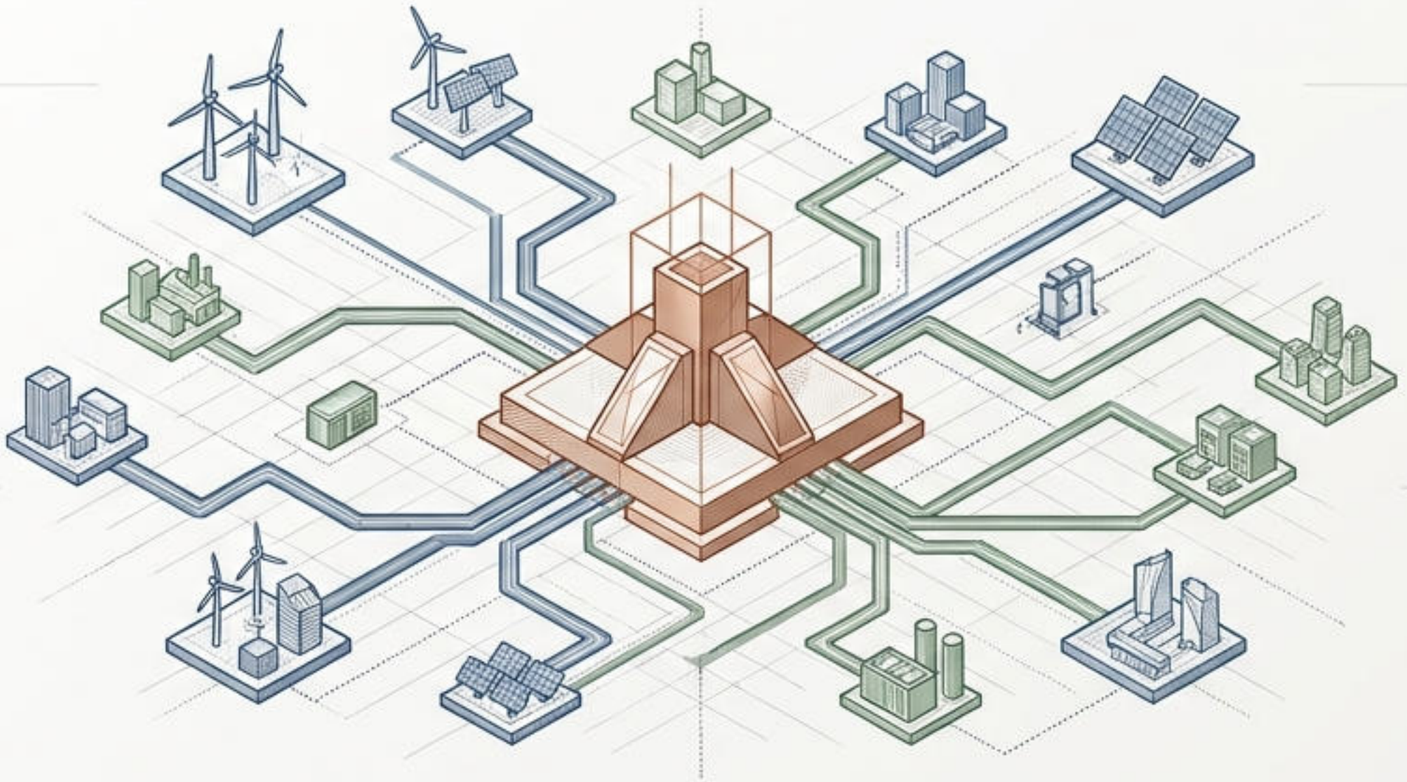
Vorlesungspräsentation – Kapitel 3

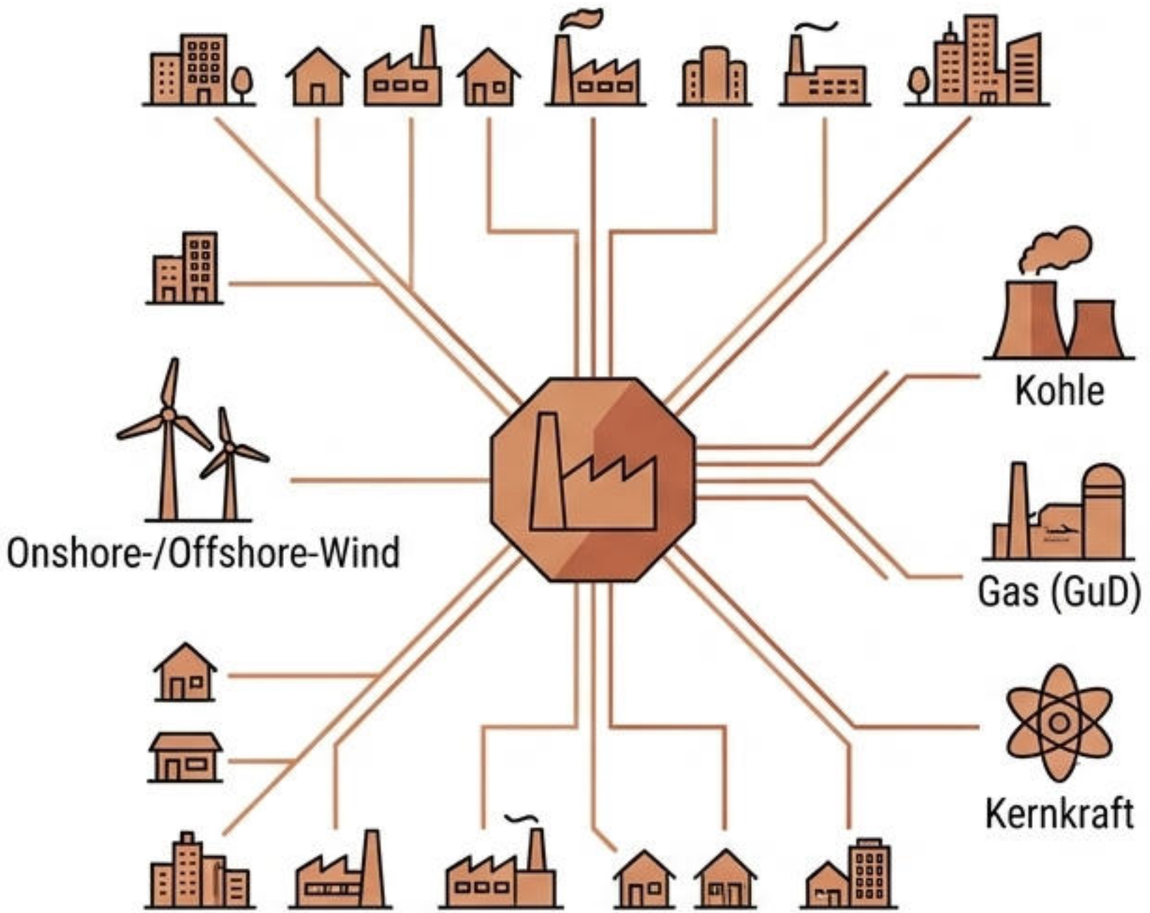


Strukturierung der Energieversorgung

Wandlungsketten, Energieträger und Kraftwerkstechnologien

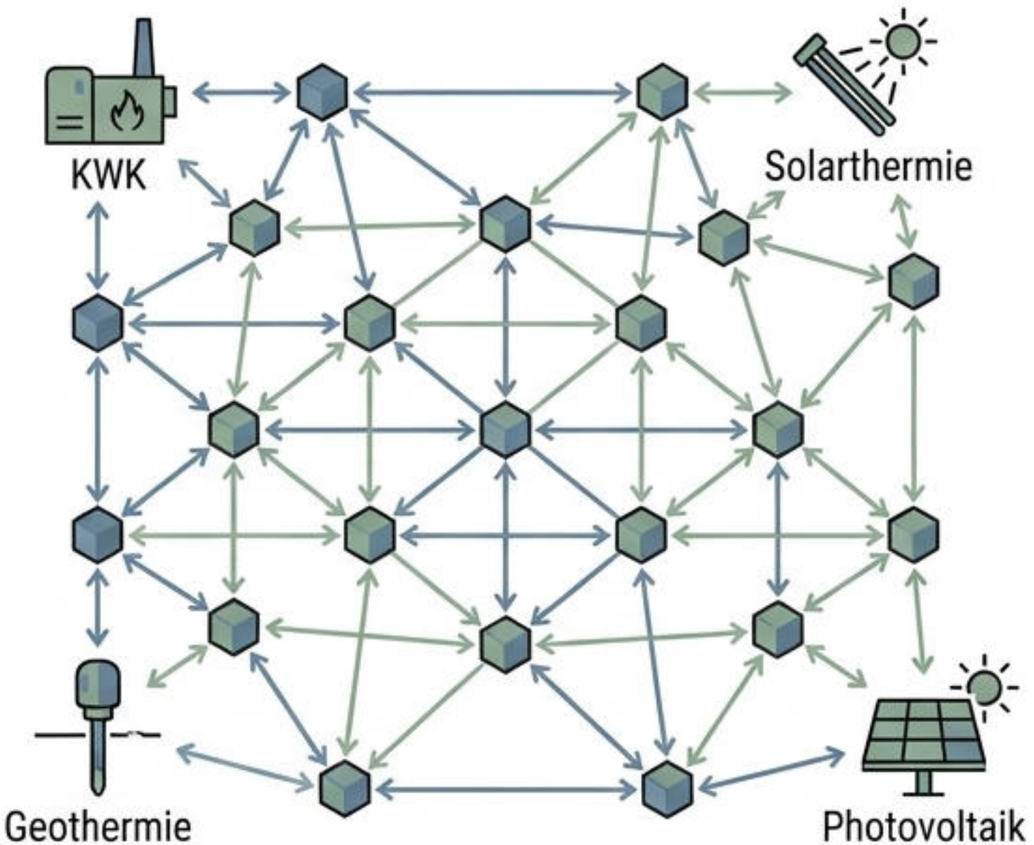
Gemini Notebook

Zentrale Versorgung



Klassische Grundlastversorgung (Kohle, Erdgas, Erdöl, Kernenergie) und massive erneuerbare Erzeugung (Windparks, PV-Großkraftwerke). Übertragung über weite Strecken.

