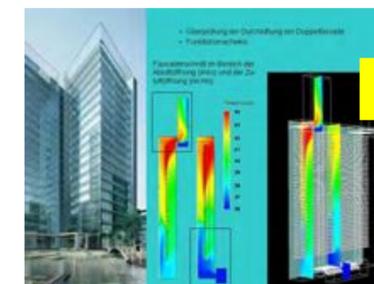
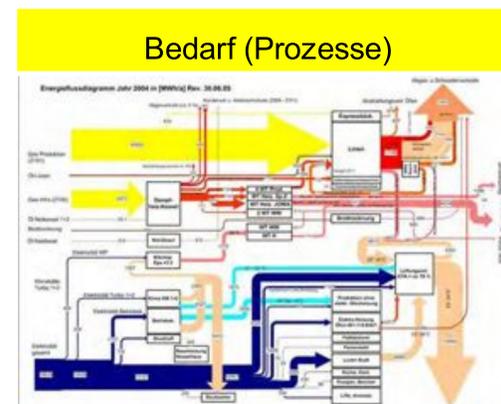


[Erdwärmesondenfelder – eine logische Entwicklung]

Thermodynamische Grundsätze konsequent umsetzen

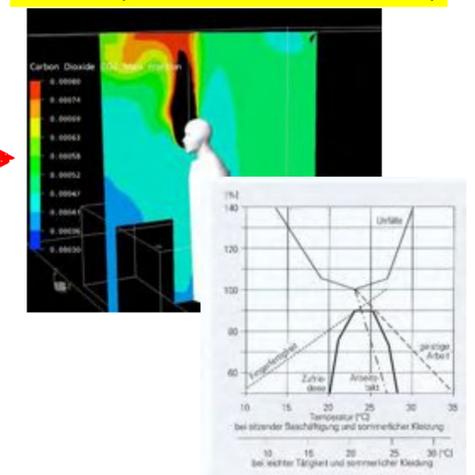
Agenda

- Ausgangslage und Zielsetzung – relevante Aspekte
- Strategie – LowEx ZeroEmission
- Erdwärmesonden - Möglichkeiten und Grenzen
- Erdwärmesondenfelder im Verbund – Synergien nutzen
- Fazit – Umsicht statt Fokus

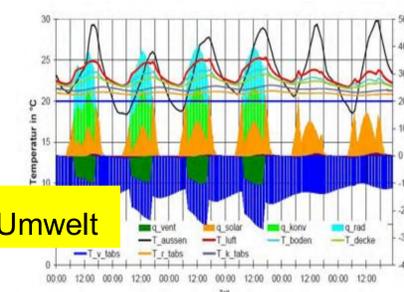


Gebäudehülle / Masse

Bedarf (Komfort / Produktivität)

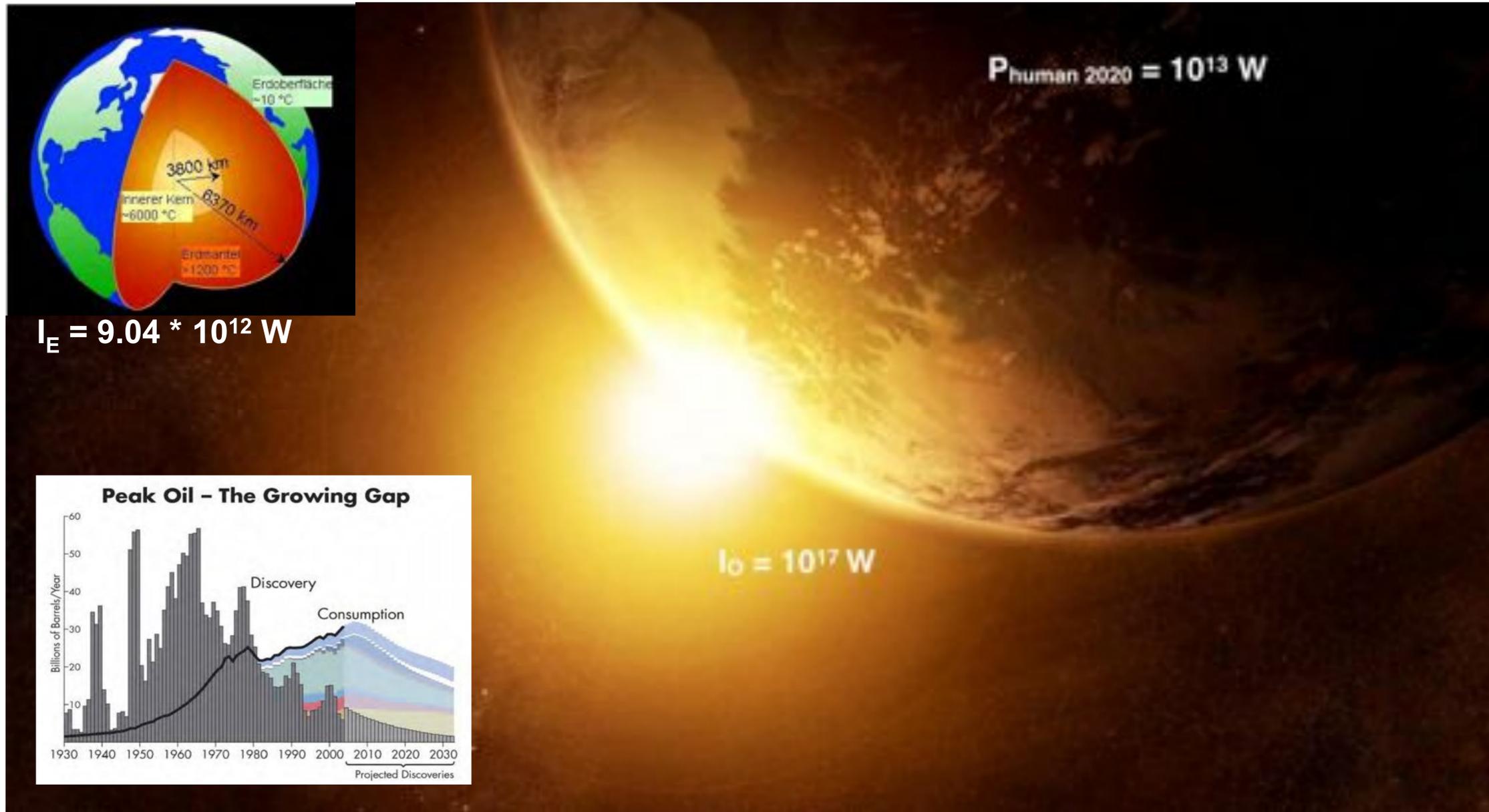


Aussenklima / Umwelt





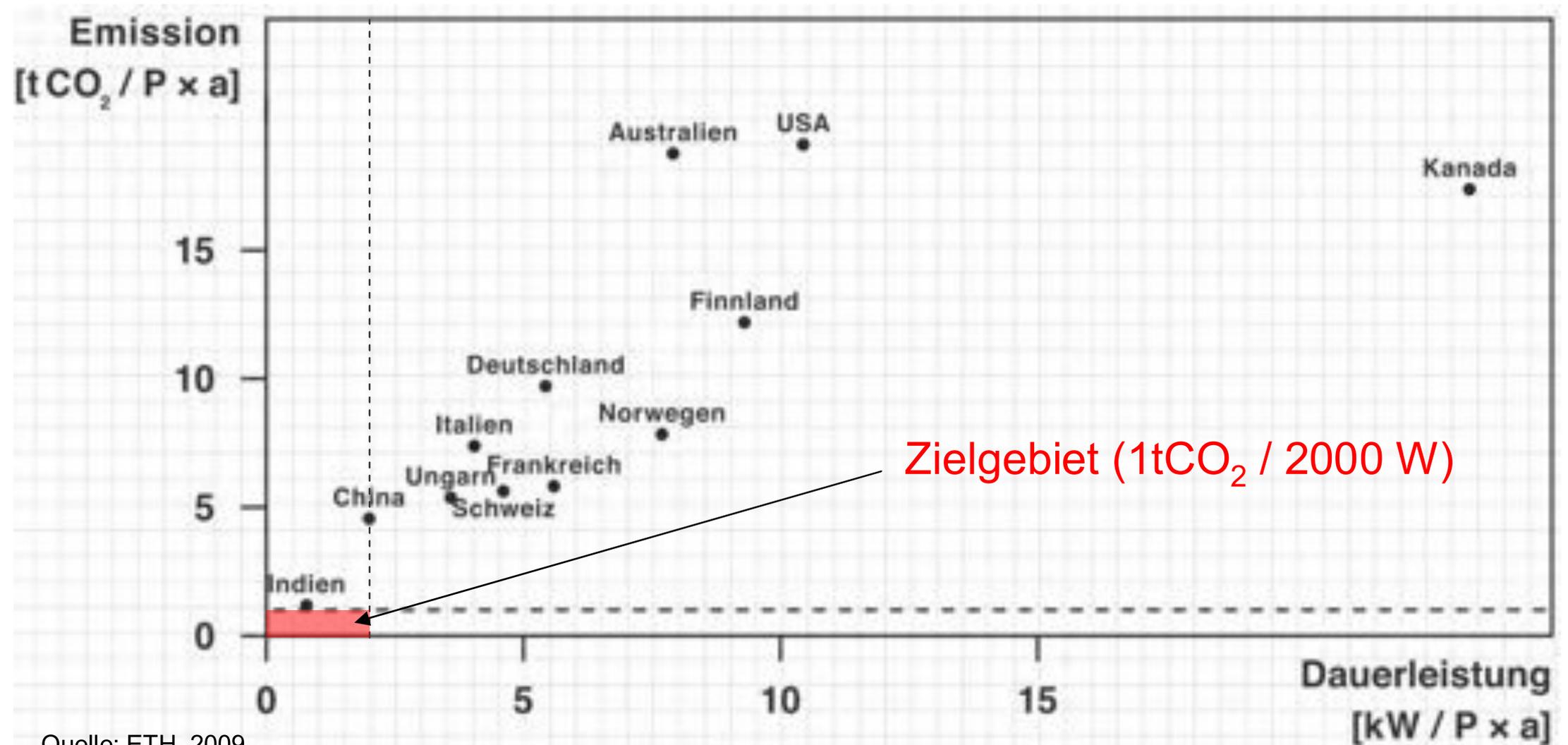
Ausgangslage – Lagerabbau statt "just in time"



