. Transportverluste über $\approx 1500\text{km}$ rund $18\text{kWh}/\text{m}^2_{\text{BFGA}}$ produziert werden.

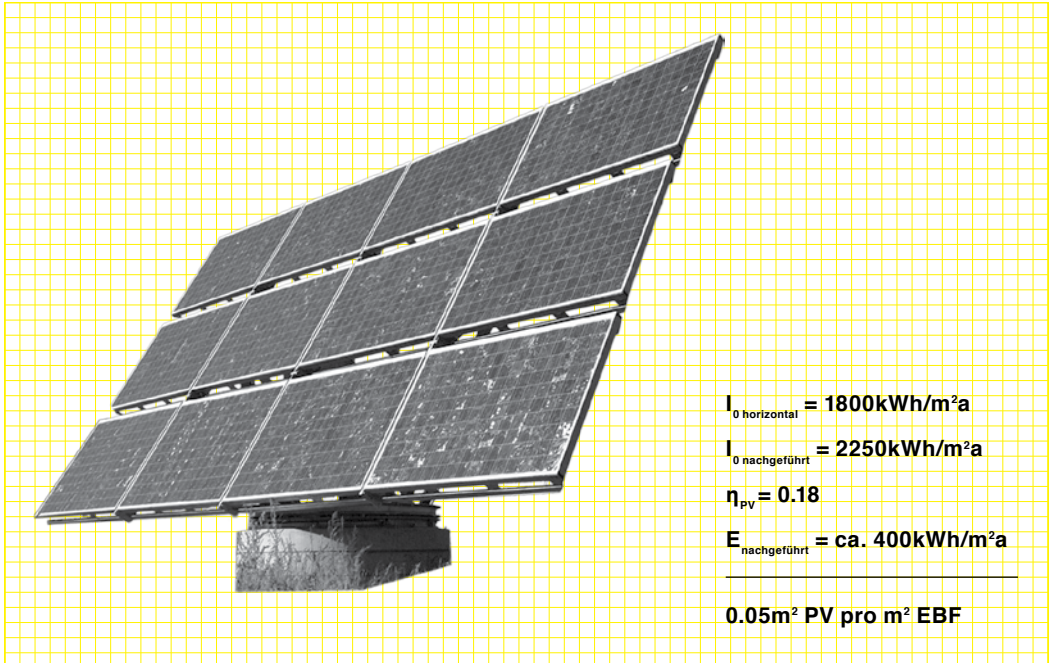


Stromproduktion aus Photovoltaik an guten Standorten

1m² aktive Photovoltaikfläche, der Sonne zwei-achsig nachgeführt, produziert pro Jahr 400kWh Strom an einem guten Standort. Zur Deckung der 18kWh/m²a Strom braucht es 0.05m² aktive Photovoltaikfläche mit einer Peak-Leistung von ca. 9W.

Die Investitionskosten für die Photovoltaik betragen im Jahr 2010 (→ S.16) ca. CHF45/m²_{BGF} und knapp CHF30/m²_{BGF} im Jahr 2020.

Vergleich zum Wohnungsbau: die Gesamtinvestition für 1m² BGF beträgt zwischen CHF2500 (sozialer Wohnungsbau) und CHF8000 - CHF10000 (Eigentum).



Stromproduktion aus Windkraft an guten Standorten

Grosse Windmaschinen mit 5MW Leistungen an guten Standorten (z.B. Offshore) erzeugen pro Jahr ca. 15Mio kWh Strom.

Eine Maschine liefert also den Strom für 1Mio m² BGF in Low-Ex Gebäuden.

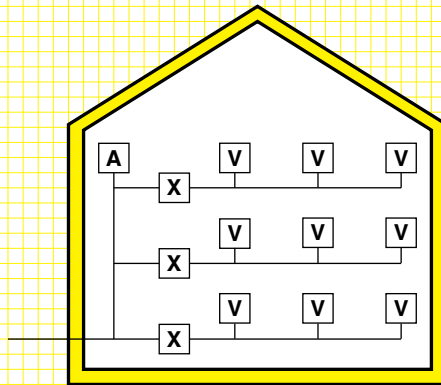
Bei spezifischen Kosten (→ S.18) ergeben sich damit Investitionskosten von CHF6/m² BGF im Jahr 2010.



Leistungselektronik und Stromspeicherung im Gebäude

Moderne Leistungselektronik («Digitalisierung des Stroms») und Stromspeicherung in Akkumulatoren und Kondensatoren ermöglichen es:

- den Stromverbrauch von Apparaten und Geräten bei gleichem Komfort deutlich zu senken
- die Standby-Verluste der Verbraucher massiv zu verringern
- bei Produktionsproblemen gezielte Lastabwürfe einzelner Verbraucher in den Gebäuden vorzunehmen und damit «Blackout»-Situationen zu verhindern
- mit dem vorhandenen Netz doppelt so viel Strom zu verteilen wie bisher (Ausnahme: einige Hauptleitungen Süd/Nord bzw. Ost/West)



A: Akku

X: Digitalstrom-Modulatoren (über TCP/IP ansteuerbar)

V: Verbraucher

Individuelle Tarife

Nach der Einführung der generellen Stromliberalisierung wird jeder einzelne Kunde seinen Strom aus einem grossen Angebot auswählen können. Wie alle anderen Güter wird auch der Strom zu einem Lifestyle-Produkt: «Wohlfühlstrom».