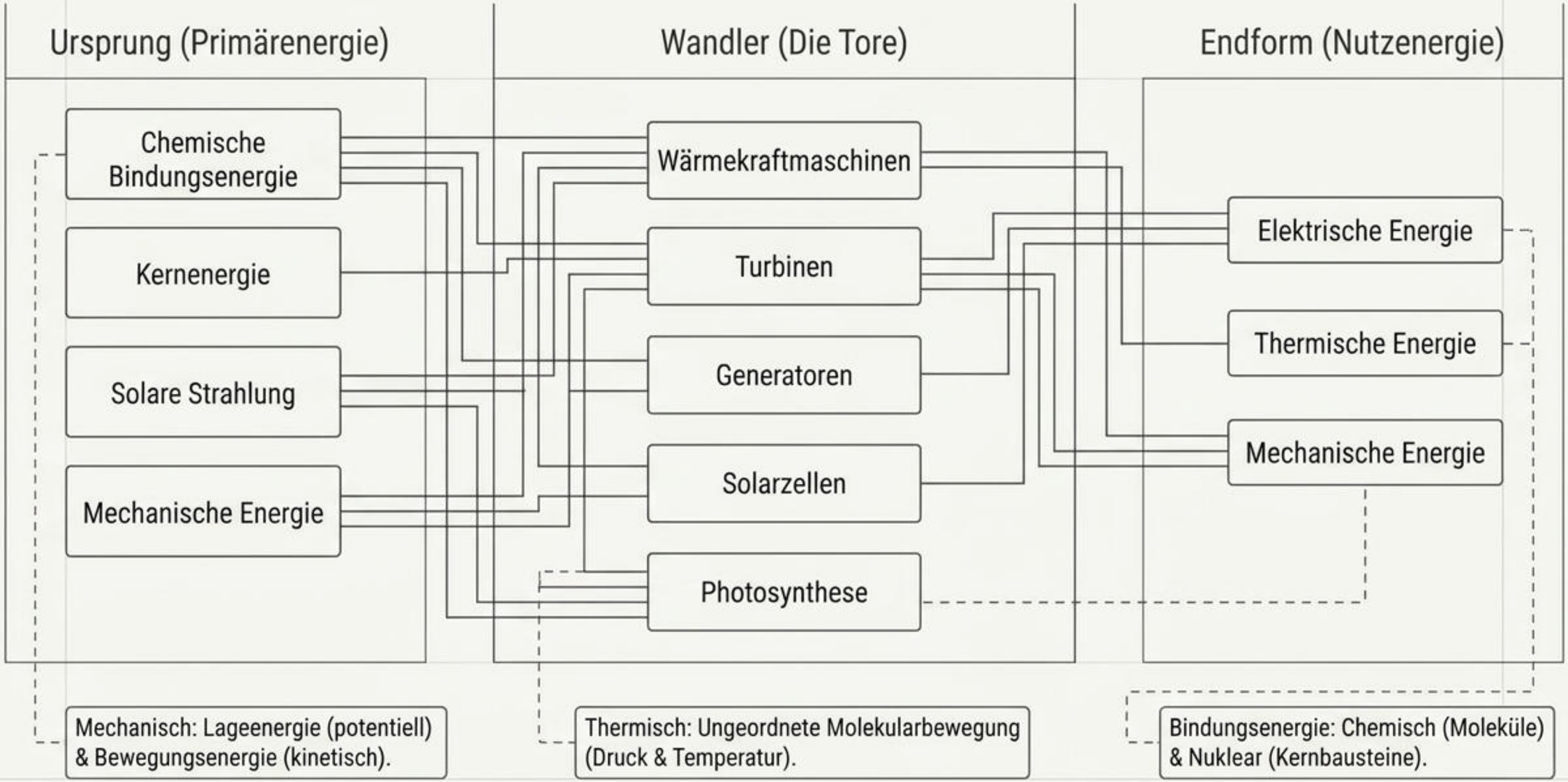
Dezentrale Versorgung



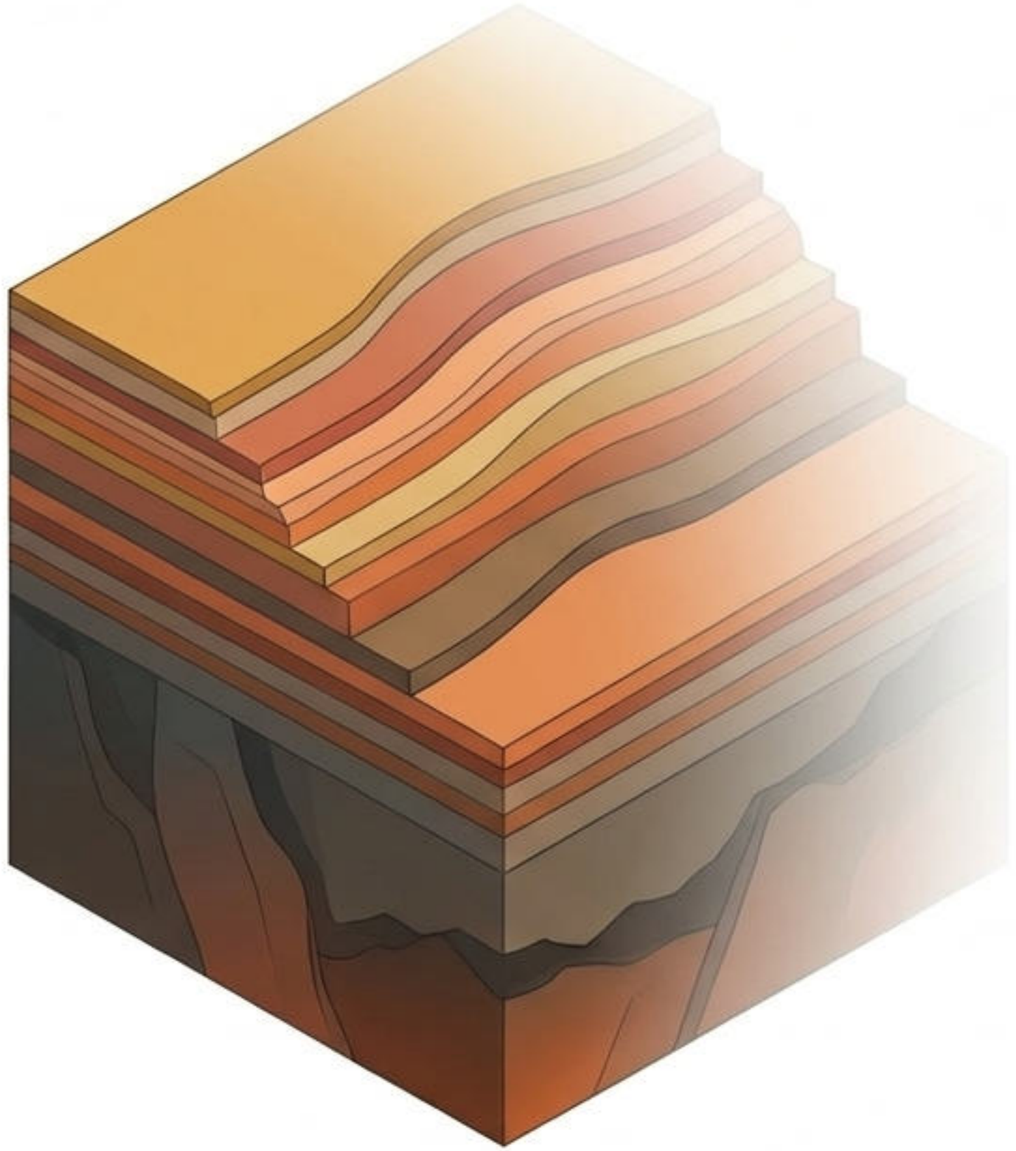
Lokale Erzeugung in der Fläche. Hocheffiziente KWK-Systeme und Integration erneuerbarer Energien (Solar, Geo) direkt beim Verbraucher.

Gemini Notebook

Energie wird nicht erzeugt, sondern gewandelt.



Gemini Notebook



Das fossile Paradigma: Reserven vs. Ressourcen

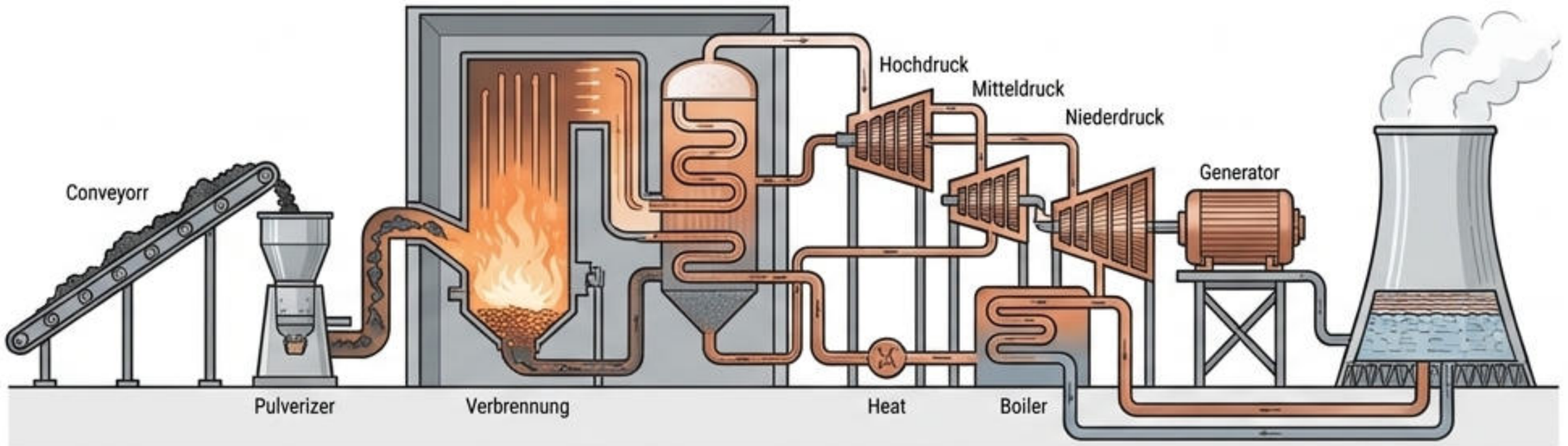
Energieträger	**Ressource** (Gesamtvorkommen)	**Reserve** (wirtschaftlich förderbar)
Erdöl	20.988 EJ	10.208 EJ (71% konv.)
Erdgas	31.868 EJ	7.891 EJ
Kohle	442.825 EJ	22.400 EJ (84% Stein.)
Uran/Nuklear	9.524 EJ	633 EJ
Gesamt	**505.204 EJ**	**41.132 EJ**

Der CO2-Effekt: Die Verbrennung fossiler Träger setzt Kohlenstoffmengen frei, die vor Jahrmillionen durch anaerobe Biomasse gebunden wurden – ein dramatischer

Eingriff in die heutige CO2-Bilanz.