$$I_E = 9.04 * 10^{12} \text{ W}$$

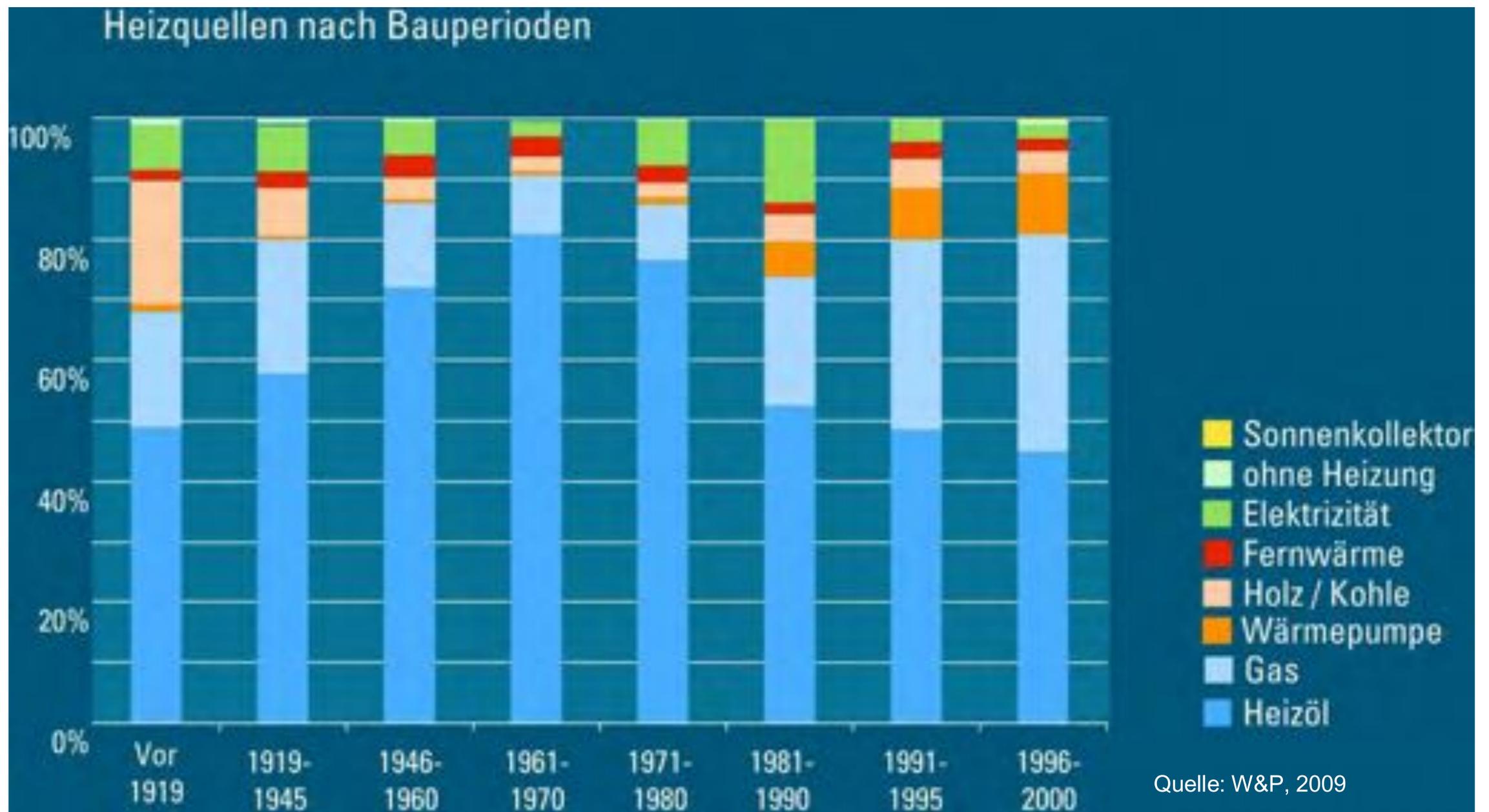
$$I_{\odot} = 10^{17} \text{ W}$$

Ausgangslage – ein Effizienz- und Stoffflussproblem

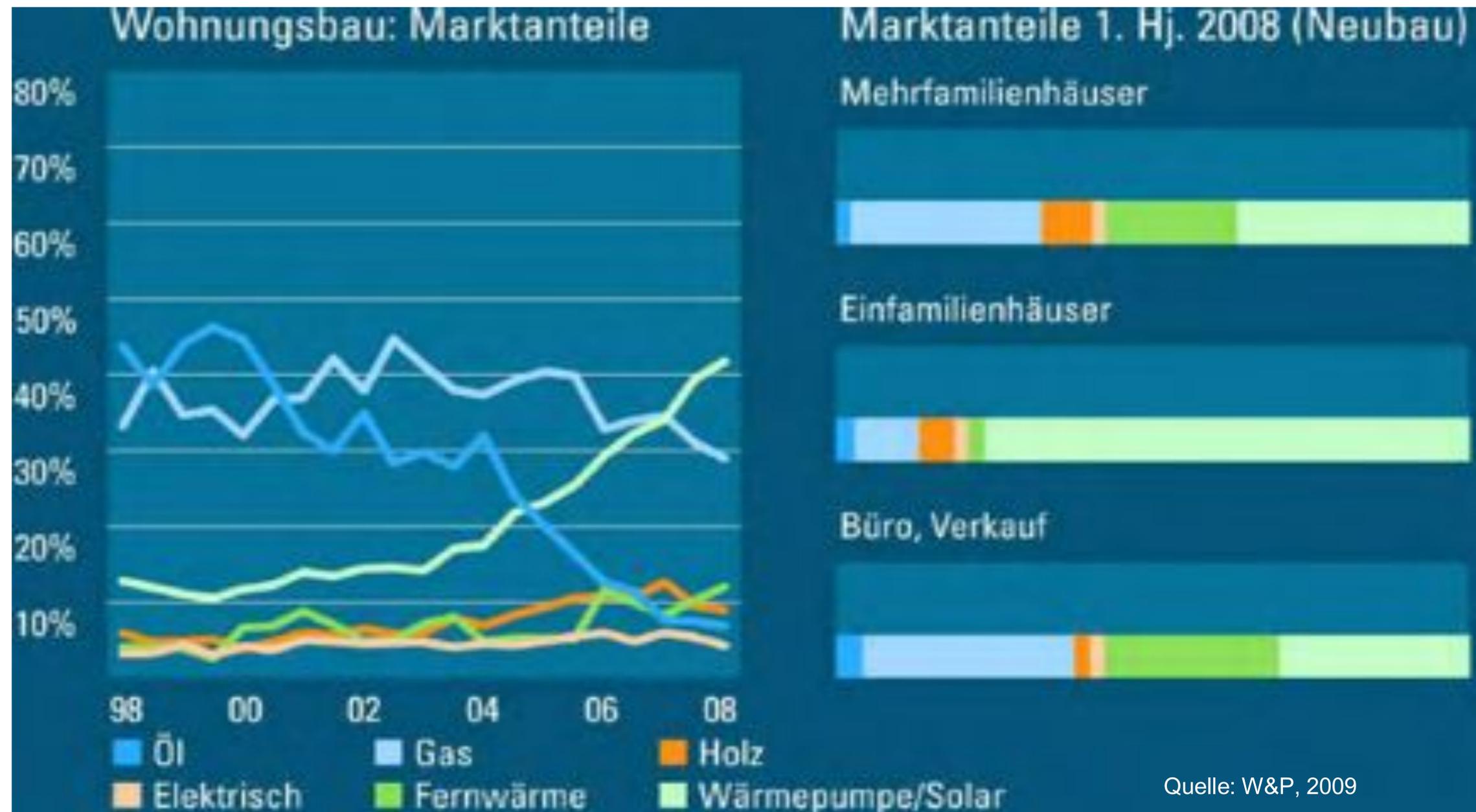


Quelle: ETH, 2009

Ausgangslage – der Gebäudepark CH ist fossil geprägt



Ausgangslage – Erneuerbare sind (bisher) Privatsache



Ausgangslage – Differenzierung und Fokussierung

Differenzierung Neubau und Umbau

- Neubau = Statische Problemstellung erlaubt "Punktlandung"
- Umbau = Dynamische Problemstellung bedingt "Entwicklungspfad"

Handlungsebenen

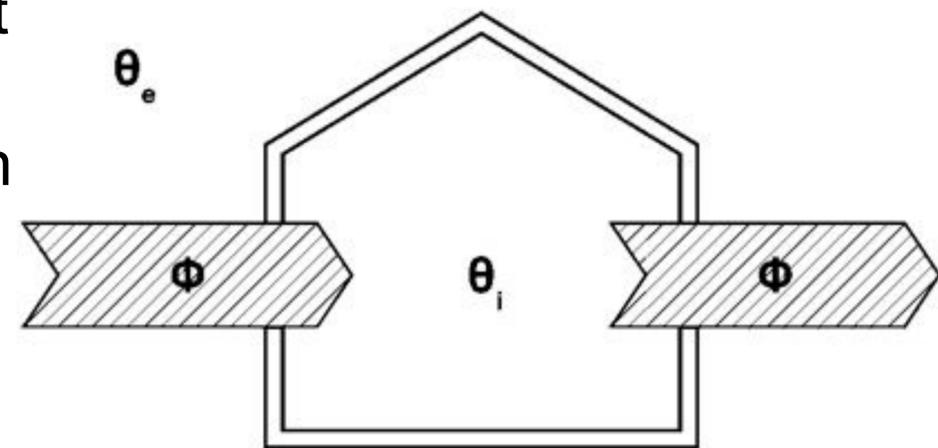
- Energiebedarf: Gebäudehülle, bedarfsabhängiger Betrieb [kWh/m²,a]
- Ressourceneinsatz: Energieträger, Recycling [kgCO₂/m²,a]
- Energieeffizienz: Wirkungsgrad der Maschinen und Komponenten [kWh_{ex}/kWh]
- Synergien: Wärmesenken und –quellen kombinieren, saisonale Speicher



Strategie – Thermodynamik und Energieeffizienz

Der erste Hauptsatz der Thermodynamik

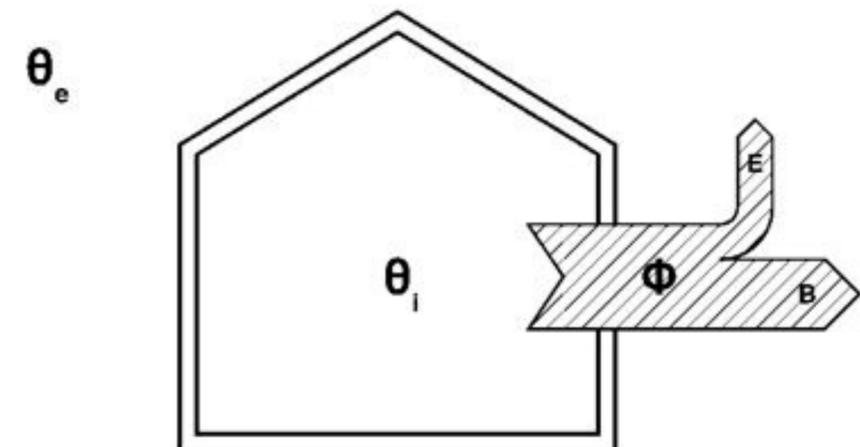
Der erste Hauptsatz der Thermodynamik sagt aus, dass aus einem System gleich viel Wärme Φ abgeführt werden muss, wie es von Aussen erhält, wenn die Raumtemperatur θ_i konstant bleiben soll.



Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik

Aus dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik lässt sich ableiten, dass der Wärmestrom Φ , der zwischen den Reservoirs 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.