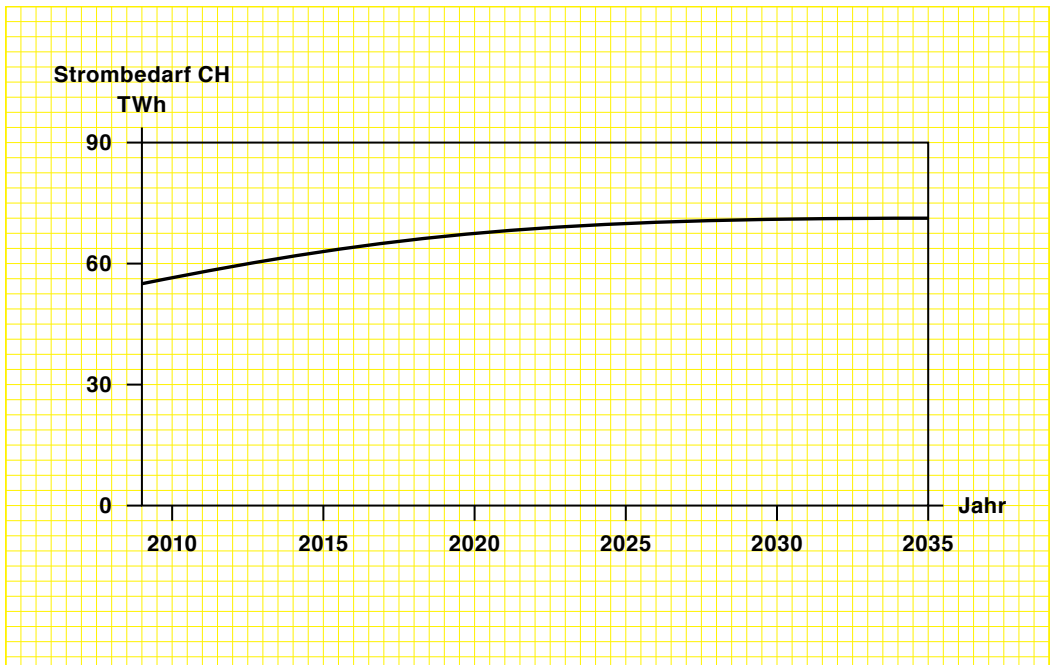
Es wird Anbieter geben, die den Kunden individuelle Angebote unterbreiten. Entsprechende Produktionseinrichtungen werden gemietet (Strommix bestellen) und Verbraucher werden mit technischen Installationen zu lokalen Stromsteuerung und -lagerung ausgerüstet.

Neue Tarife werden Anreize schaffen. Die neuen Technologien werden Verbreitung finden.

Stabilisierung des Stromverbrauchs

Der Gesamt-Stromverbrauch der Schweiz wird sich bis zum Jahr 2035 auf einem Wert von etwa 70TWh/a (8500kWh pro Person und Jahr) stabilisieren (2006: 55TWh/a).

Die demographische Entwicklung (Abnahme der erwerbstätigen Bevölkerung ab ca. 2020) und vor allem die erhöhte Stromeffizienz werden eine Entkopplung zwischen Bruttoinlandprodukt und Stromverbrauch bewirken (analog den fossilen Energieträgern, des Flächenbedarfs pro Person, des Nahrungsbedarfs pro Person, der Anzahl an Restaurants, Museen, Schulen etc.)

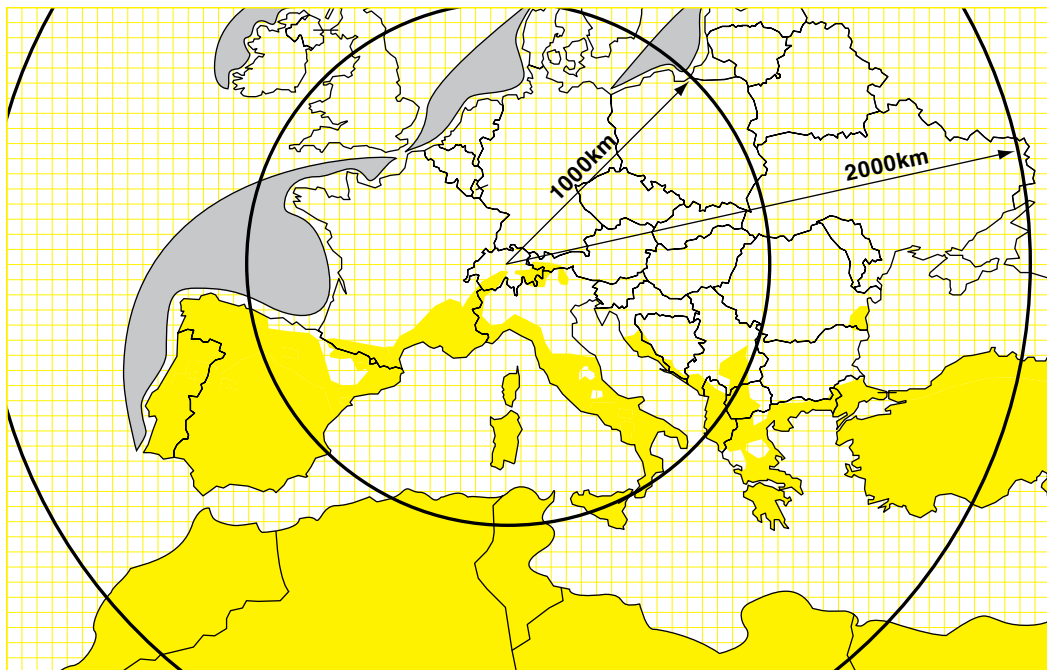


Grosses Angebot von Wind und Sonne

Im Umkreis von weniger als 2000km um die Schweiz liegen gute Wind- (grau) und Solarfelder (gelb) im Überfluss.