Gemini Notebook

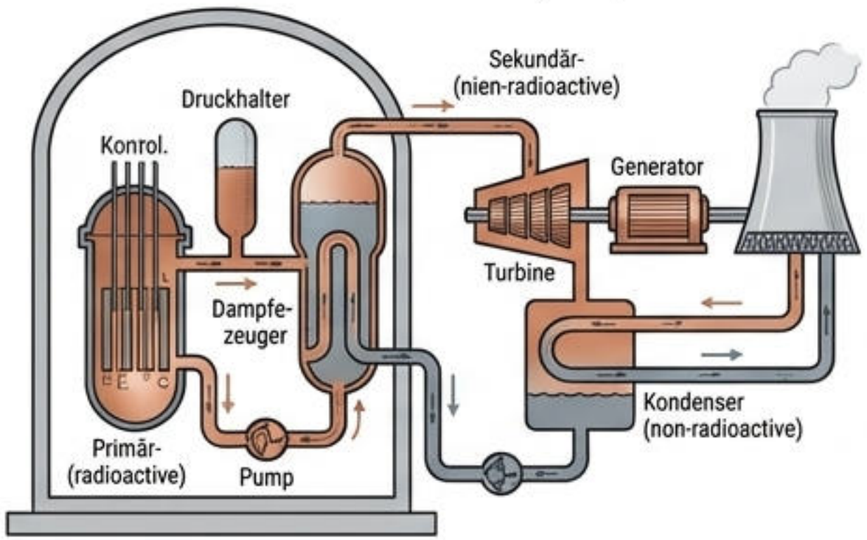
Schwergewichte der Grundlast: Kohle & Kernkraft



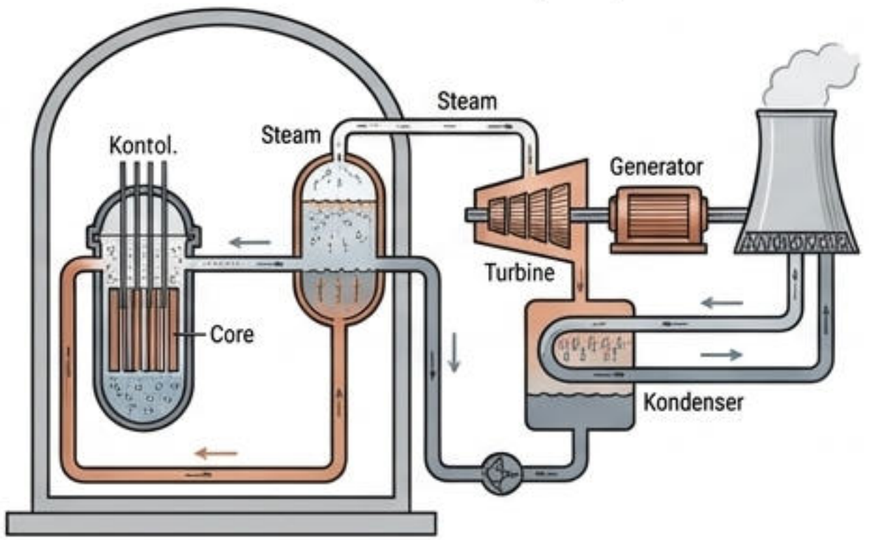
Staubfeuerung (Steinkohle/Braunkohle)

Wirkungsgrad ca. 45%.
Blockleistung bis zu 1.050 MW.
Dampfzustand bis 285 bar bei 600 °C.

Druckwasserreaktor (PWR)



Siedewasserreaktor (BWR)



Leichtwasserreaktoren: Nutzung von Uran-235 (ca. 3% angereichert).

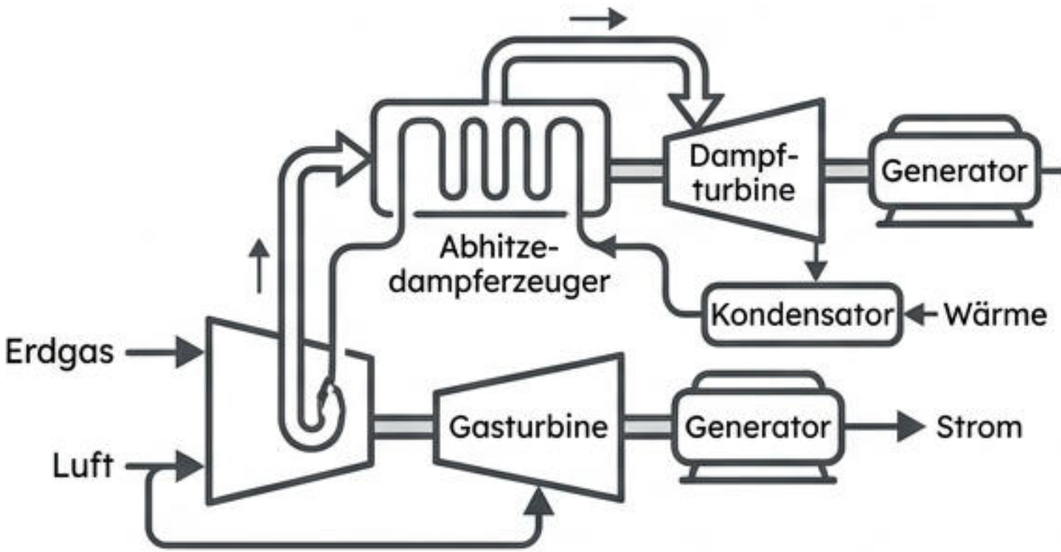
- **Druckwasserreaktor:** 155 bar, 330 °C (flüssig). Primär- und Sekundärkreislauf getrennt.
- **Siedewasserreaktor:** 70 bar, 290 °C. Ein direkter Wasser-Dampf-Kreislauf.

Gemini Notebook

Fluide Kraft: Erdgas & Erdöl

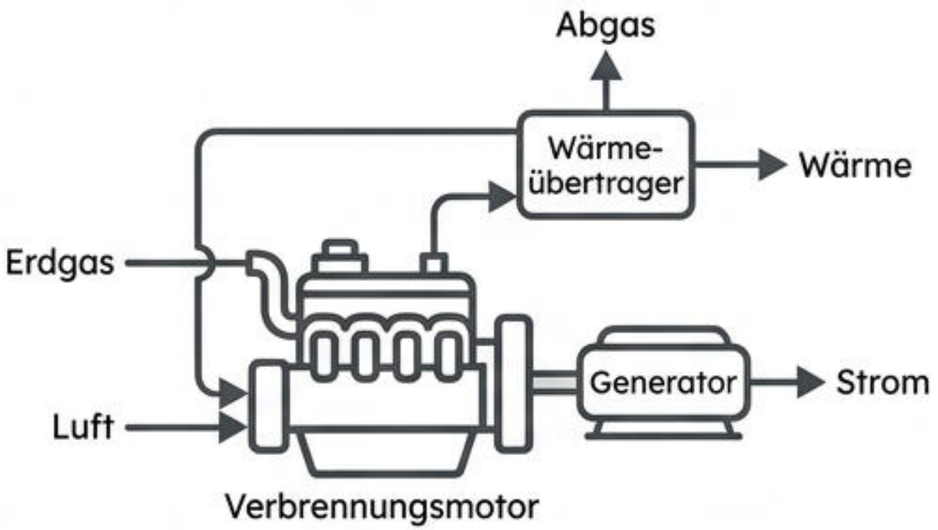


Tiefenbohrung
(4.000m - 6.000m Tiefe, 120 °C - 180 °C)



GuD-Kraftwerk (Gas- und Dampfturbinenprozess)

Zentrale Effizienz: Gasturbine gekoppelt mit Abhitzedampferzeuger.
Elektrischer Wirkungsgrad von 50% bis 60%.
Hohe Flexibilität im Leistungsbereich.