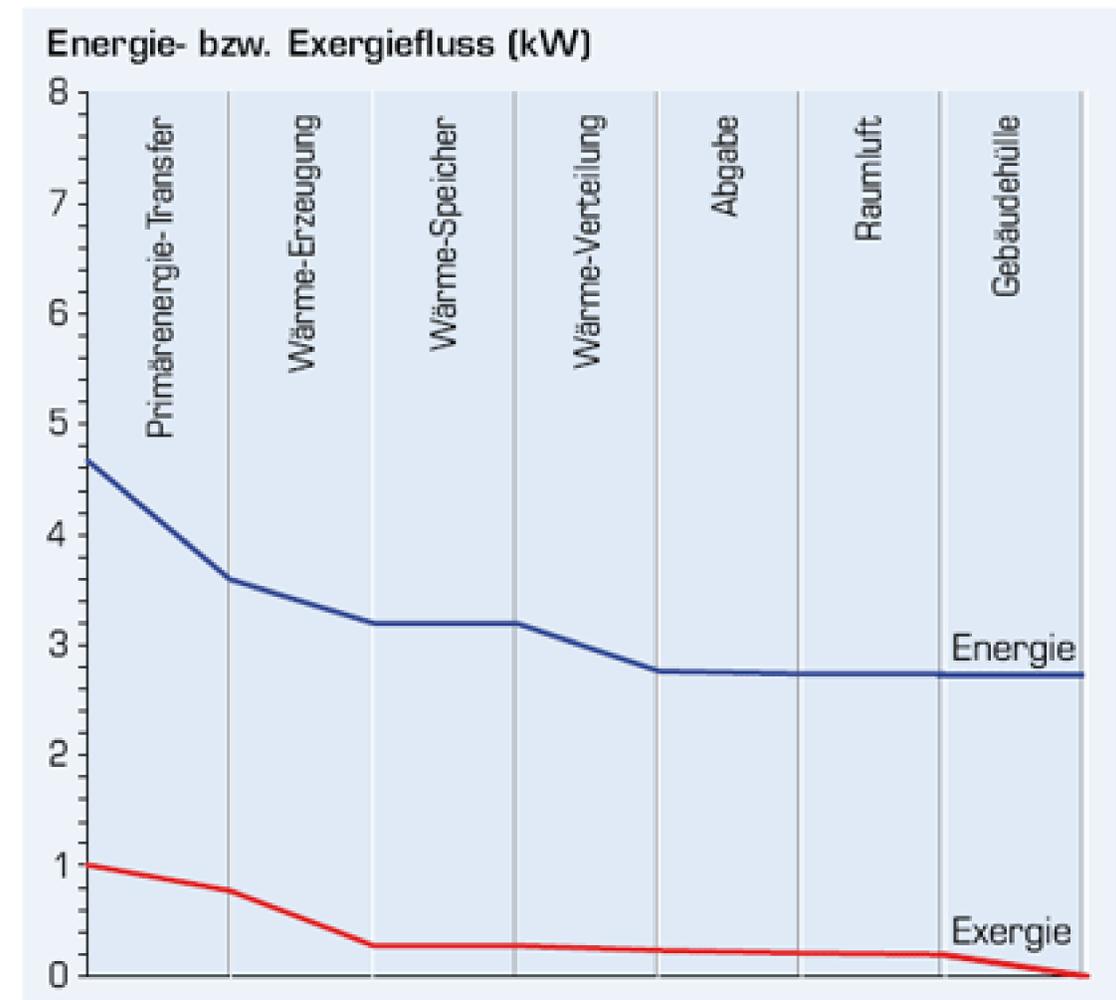
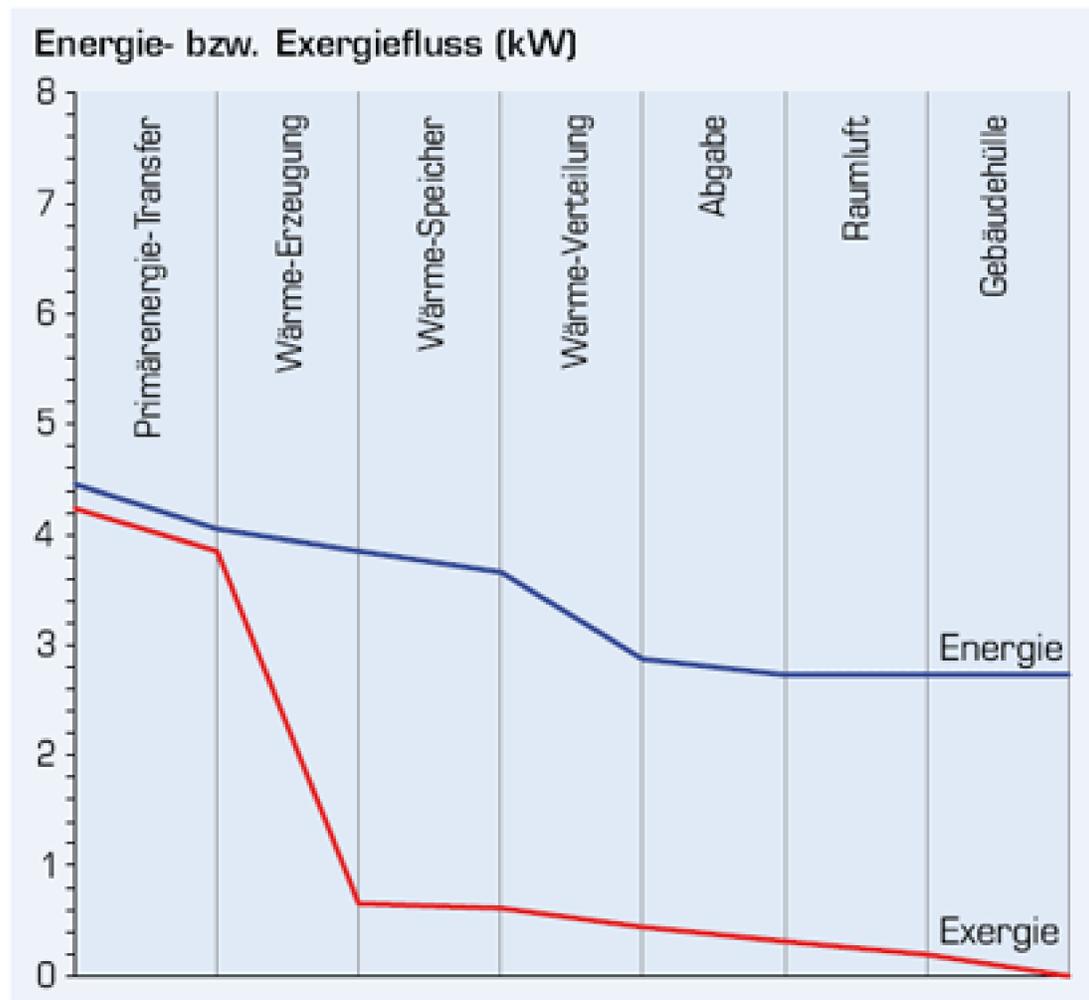
E wird als Exergie, B als Anergie bezeichnet.



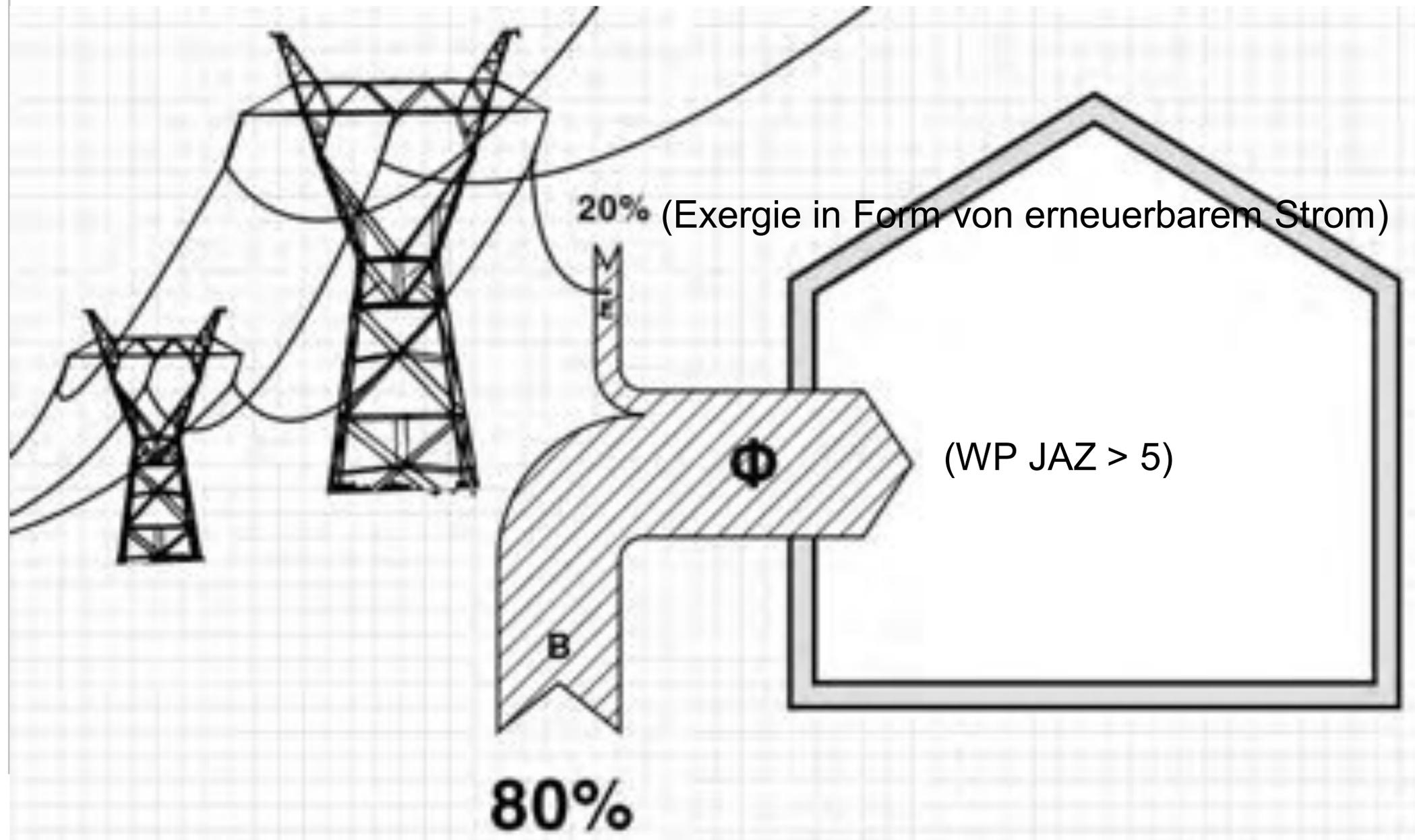
Strategie – Thermodynamik und Energieeffizienz

Exergieminimierung und Anergiemaximierung

Die Exergieanalyse zeigt, dass mit einem Heizkessel (links) gegenüber einer Wärmepumpe (rechts) zwar gleich viel Energie aber sehr unterschiedlicher Exergiebedarf oder hochwertiger Energieeinsatz nötig ist.