Die Bodenfläche, auf der pro m² mehr als 100kWh/a mittels Windmaschinen oder Solarstromsystemen abgeerntet werden kann, beträgt über 7'000'000km² im Umkreis von 2000km.

Pro 100km Transportdistanz betragen die Übertragungsverluste für Strom auf der Spannungsstufe über 380kV rund 1%.



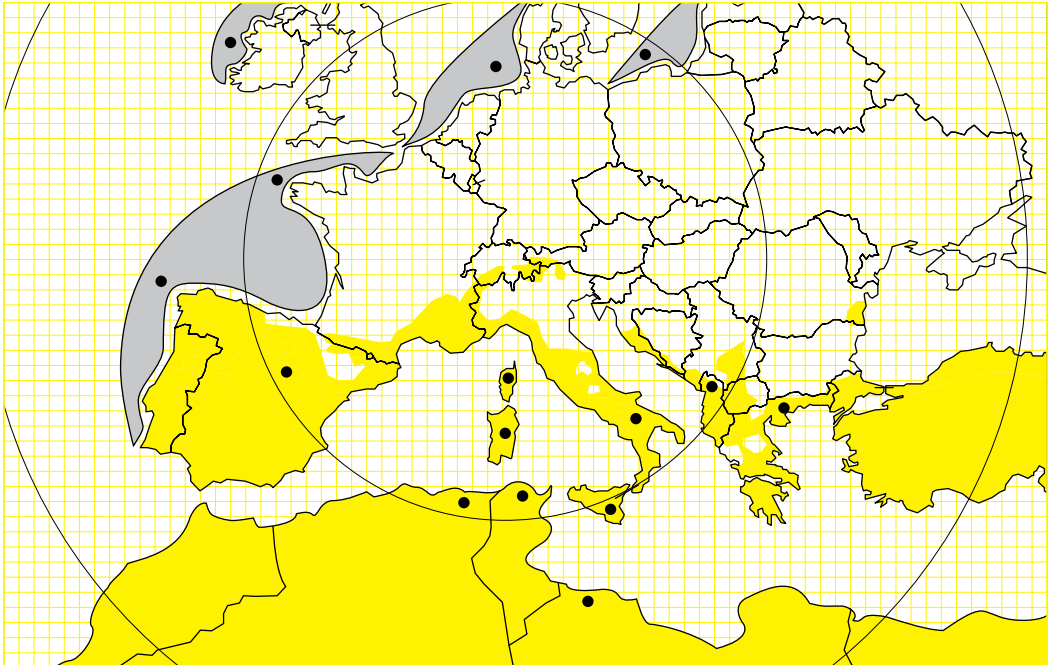
Geeignete Ernteplätze

Die Differenz zwischen der Stromnachfrage und dem Angebot der einheimischen Wasserkraft (ca. 35TWh/a) wird ab ca. 2035 zu über 90% durch Solar- und Windstrom gedeckt.

Zur Senkung des Klumpenrisikos (Beschattung, Embargo, Flaute) werden die erforderlichen PV-Flächen und Windparks in mehreren Ländern innerhalb eines Radius $< 2000\text{km}$ um die Schweiz in Gegenden mit $I_{0,\text{horizontal}} > 1600\text{kWh/m}^2\text{a}$ (bzw. $\varnothing w > 4.5\text{m/s}$) erstellt. Bei einem Mix von 30% Wind- und 70% PV Strom ist eine aktive PV-Fläche von 70km^2 notwendig.

Der Landbedarf (ca. 3.5 mal mehr wegen Beschattung) beträgt rund 250km^2 oder zehn Ernteplätze à 25km^2 .