BHKW (Blockheizkraftwerk)

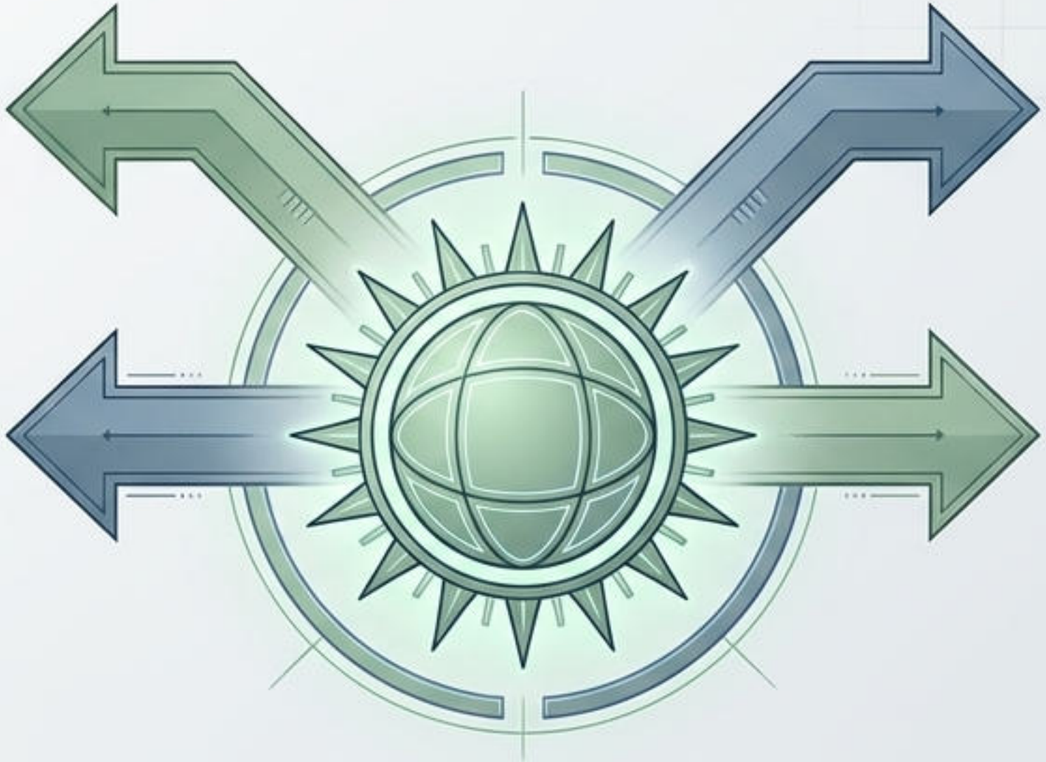
Dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung:
Verbrennungsmotoren (Erdgas).
Gesamtwirkungsgrade bis zu 85%.
Wärme- oder stromgeführte Betriebsweise (Abwärme bis 350 °C).

Gemini Notebook

Der erneuerbare Motor: Die Sonne

Direkte Strahlung:
Photovoltaik &
Solarthermie

Verdunstung:
Wasserkraft
(Der globale
Wasserkreislauf)



Atmosphärische Erwärmung:
Windenergie
(Druckunterschiede)

Photosynthese:
Biomasse
(Chemischer
Energiespeicher)

Innere Erdwärme:
Geothermie
(Radioaktiver Zerfall,
sonnenunabhängig)

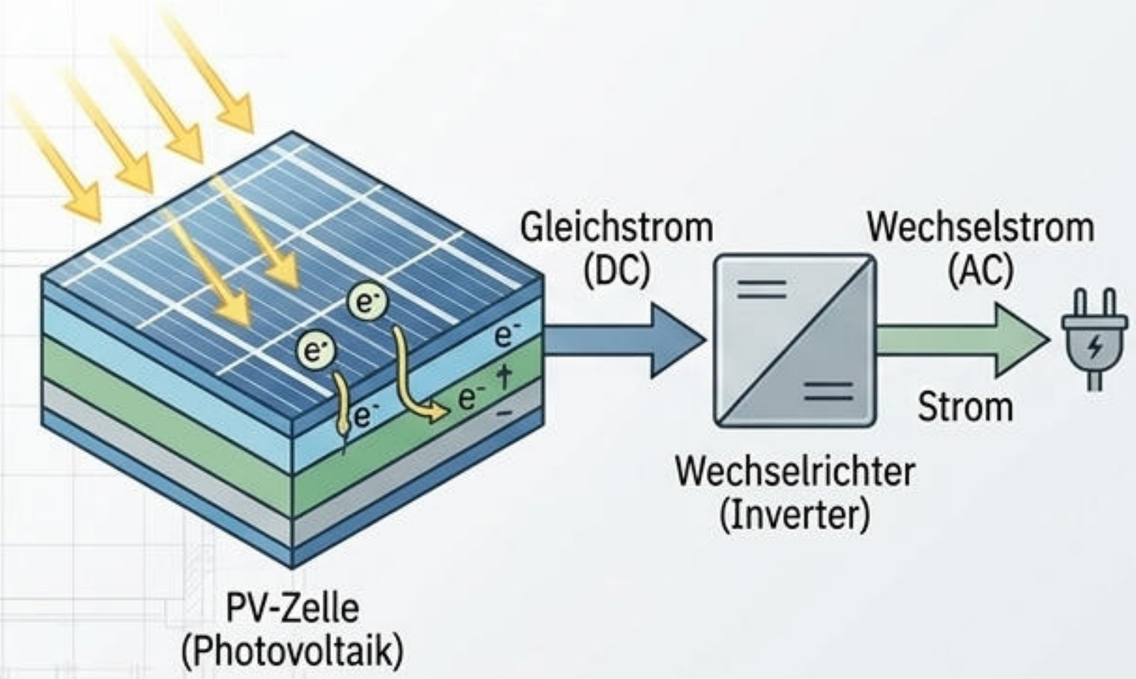
Atmosphärische Fenster und CO2-Neutralität