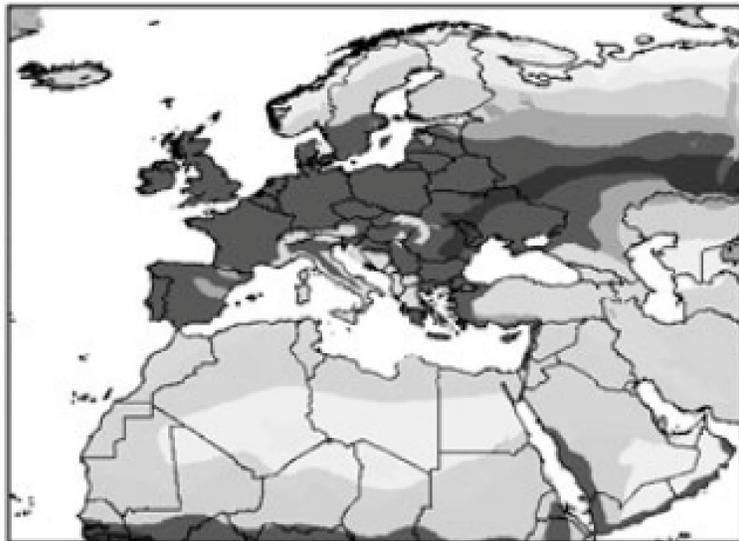
Strategie – Fokus auf Strom und Wärmepumpe (WP)



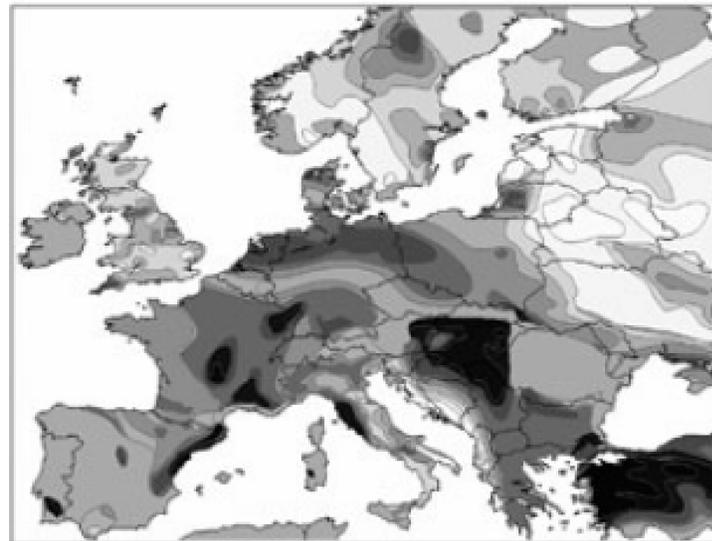
(Anergie als Umweltwärme, zB Solar, Erdreich, Grundwasser etc.)

Strategie – Erneuerbarer Strom aus guten "Erntegebieten"

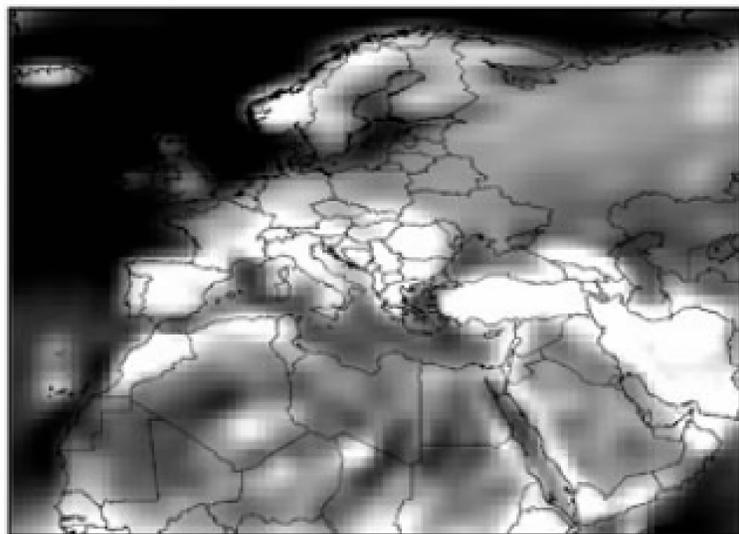
Biomass (0-1)



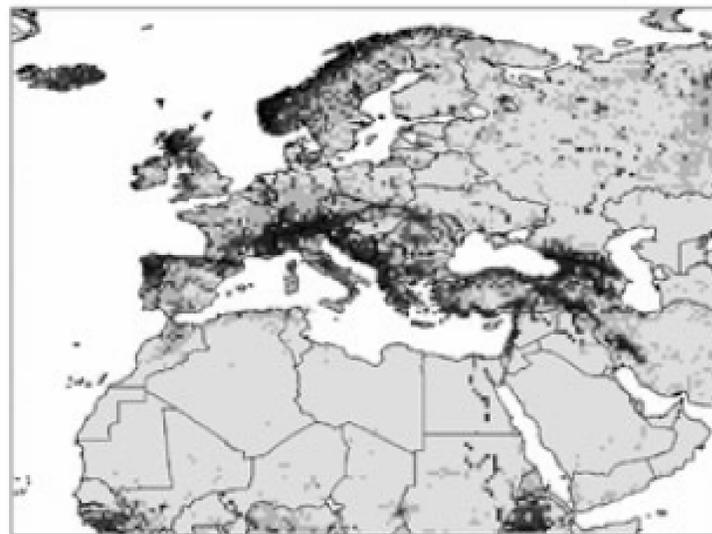
Geothermal (0-1)



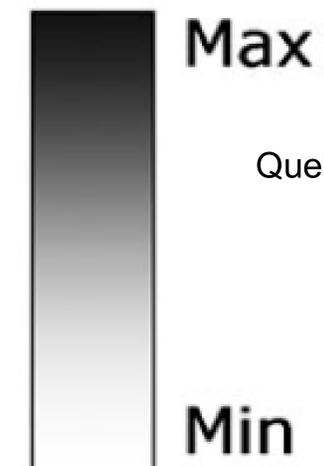
Solar (10-250)



Wind Energy (5-50)



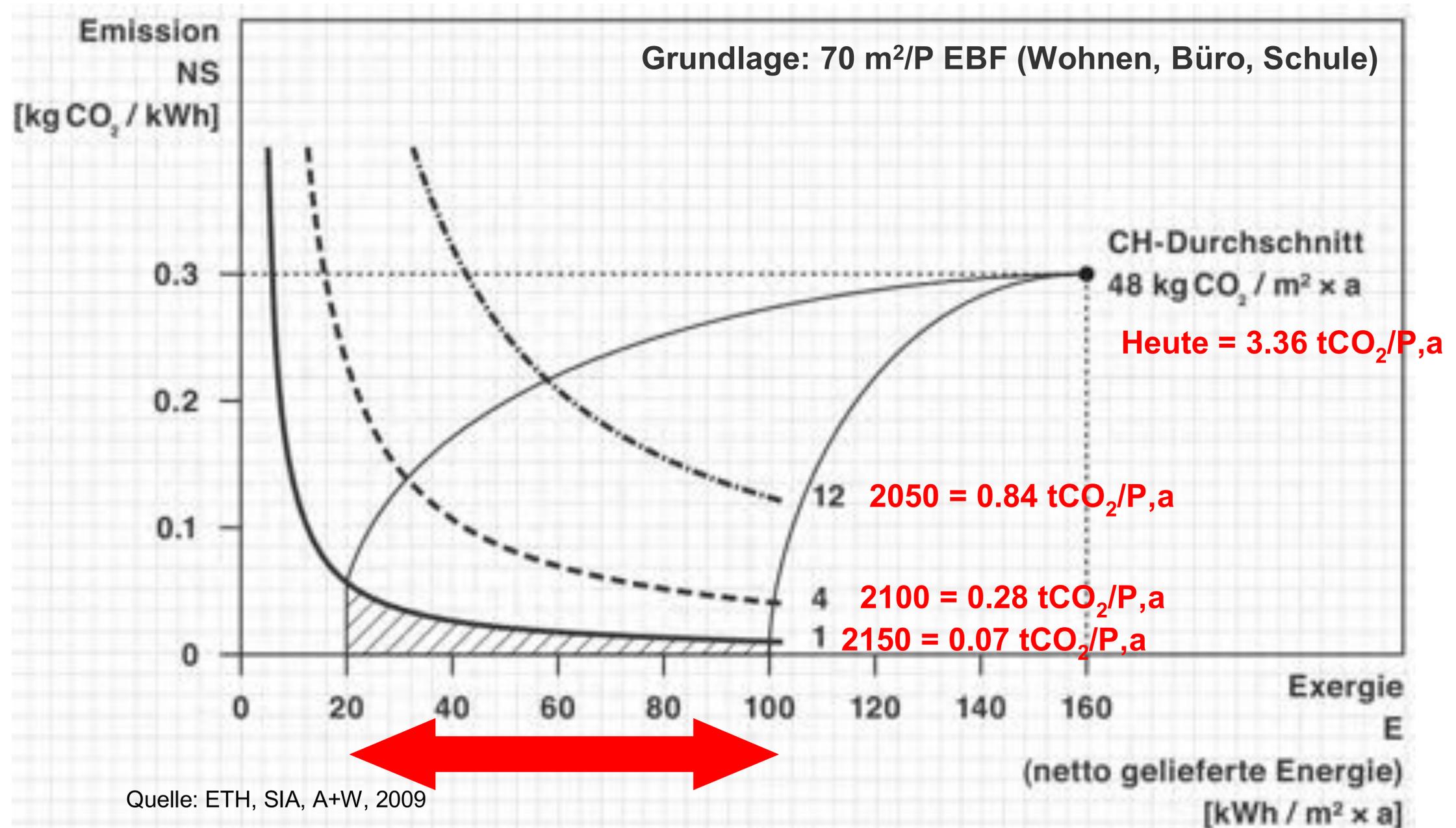
Hydropower (0-50)



Quelle: Dürrschmitt et al, 2006

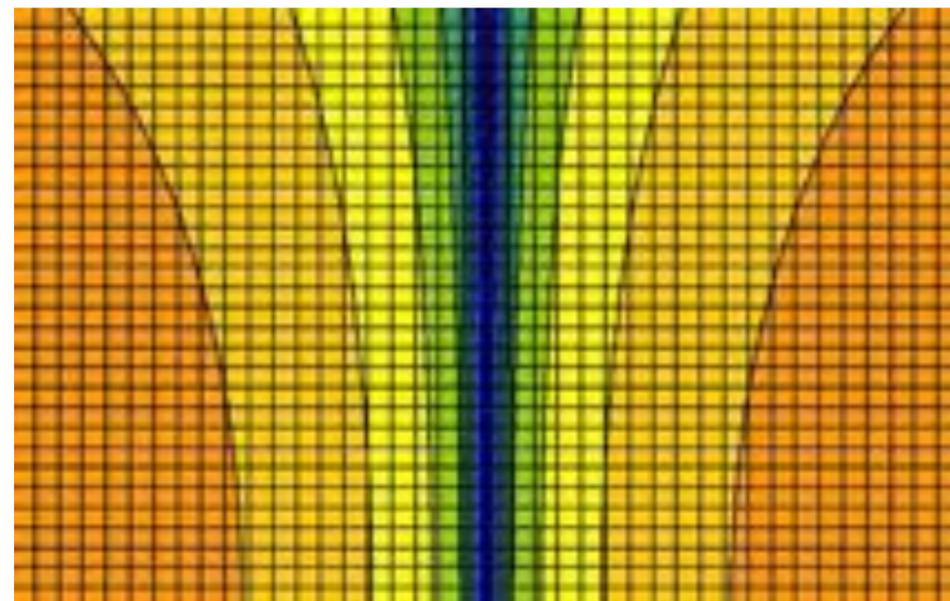
**Electricity Yield
in GWh/km²**

Strategie – Entwicklungspfad mit Freiheitsgraden



Erdwärmesonden – Möglichkeiten und Grenzen

- Generelle Auslegungsempfehlungen
- Direktheizung statt WP
- Nutzen aktiver Regeneration bei Einzelsonden
- Nutzen aktiver Regeneration bei Sondenfeldern
- Beispiele von Verbundlösungen mit Anergierung