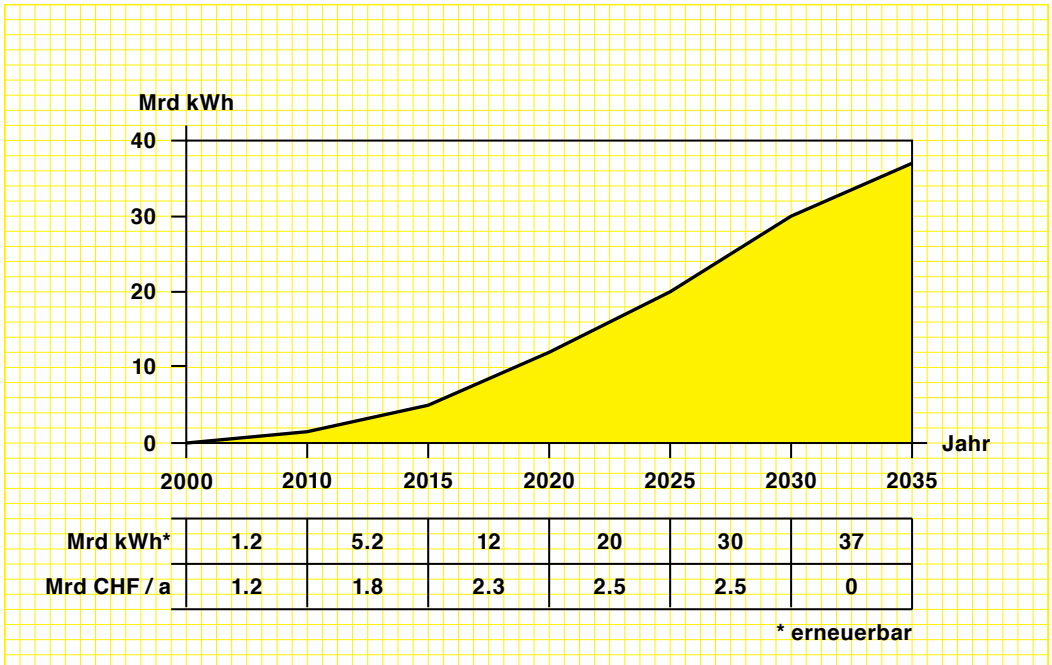
Die Fläche von $5 \times 5\text{km}$ kann in der Karte nicht eingezeichnet werden ($1\text{mm} \approx 30\text{km}$).



Rasanter Zuwachs an Wind- und Solarstrom

Die Dynamik der Integration der Stromproduktion aus Wind und direkter Solarenergie wird innerhalb der nächsten 15 Jahre laufend zunehmen und im Jahr 2030 die höchsten jährlichen Zuwachsraten erreichen. Die Mehrkosten für den stoffflussfreien Strom liegen mit 1 bis ca. 2.7Mrd/Jahr pro Jahr deutlich unter 1% des BIP.

Der Mix zwischen Wind- und Solarstrom bestimmt sowohl den Mischpreis für den erneuerbaren Strom, als auch die Herkunftsregion.



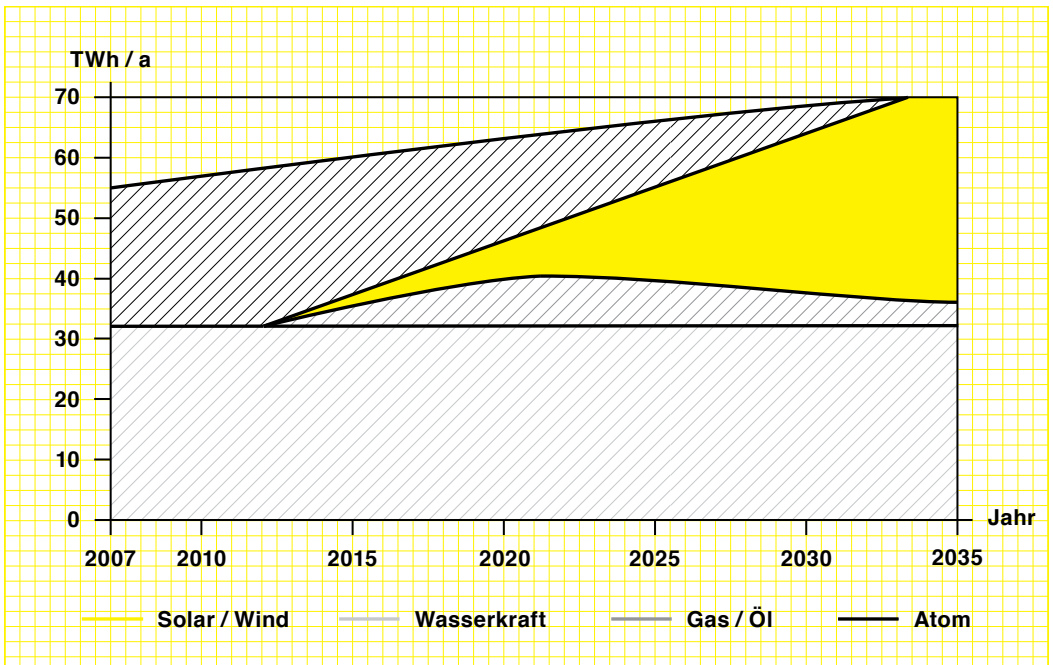
Die Deckung der Stromlücke bis 2035

Mit dem Abschalten der ersten Kernkraftwerke in der Schweiz vom Netz und dem Anstieg des Strombedarfs infolge der Entwicklung im Wärmemarkt (Wärmepumpen) entsteht ab ca. 2015 ein Ungleichgewicht zwischen inländischer Stromnachfrage und -angebot.

Das Angebot wird laufend ergänzt durch Strom aus gasbetriebenen GUD-Kraftwerken (in der Schweiz erstellt) und Strom aus Wind- und Solarkraft (importiert).

Die GUD-Kraftwerke übernehmen dabei zwei Funktionen:

- Überbrückung der Stromlücke bis zum Vollausbau der «Gelben Energie» (Wind- und Solarstrom).
- Sicherstellung der Versorgungssicherheit im Endausbau (daher im Inland gebaut).