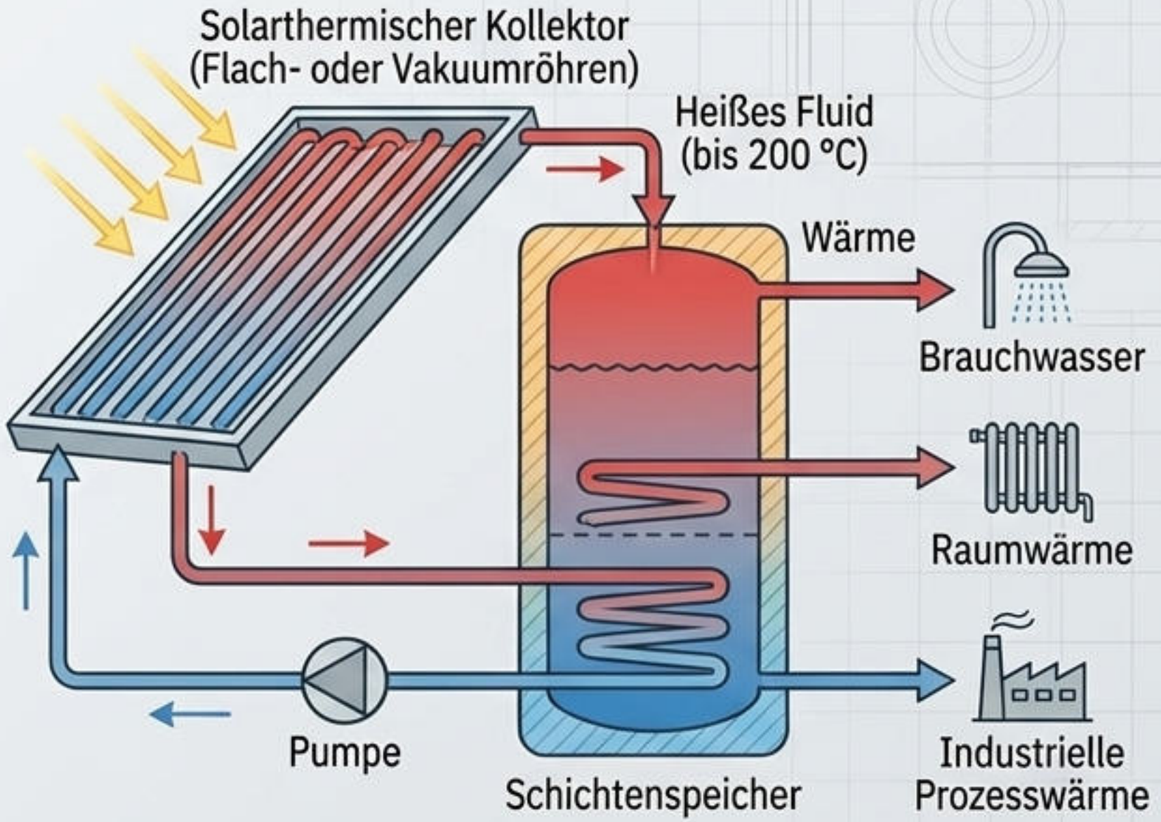
Atmosphärische Fenster: Erdatmosphäre ist größtenteils undurchlässig. Energetisch nutzbar ist das Fenster zwischen 0,38 µm und 0,78 µm (sichtbares Licht).

CO2-Neutralität: Es wird maximal das CO2 freigesetzt, das zuvor aus der Atmosphäre gebunden wurde.

Gemini Notebook

Licht zu Strom & Wärme





Photovoltaik (Licht zu Strom)

Wandlung diffuser und direkter Globalstrahlung in Gleichstrom.

Skalierung von Aufdachanlagen (<10 kWp) bis zu Freiflächen-Großkraftwerken (>1000 kWp).

Solarthermie (Licht zu Wärme)

Absorption solarer Strahlung durch Arbeitsmedien (Flach- oder Vakuumröhrenkollektoren). Wirkungsgrade bis 90%. Nutzung für Brauchwasser, Raumwärme und industrielle Prozesswärme. Erreichung von bis zu 200 °C (nicht-konzentrierend).

Gemini Notebook

Atmosphärische Strömungen

Die Physik des Windes

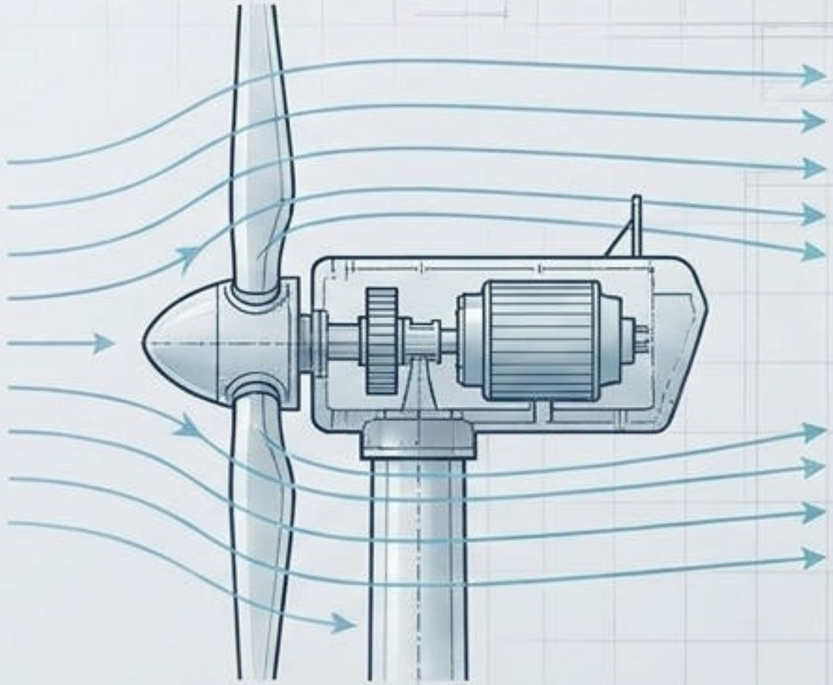


Wind resultiert aus ca. 2,5% der solaren Einstrahlung.

$$v_h = v_{ref} \cdot \left(\frac{h}{h_{ref}} \right)^{\alpha}$$

Zeigt den extremen Einfluss von Bodenrauigkeit und Turmhöhe.

Die Technologie (Wandlung)