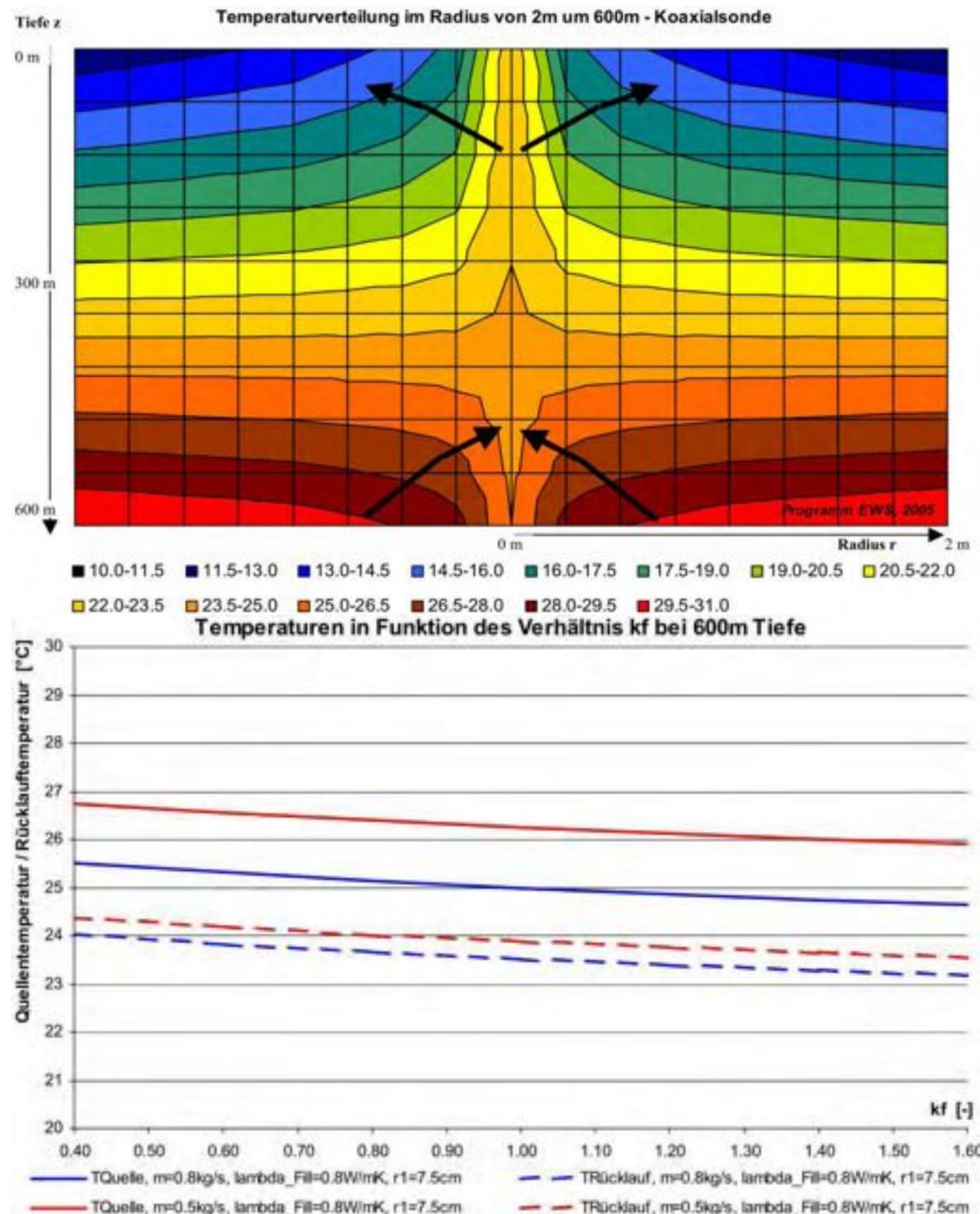
Erdwärmesonden – SIA 384/6 und Optimierungen

Empfehlungen:

- Auslegung statisch gemäss SIA-Norm 384/6 (< 4 EWS), sonst z. B. Programm EWS
- Für den Wärmeentzug gilt: mittlere Soletemperatur nach 50a > -1.5°C (z.B. Eintritt in die Erdwärmesonde -3°C, Austritt 0°C)
- Hinterfüllmaterial mit möglichst hoher Wärmeleitfähigkeit (2 bis 2.5 W/m²,K)
- Falls möglich reines Wasser als Fluid einsetzen (ca. 25-30% EWS-Mehrlänge)
- Bei gemischtem Fluid Ethanol statt Ethylenglykol als Frostschutz einsetzen
- Kombination EWS-WP mit PV oder Hybridkollektoren

Detailinformationen siehe Studie ZHAW (bis 2013): www.erdsondenoptimierung.ch

Erdwärmesonden – Direktheizung statt WP



Mit Koaxialsonden lassen sich bei Bohrtiefen von 600m Quelltemperaturen von 25-26°C erreichen, rund 4-6°C höher als mit Duplex-Sonden.

Es muss aber heute mit rund 45% höheren Kosten für die Koaxialsonden gegenüber den konventionellen Sonden gerechnet werden.

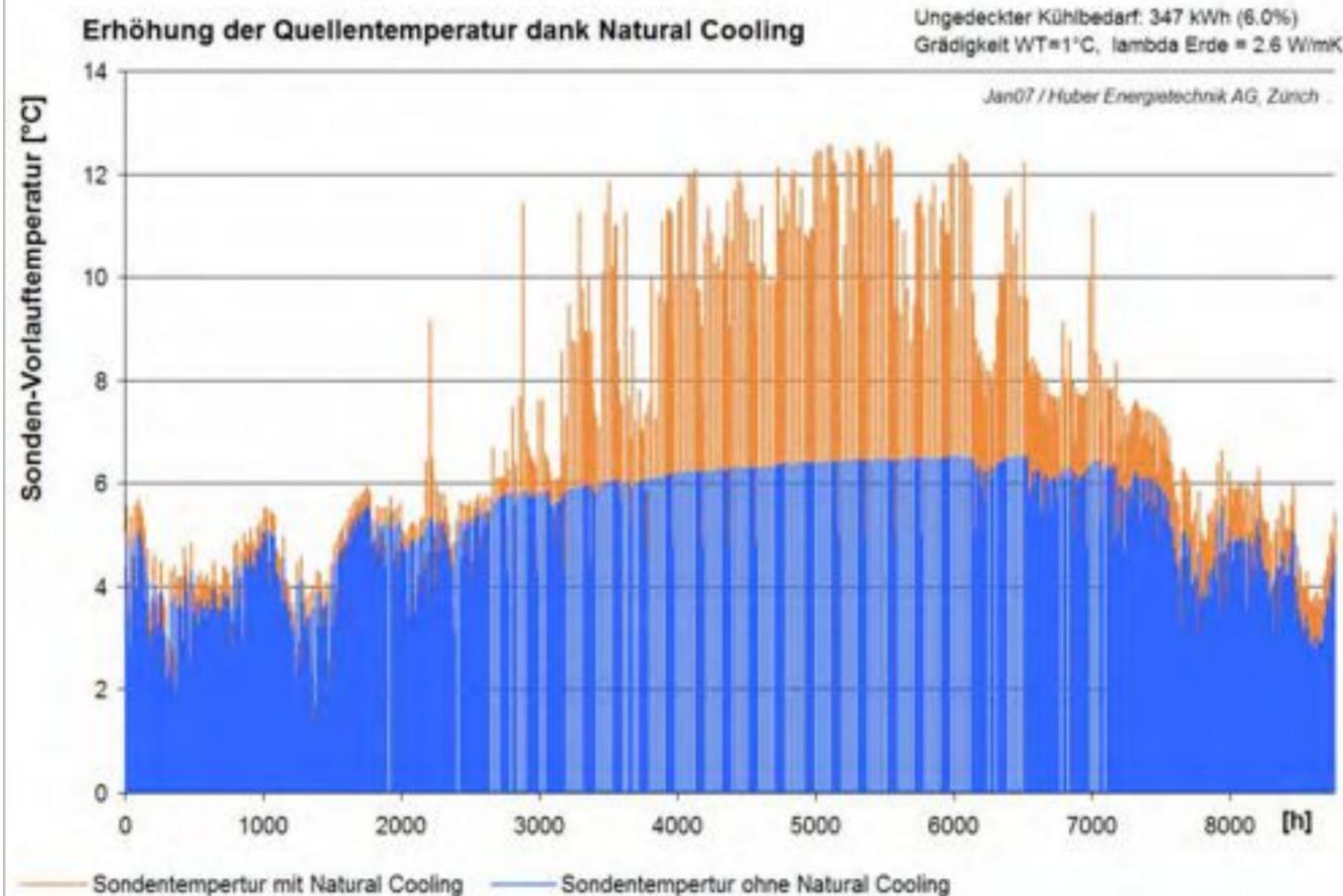
Wichtig ist das Erreichen einer geringen Wärmeleitfähigkeit im oberen Drittel und einer hohen im untersten Drittel.

Eine Warmwasserproduktion ohne Wärmepumpe lässt sich nicht realisieren.