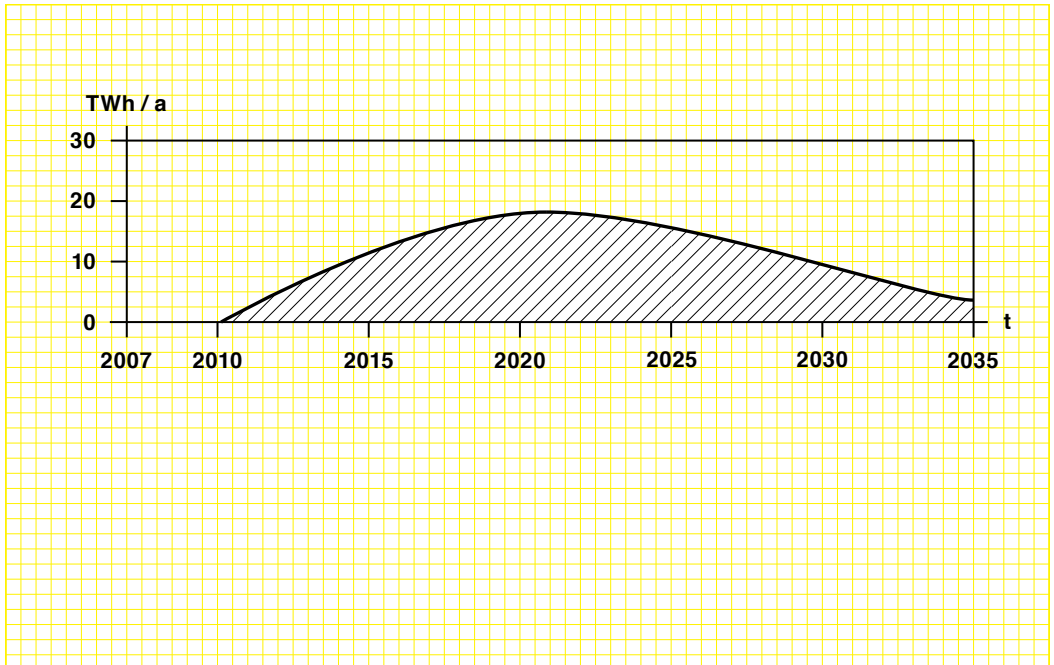


GUD-Kraftwerke zur Überbrückung

Zwischen 2010 und 2025 werden rund 3GW elektrische Leistung in GUD-Kraftwerken installiert, die bei maximaler Auslastung von ca. 6600 Stunden pro Jahr, rund 20TWh/a produzieren können. Sie werden CO₂-optimal und mit Erdgas betrieben.

Ab ca. 2020 wird die Laufzeit der GUD-Kraftwerke laufend reduziert bis sie ab 2035 nur mehr Sicherheits-Standby-Funktion einnehmen (< 1000h/a mit ca. 3TWh/a Produktion).

Die Systeme werden als Bi-Fuel-Anlagen geplant, damit sie rasch von Gas auf den lagerbaren Brennstoff Öl umgestellt werden könnten. Öl-Lager sind im Überfluss vorhanden.



Reduktion der Brennstoffmenge

Mit neuer Technik wird es gelingen, den Stromverbrauch ausserhalb der Wärmeherzeugung zu stabilisieren (→ S.35)

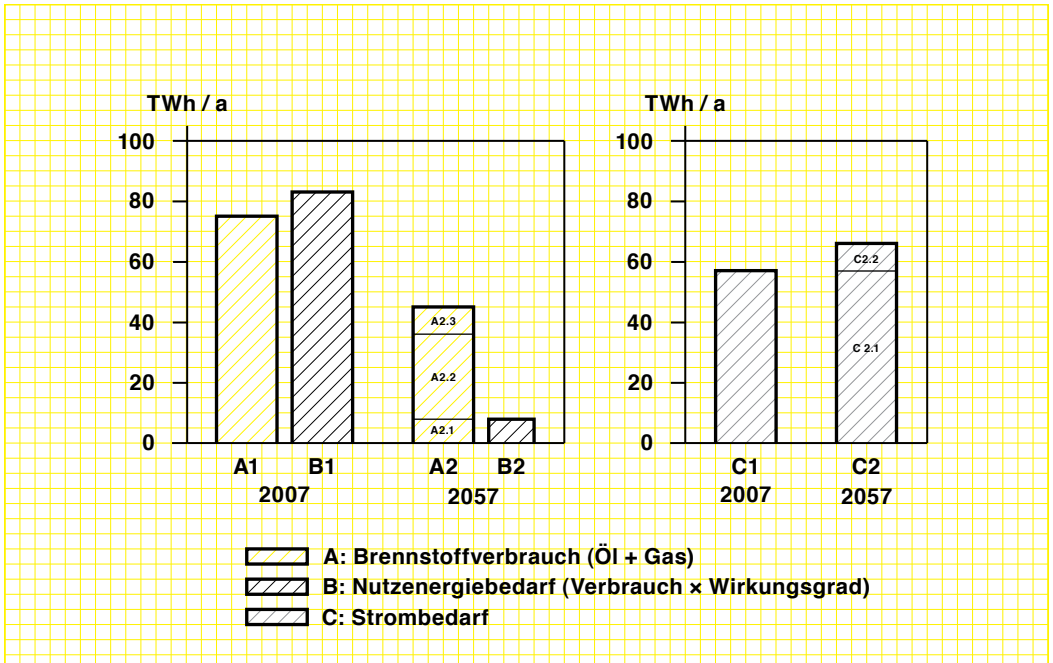
Der zusätzliche Strombedarf resultiert aus der Transformation der Technik für die Wärmeherzeugung (Heizung und Warmwasser).