$$P \sim v^3$$

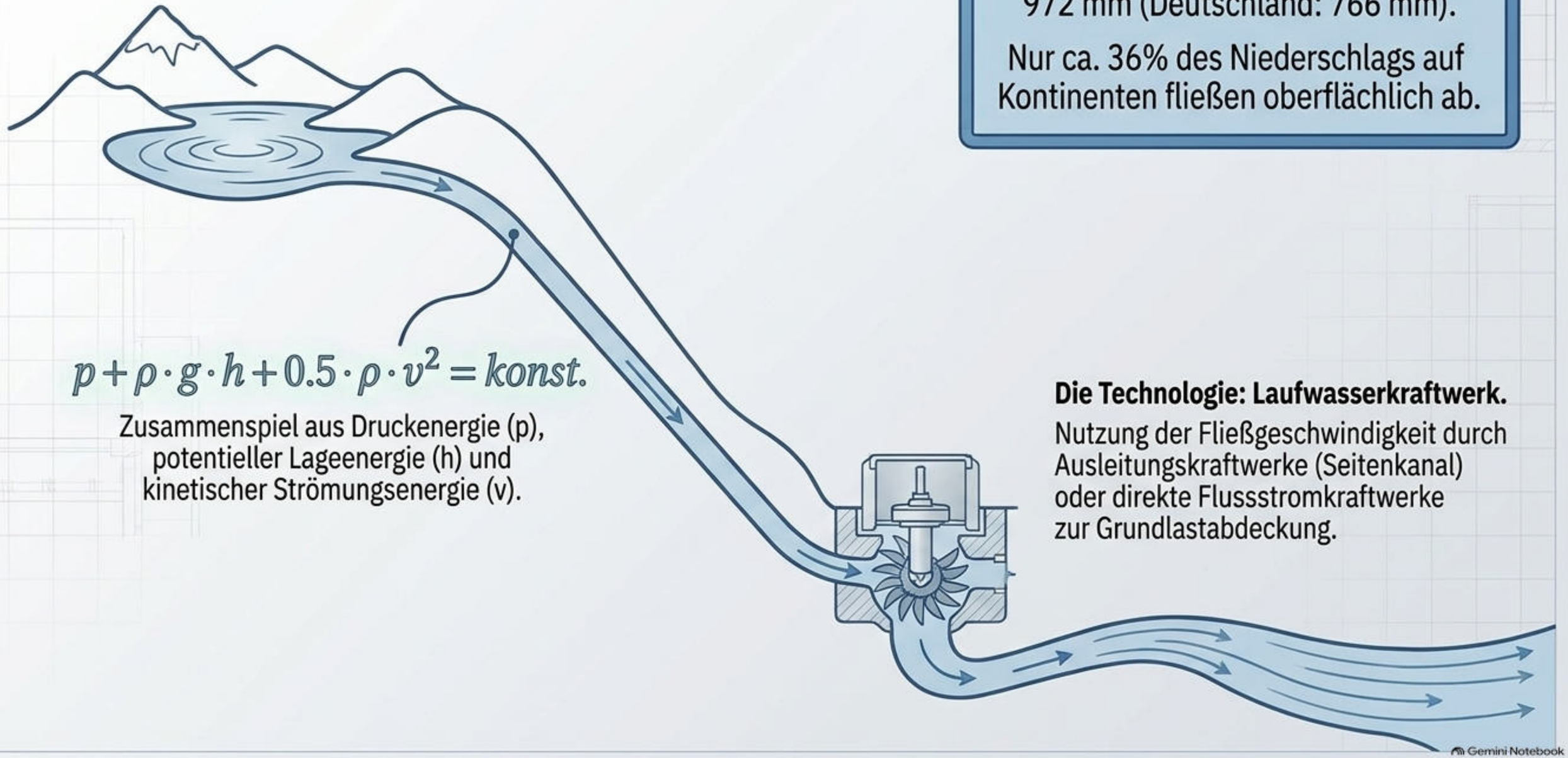
Windleistung wächst mit der dritten Potenz der Geschwindigkeit. Steuerung durch Stall (Strömungsabriss) oder Pitch (Blattverstellung) zum Schutz vor Netzüberlastung.

Gemini Notebook

Der kinetische Kreislauf

Globaler mittlerer Niederschlag:
972 mm (Deutschland: 766 mm).

Nur ca. 36% des Niederschlags auf Kontinenten fließen oberflächlich ab.



$$p + \rho \cdot g \cdot h + 0.5 \cdot \rho \cdot v^2 = konst.$$

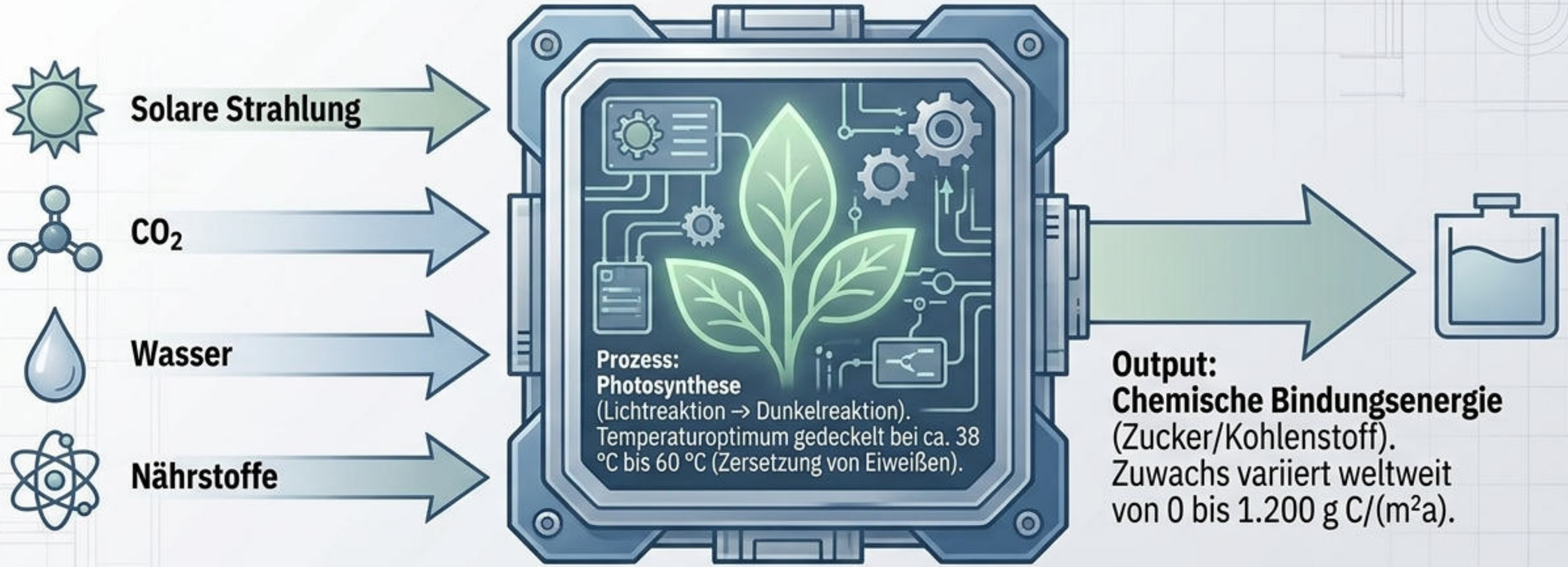
Zusammenspiel aus Druckenergie (p), potentieller Lageenergie (h) und kinetischer Strömungsenergie (v).

Die Technologie: Laufwasserkraftwerk.

Nutzung der Fließgeschwindigkeit durch Ausleitungskraftwerke (Seitenkanal) oder direkte Flussstromkraftwerke zur Grundlastabdeckung.

Gemini Notebook

Gespeicherte Sonnenenergie (Biomasse)