Quelle:
Studie Erdwärmesonden für Direktheizungen, BFE 2005

Studie Tiefen-EWS Oftringen (706m), BFE 2010

Erdwärmesonden – Aktive Regeneration Einzelsonden



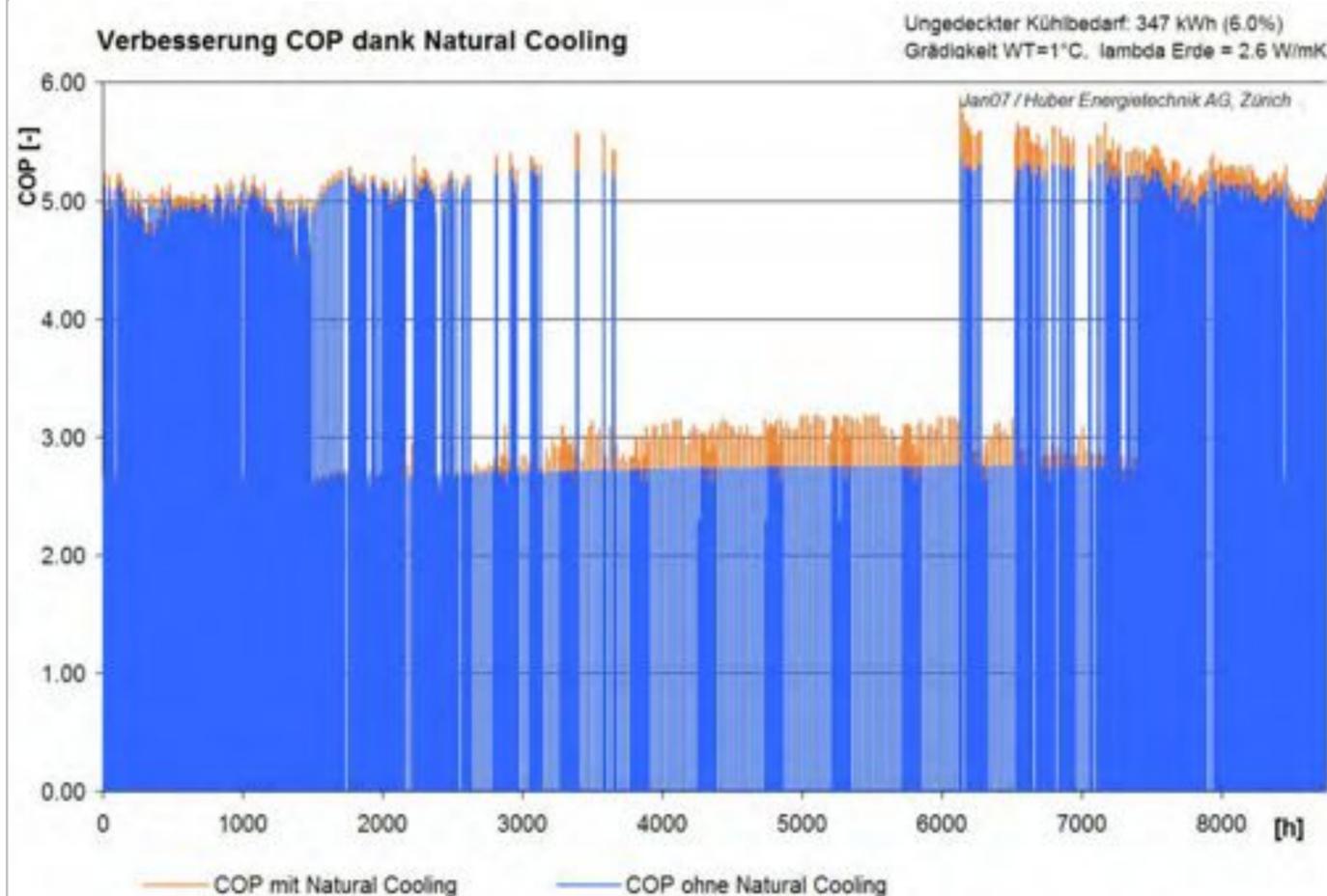
Simulationen der EWS zeigen, dass durch Freie Kühlung (Free Cooling = Natural Cooling) die Quelltemperatur zwar in der Zeit der Einspeisung deutlich steigt, aber schon zu Beginn der Heizperiode nur noch wenig über der ungestörten Quelltemperatur liegt.

Gemäss Studie erhöht sich die Quelltemperatur im Mittel um 1.2K. Ein so kleiner Effekt im Auslegungsfall erlaubt kaum eine kleinere Dimensionierung der Erdwärmesonde.

Auch solare Einträge sind gemäss Untersuchungen erst ab Sondenfeldern von 4 x 4 EWS sinnvoll.

Quelle: Studie "Heizen und Kühlen mit erdgekoppelten WP", BFE 2007

Erdwärmesonden – Aktive Regeneration Einzelsonden



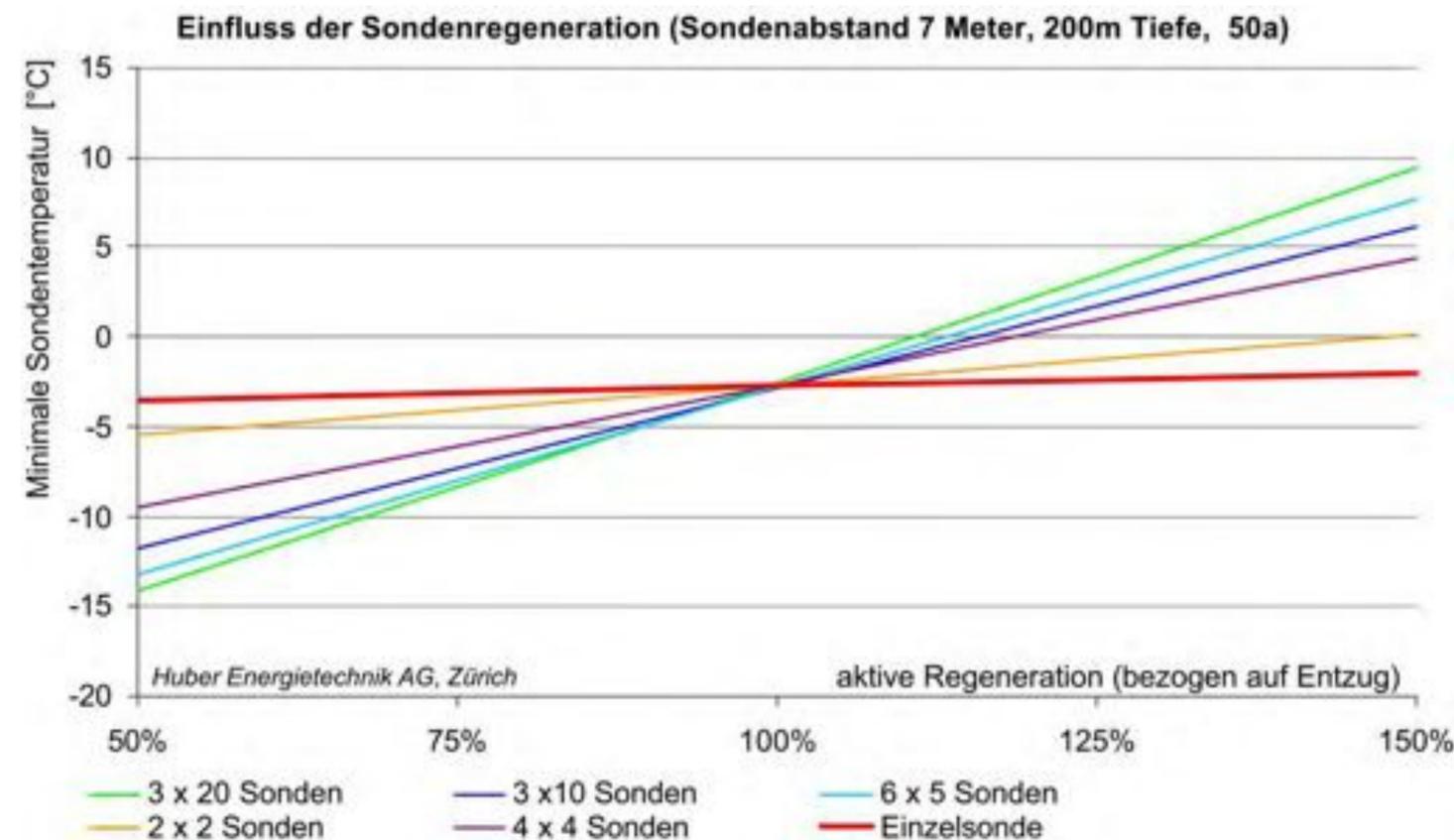
Für eine Wärmepumpe mit R134a resultiert eine Steigerung des COP um 0.15 / Grad Temperaturzunahme des EWS-Vorlaufs bei 35°C Vorlauf Heizung (bei Warmwasser um 63°C rund 0.07 /°C Vorlauf EWS).

Die Steigerung des Systemnutzungsgrades für den reinen Heizbetrieb liegt bei rund 2.5% und ist damit gering. Da die Sondenaustrittstemperatur im Sommer rund 1 – 5K höher liegt, ergibt sich eine effizientere Warmwasserproduktion in dieser Zeit (COP steigt um 7-8%).

Quelle: Studie "Heizen und Kühlen mit erdgekoppelten WP", BFE 2007

Mehrkosten EFH (netto):
ca. 150 – 220 CHF/a

Erdwärmesonden – Aktive Regeneration Sondenfelder

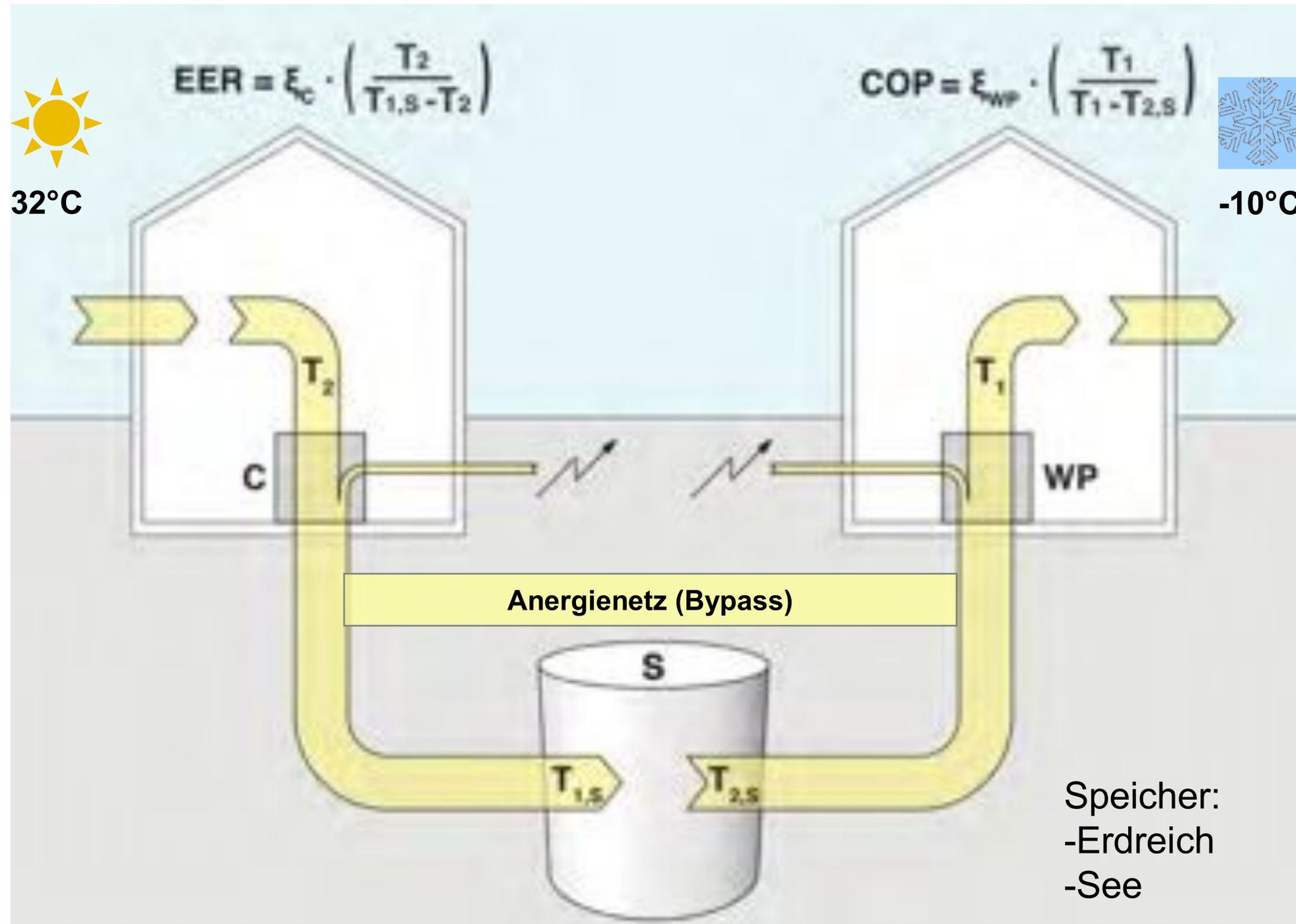


Aus der Darstellung wird ersichtlich, dass eine aktive Regeneration mit saisonaler Speicherung erst bei Sondenfeldern ab 4 x 4 EWS à 200m Sinn macht, bzw. bei grösseren Feldern unbedingt zu empfehlen ist.