Für die Betrachtung wird vom Nutzenergiebedarf für die Wärmeherzeugung von rund 75TWh ausgegangen (A1). Dafür müssen 83TWh an Brennstoff eingesetzt werden (B1).

Durch gezielte Wärmedämmung und den Einbau von Wärmerückgewinnungsanlagen in die Abluft und das Abwasser kann

der Wärmebedarf von 75TWh/a (A1) auf 45TWh/a im Jahr 2057 (A2) gesenkt werden.

Dieser neue Wärmebedarf wird im Jahr 2057 gedeckt werden durch 28TWh (A2.2) Anergie, 9TWh Strom für den Antrieb der Wärmepumpen (A2.3) und rund 8TWh an fossilen Brennstoffen für spezielle Gebäude, industrielle Prozesse und für den Betrieb der grossen GUD-Notstromanlagen (A2.1). Die Brennstoffmenge wird also von 83TWh (B1) im Jahr 2007 auf 8TWh im Jahr 2057 (B2) reduziert. Der Strombedarf nimmt entsprechend von 57TWh (C1) im Jahr 2007 auf 66TWh (C2) im Jahr 2057 zu.

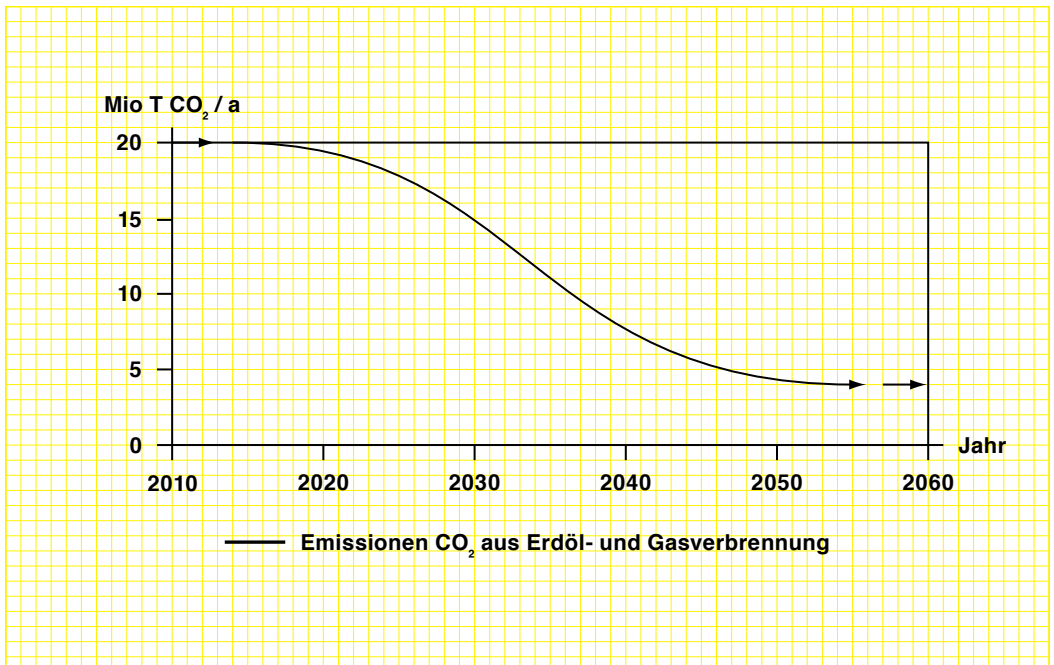


CO₂-Reduktion

Der Verbrauch von rund 5.2Mio Tonnen Erdölbrennstoffen und ca. 29TWh Gas im Jahr 2006 bewirkt eine CO₂-Emission von ca. 20Mio Tonnen CO₂/a.

Nach dem Umbau der Heizungssysteme und der Stromerzeugung gemäss «viaGialla» wird im Jahr 2060 eine CO₂-Emission von ca. 4Mio Tonnen CO₂/a resultieren.

Der Verlauf der Emissionskurve hängt ab von der Geschwindigkeit der Transformation der Gebäude.



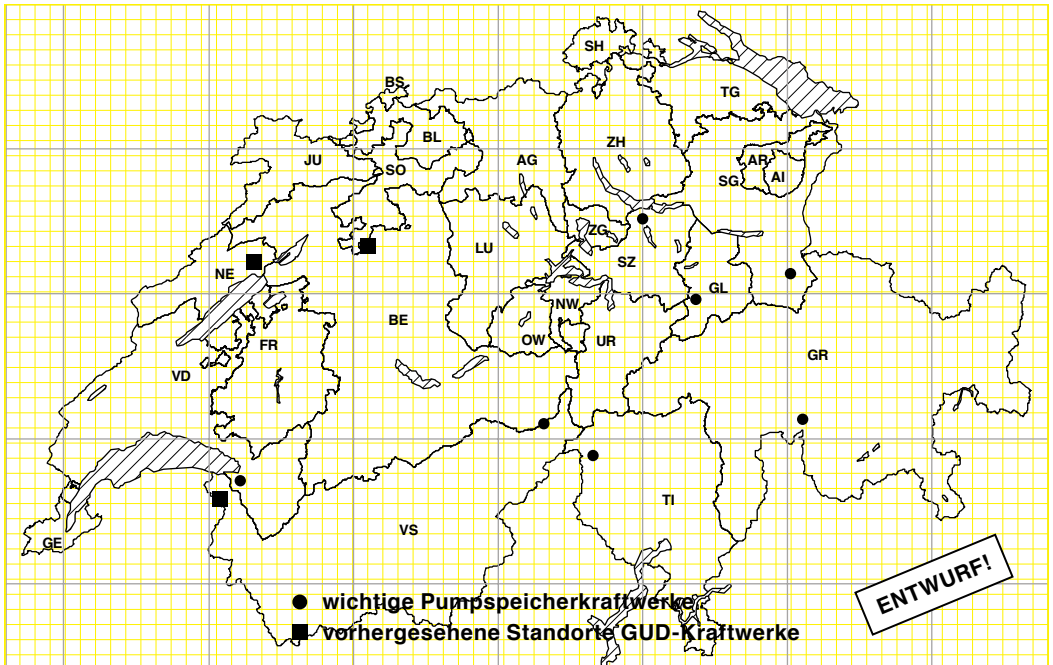
Versorgungssicherheit

Die sichere Stromversorgung der Schweiz wird gewährleistet durch ein vernetztes System technischer Sicherheitseinrichtungen.

Gasbefeuerte GUD-Kraftwerke mit 60% elektrischem Wirkungsgrad werden in unterschiedlichen Grösseneinheiten solange ins Netz integriert, bis die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien den Nettozuwachs des Bedarfs (zusätzlicher Bedarf und wegfallender Atomstrom) decken kann. Ab diesem Zeitpunkt wird die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien weiter gesteigert, bis die Produktion mit fossilen Brennstoffen nur noch 5 bis 10% im Strommix ausmacht. (Standbybetrieb für die Versorgungssicherheit)

Die neue Leistungselektronik und die Stromspeicher in den Gebäuden (→ S.18), die bestehenden hydraulischen Pumpspeicherwerke, und die Stauseen werden zusammen mit den GUD-Notstromanlagen die Stromversorgung sicherstellen. Die Wahrscheinlichkeit des gleichzeitigen Ausfalls aller 10 bis 15 Erntefelder in Europa ist sehr gering.

Standorte weiterer Pumpspeicherwerke und geplanter GUD-Kraftwerke folgen.

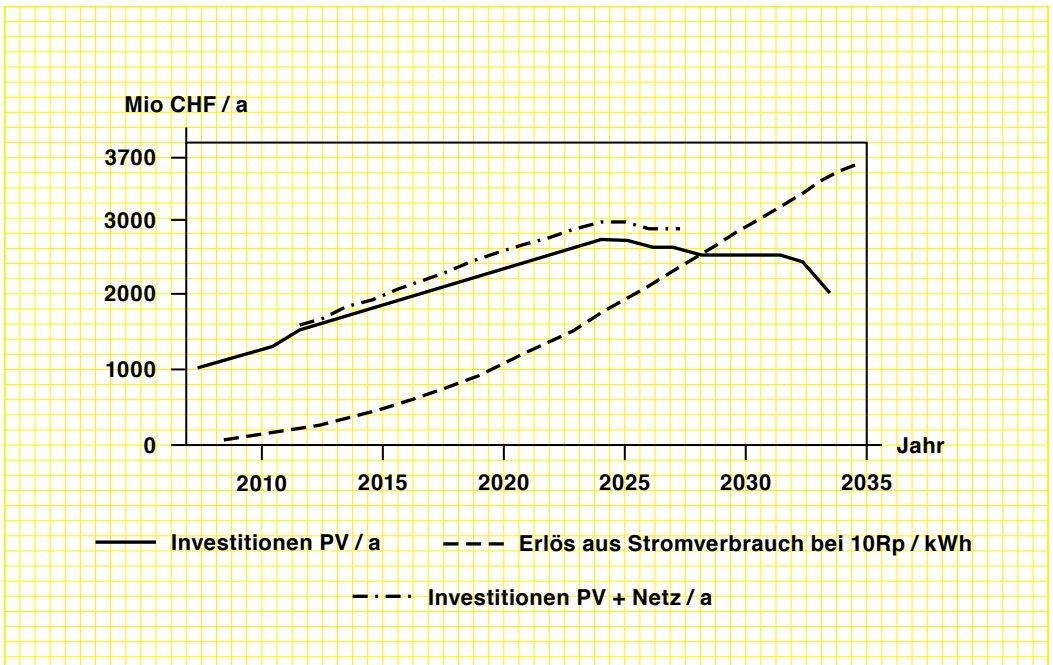


Investitionen und Erlös

In einem dynamischen Aufbau des neuen Stromproduktionssystems, bestehend aus Wind- und Solaranlagen, werden anfänglich 1Mrd/a, im Maximum 2.7Mrd/a im Jahr 2025 investiert. Der Erlös aus dem Stromverkauf bei 10Rp/kWh ab Produktionsstandort erreicht 2020 erstmals den Wert von 1Mrd/a, im Jahr 2033 nach Beendigung des Aufbaus beträgt der Jahreserlös rund 3.7Mrd/a.

In den Ausbau des Stromnetzes werden zwischen 2012 und 2027 ca. 3Mrd investiert.