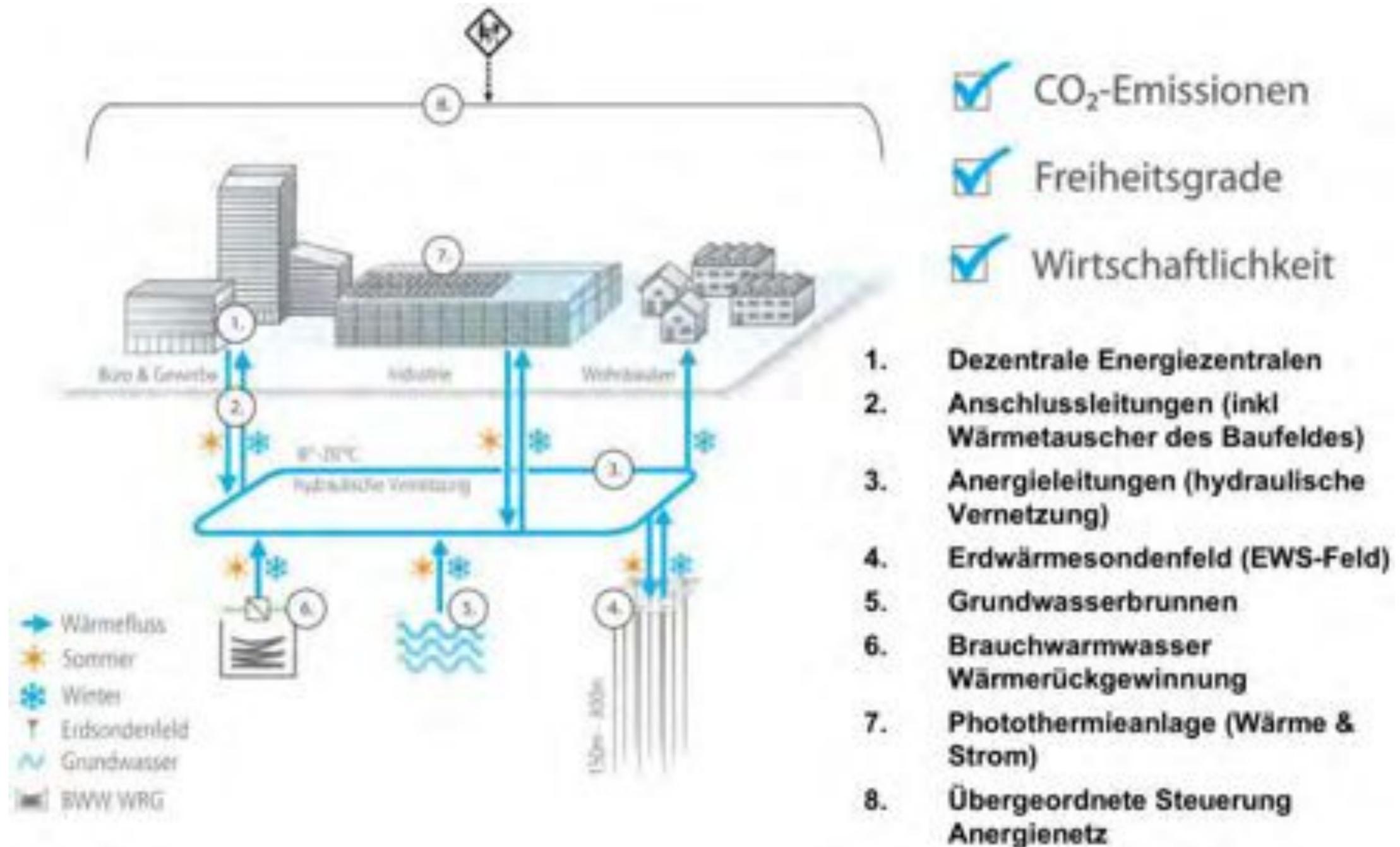
Begrenzende Faktoren sind oft die genügende Fläche auf dem Dach für die solare Einspeisung, sowie die maximale Einspeisetemperatur von den Kollektoren in die Erdwärmesonden (um 40°C, daher technische Zwischen-Speicher notwendig).

Quelle: Referat A. Huber, EnergiePraxis-Seminar 2/2011

Erdwärmesonden im Verbund – Synergien nutzen

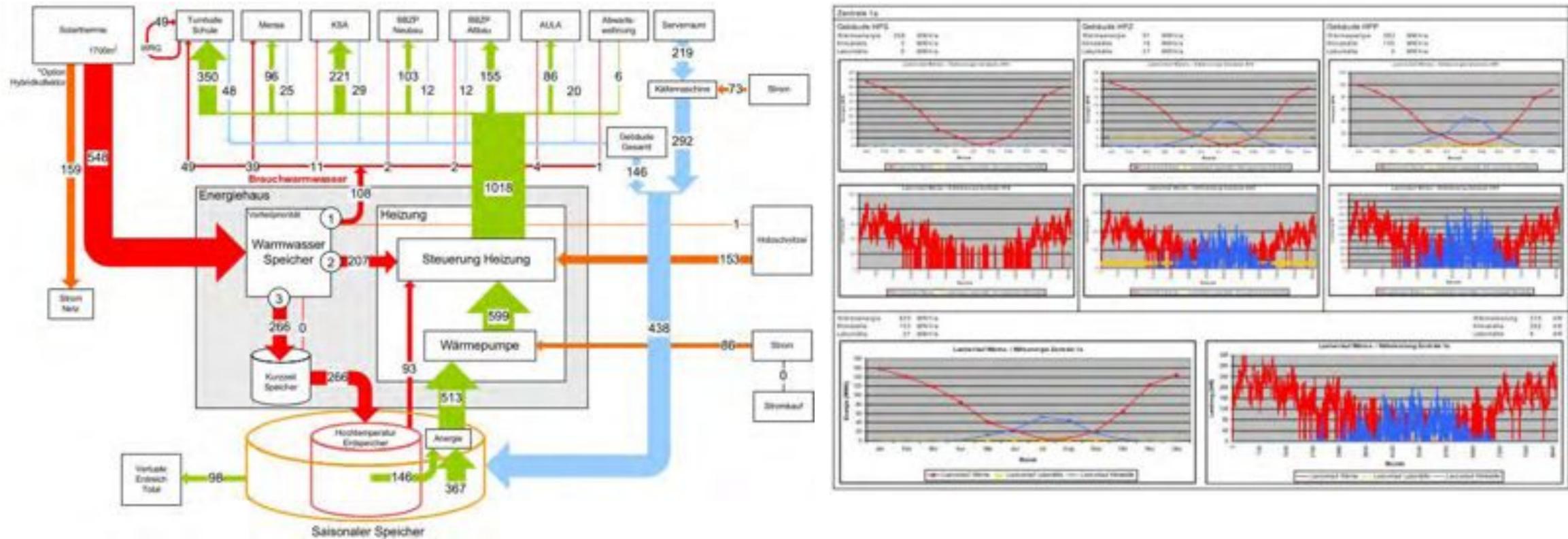


Erdwärmesonden im Verbund – Synergien nutzen



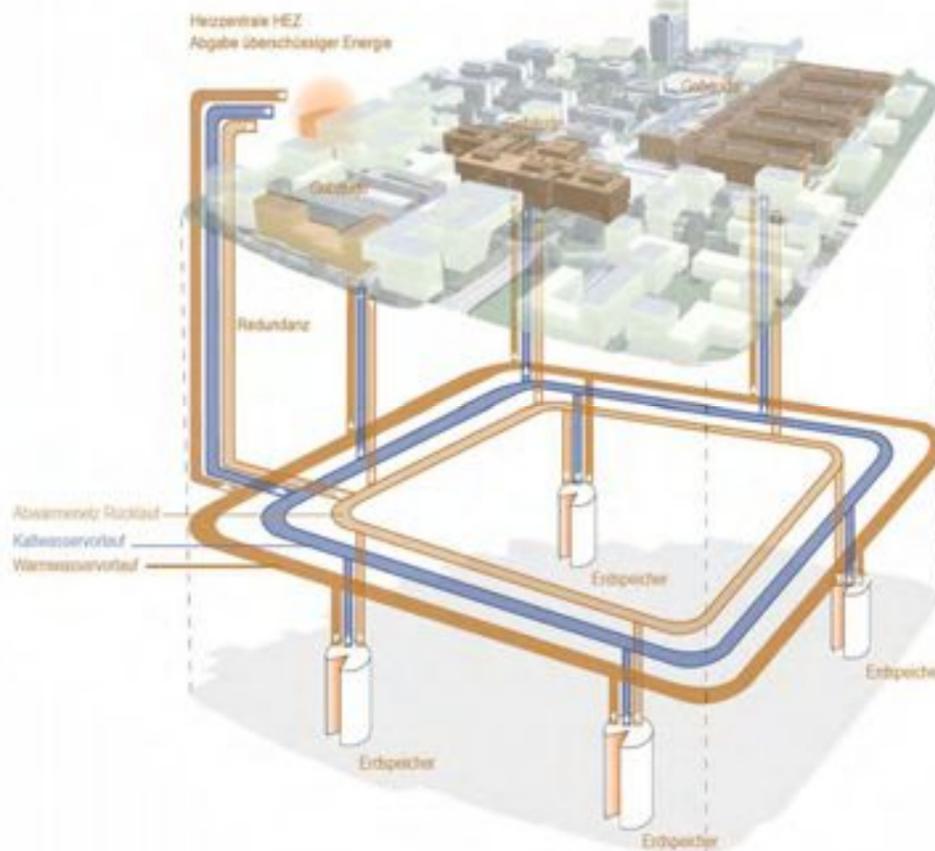
Erdwärmesonden im Verbund – Voraussetzungen

Energieflüsse und dynamische Lastprofile bekannt



Szenarienplanung und Backup-Optionen aufgezeigt

Erdwärmesonden im Verbund – Beispiel ETH Zürich

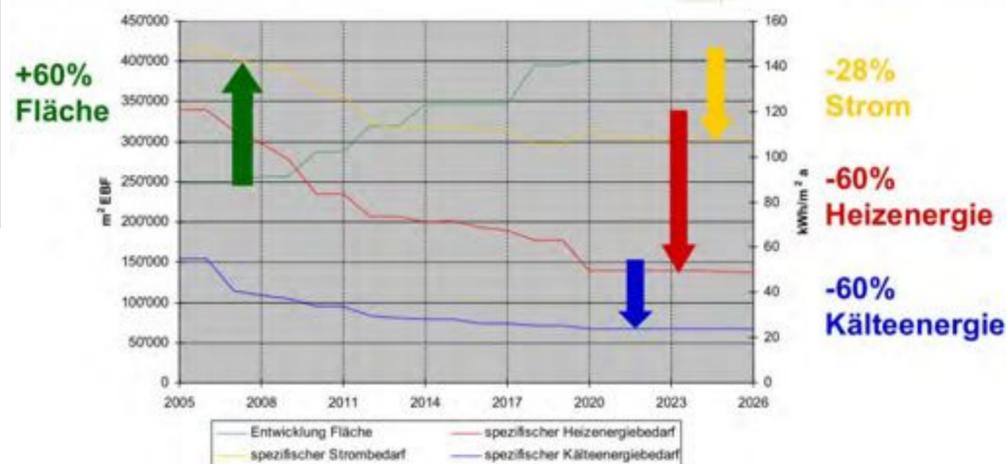


Investitionen / Energiekosten	40 Mio. / 12 Rp. / kWh
Anerkennung in GWh/a	15 GWh/a, Geocooling 13 GWh/a
Projektdauer / Inbetriebsetzung	2003 – 2020: 1. Phase Januar 2012
Grösse Erdspeichersystem	4 Mio m ³
Jahresarbeitszahl Gesamtsystem	> 10
Energiebezugsfläche	400'000 m ²
CO ₂ Reduktion	> 10'000 Tonnen / Jahr
Spez. CO ₂ Belastung Betrieb	4 kg CO ₂ / m ² a

Verbraucher

Verteil-Netz

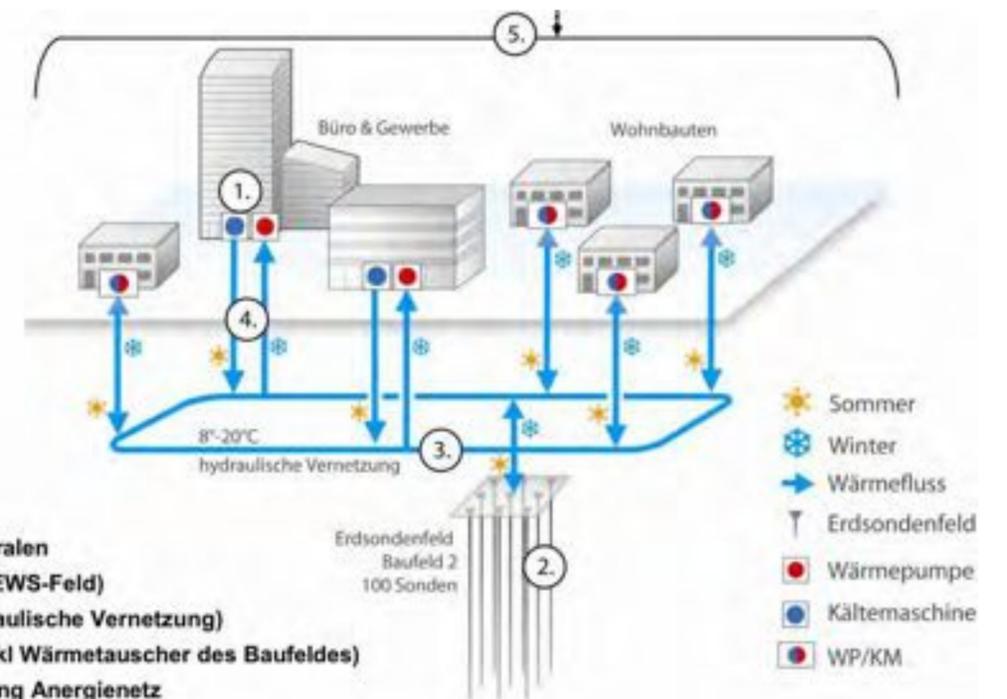
Gewinnung/Speicherung



Erdwärmesonden im Verbund – Beispiel Richti Areal



Investitionen / Energiekosten	12 Mio. / 18 Rp. / kWh
Energienutzung in GWh/a	4.2 GWh/a, Geocooling direkt 1 GWh/a
Projektdauer / Inbetriebsetzung	2010 – 2014
Grösse Erdspeichersystem	1 Mio m ³
Jahresarbeitszahl Gesamtsystem	> 6
Energiebezugsfläche	200'000 m ²
CO ₂ Potenzial gegenüber Gas	1200 Tonnen / Jahr
Spez. CO ₂ Belastung Betrieb	2 kg CO ₂ / m ² a

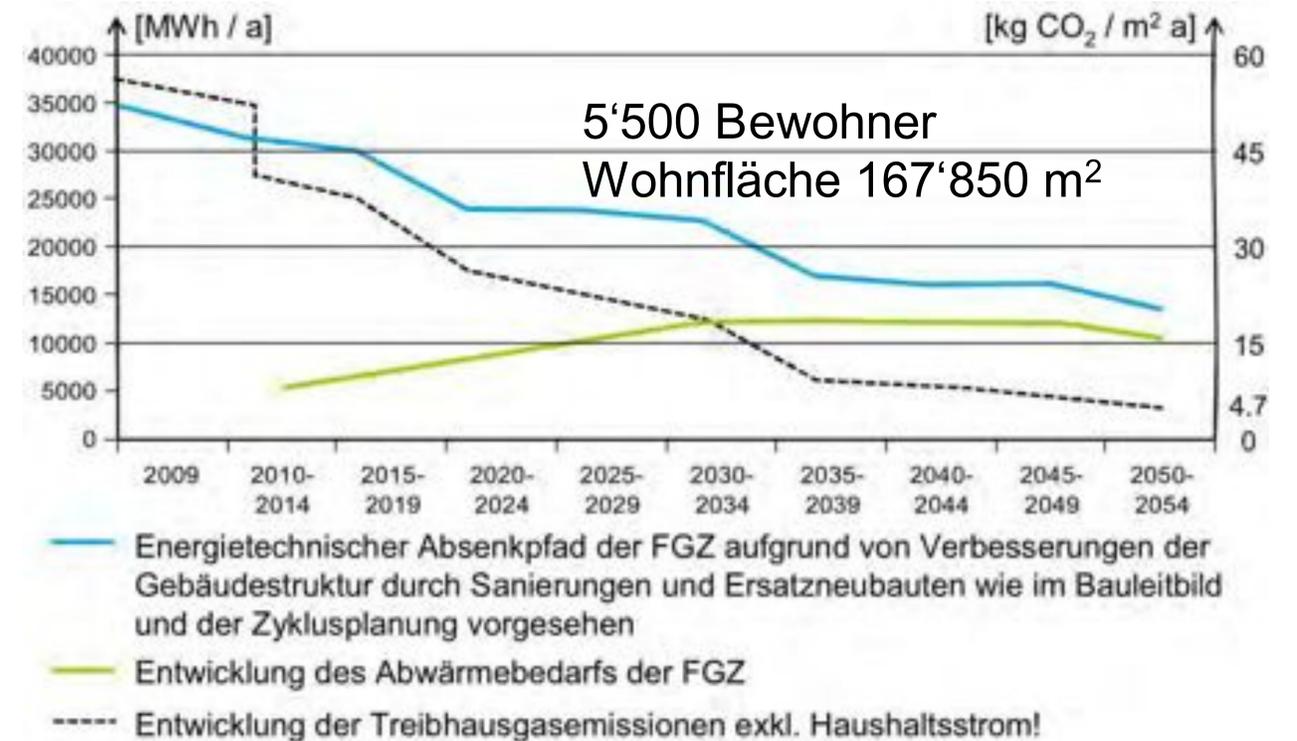


1. Dezentrale Energiezentralen
2. Erdwärmesondenfeld (EWS-Feld)
3. Anergieleitungen (hydraulische Vernetzung)
4. Anschlussleitungen (inkl Wärmetauscher des Baufeldes)
5. Übergeordnete Steuerung Anergienetz

Erdwärmesonden im Verbund – Beispiel FGZ Zürich



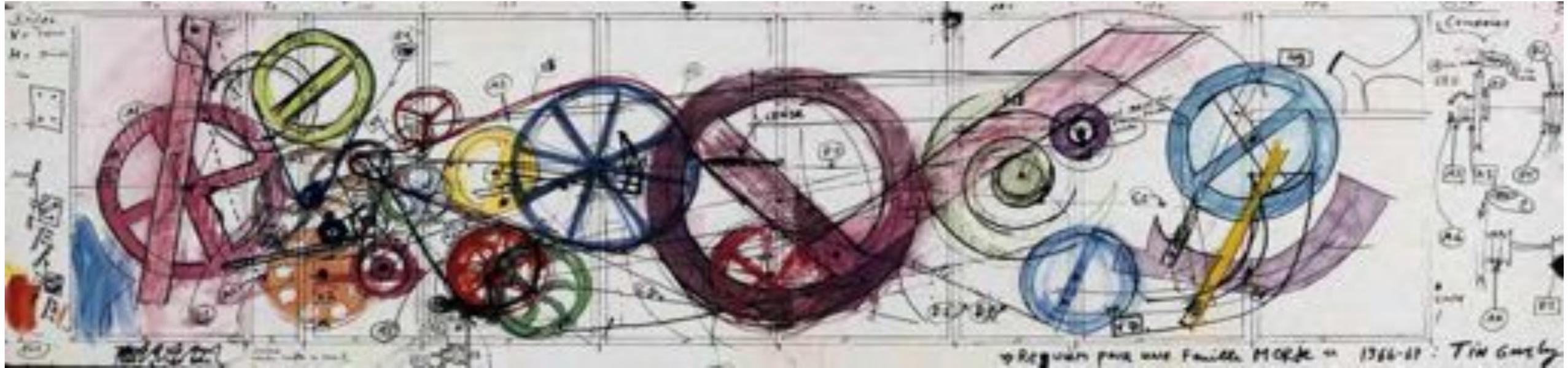
Investitionen / Energiekosten	ca. 40 Mio. / 18 Rp. / kWh
Anergienutzung in GWh/a	10 GWh/a (erweiterbar 20 GWh/a)
Projektdauer / Inbetriebsetzung	2009 – 2020 : 1. Phase 2013
Grösse Erdspeichersystem	2 Mio m ³
Jahresarbeitszahl Gesamtsystem	> 5
Energiebezugsfläche	180'000 m ²
CO₂ Reduktion	8'000 Tonnen / Jahr
Spez. CO₂ Belastung Betrieb	5 kg CO ₂ / m ² a





Fazit – Umsicht statt Fokus

- Wir haben primär ein Stofffluss- und ein Effizienzproblem und sekundär ein Energieproblem zu lösen.
- Strom und Wärmepumpen sind thermodynamisch eine sinnvolle Kombination sofern eine hohe Effizienz gegeben ist und der Strom aus erneuerbaren Ressourcen gewonnen wird.
- Die nachhaltige Energieversorgung geht über die Systemgrenze des einzelnen Gebäudes hinaus und ist eine Aufgabe, die auch aus ökonomischen Effizienzgründen zunächst strategisch gelöst werden muss.
- Die aktive Regeneration mittels Geocooling von Einzelerdwärmesonden bietet kaum einen Mehrwert, aber ist auch kein Nachteil (insbesondere bei zunehmender Q_k).
- Anergieverbundsysteme mit Erdwärmesondenfeldern zur saisonalen Speicherung sind mehr als die Summe seiner Einzelteile.



[Erdwärmesondensfelder – Mehrwerte bilden und nutzen]

Auf Wiedersehen und Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Adrian Altenburger
c/o Amstein+Walthert AG
Andreasstrasse 11
CH-8050 Zürich

Mail: adrian.altenburger@amstein-walthert.ch

Web: www.amstein-walthert.ch