(Alle Geldbeträge in CHF)

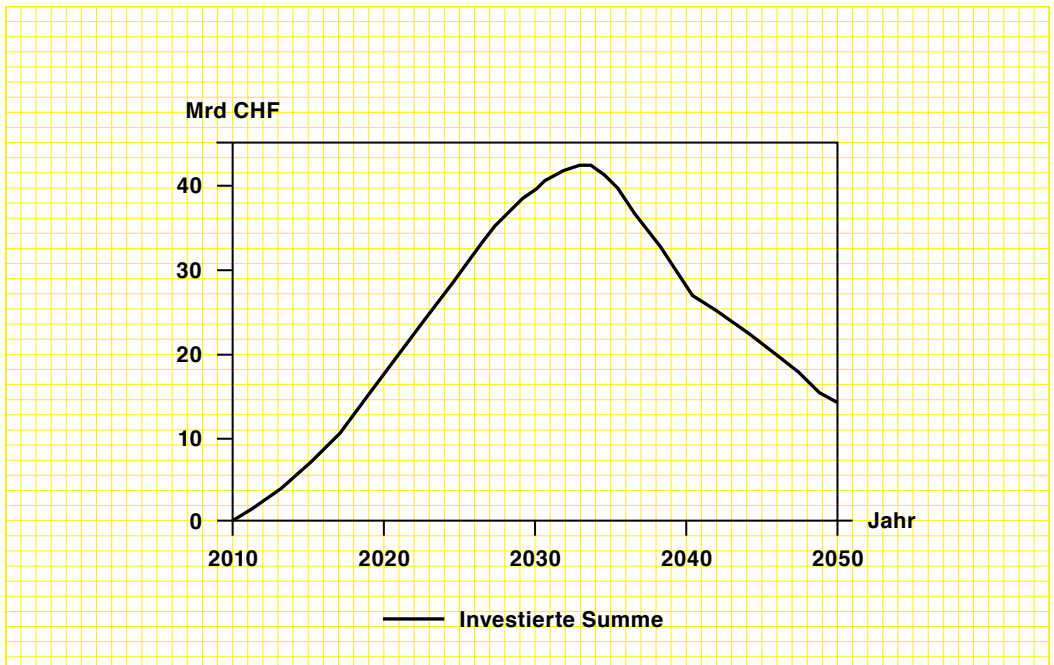


Gute Amortisation der Investition

Der Buchwert der Produktionseinrichtungen wächst bis 2033 kontinuierlich bis auf den Wert von rund 43Mrd an (Investition plus 4% Zins minus Erlös).

(Alle Geldbeträge in CHF)

Nach 25 Jahren Aufbau kann der Rest-Buchwert (43Mrd) rasch abgeschrieben werden, weil die mittlere Lebensdauer des Systems ca. 33 Jahre beträgt. Ab 2040 müssen jährlich Anlagen mit einer Leistung von ca. 0.7GW ersetzt werden, die 1.12TWh/a Strom liefern. Den Ersatzinvestitionen von ca. 1.5Mrd/a stehen Erträge von 3.7Mrd/a gegenüber. Zwischen 2040 und 2050 reduziert sich der Buchwert von rund 30Mrd auf ca. 15Mrd bei vollem Erhalt der Qualität des Anlagenparks.



Finanzierung

Das Anlagevermögen der Pensionskassen der Schweiz beträgt ca. 250Mrd. Die Erarbeitung einer nachhaltigen Rendite von 4% wird zunehmend schwierig weil die Investitionsmöglichkeiten mit sicherem Ertrag über 4% seltener werden.

Die Investition in die neuen Stromproduktionsanlagen ist sicherer als jene in Immobilien, weil der Ertrag bzw. die Absatz von Strom sicherer ist als der Mietertrag. Eigentlich müsste die öffentliche Hand in die Infrastrukturanlagen für die Stromerzeugung, analog den Infrastrukturen für den Verkehr, die Wasserversorgung, die Wasserreinigung, etc.) investieren.

Dies widerspricht aber dem gegenwärtigen Trend der Privatisierung von Aufgaben für das Gemeinwohl.

Sobald durch den Bundesrat beschlossen wird, dass die Variante «viaGialla» wünschenswert ist, dass Pensionskassengelder gleich wie Investitionen in Liegenschaften behandelt werden (individueller, zweckgebundener Vorbezug möglich) und sobald speziell überwachten Fonds eine Ertragsgarantie durch den Bund gewährt wird in der Art einer Versicherung, wird die Finanzierung des Weges «viaGialla» eine Leichtigkeit sein.

(Alle Geldbeträge in CHF)

Impressum

Herausgeber / Autor:

Hansjürg Leibundgut

Redaktion:

Luca Baldini

Philipp Bollier

Valérie Gass

Georg Krüger

Forrest Meggers

Arno Schlüter

Frank Thesseling

Gestaltung:

Robert Lzicar

Druck:

Druckerei Odermatt

Copyright:

Alle Rechte vorbehalten

© Texte und Abbildungen beim Herausgeber

Kontakt:

info@viagiabella.ch

ETH Zürich

Institut für Hochbautechnik

Professur für Gebäudetechnik

HIL E 15.1

Wolfgang-Pauli-Str. 15

CH-8093 Zürich

[www.gt.arch.ethz.ch]

Internet:
www.viagialla.ch

Postkonto-Nummer:
www.viagialla.ch/konto