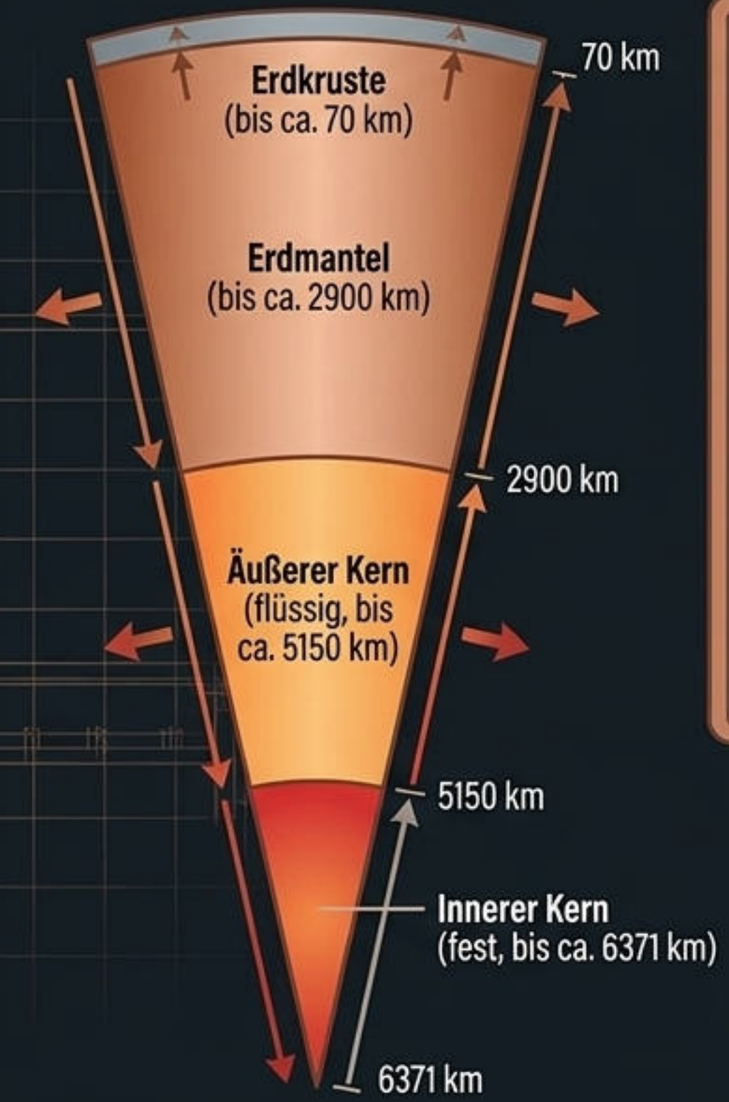


Die Kohlenstoff-Realität

Echte CO_2-Neutralität: Im Gegensatz zu fossilen Energieträgern (die Millionen Jahre alten Kohlenstoff freisetzen), gibt Biomasse nur jenen Kohlenstoff ab, der kurz zuvor aus der aktuellen Atmosphäre gebunden wurde. Die Gesamtbilanz bleibt stabil.

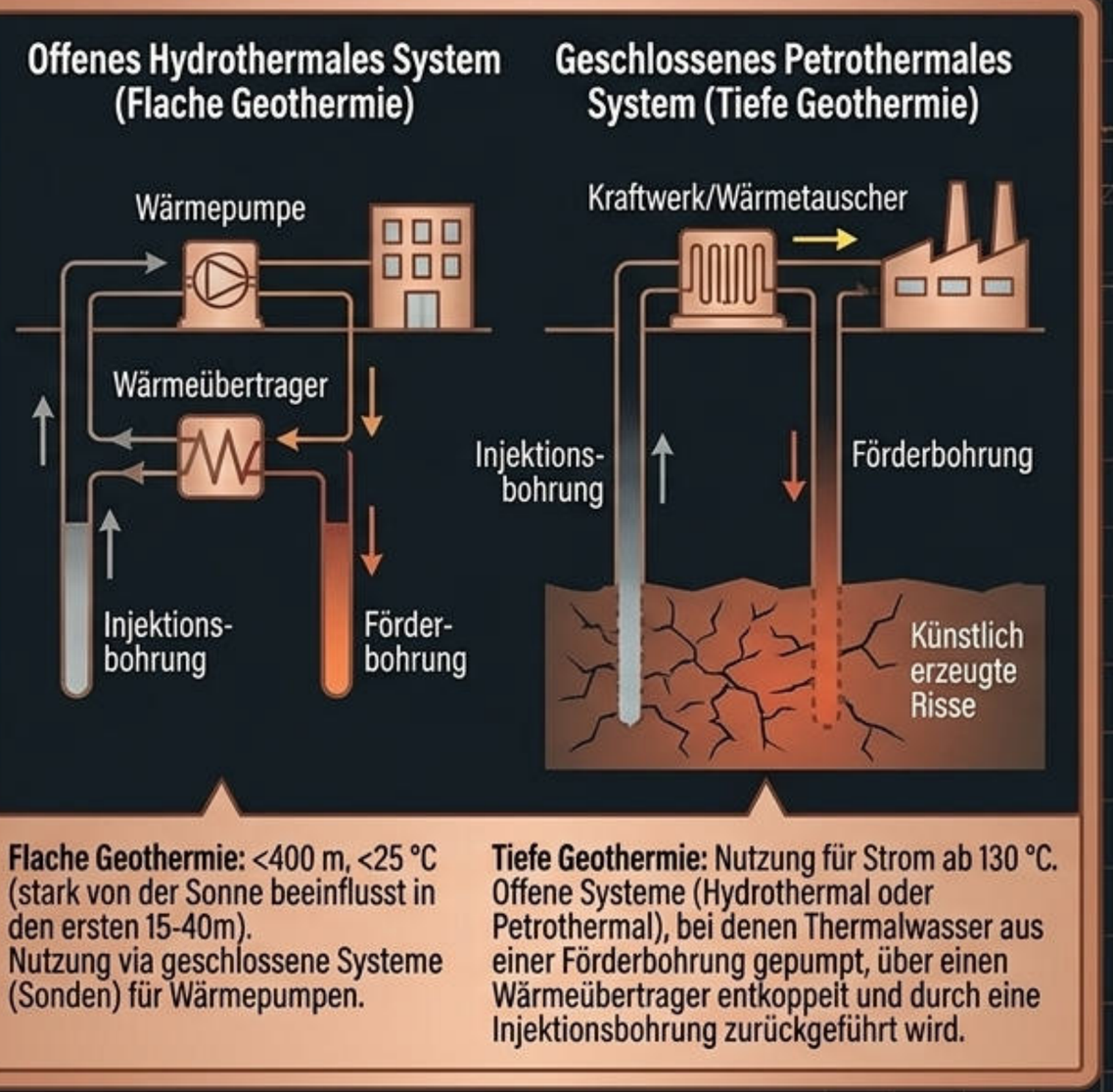
Gemini Notebook

Die innere Hitze (Geothermie)



Die Quelle

- Wärme resultiert maßgeblich aus dem radioaktiven Zerfall von Isotopen (Uran, Thorium, Kalium).
- Temperaturgradient: ca. 30 K/km in der Erdkruste. Mittlere terrestrische Wärmestromdichte: 65 mW/m².



Flache Geothermie: <400 m, <25 °C (stark von der Sonne beeinflusst in den ersten 15-40m). Nutzung via geschlossene Systeme (Sonden) für Wärmepumpen.

Tiefe Geothermie: Nutzung für Strom ab 130 °C. Offene Systeme (Hydrothermal oder Petrothermal), bei denen Thermalwasser aus einer Förderbohrung gepumpt, über einen Wärmeübertrager entkoppelt und durch eine Injektionsbohrung zurückgeführt wird.

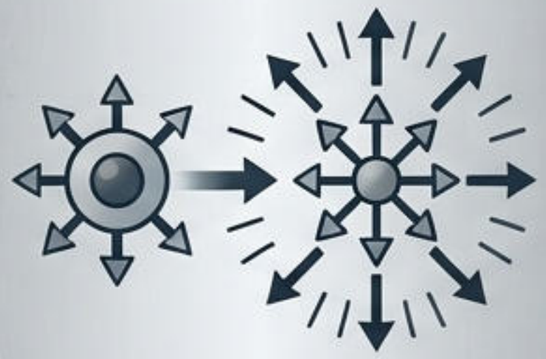
Gemini Notebook

Synthese: Die Matrix der Energieversorgung

Energieträger	Primärenergieform	Kategorie	Netz-Rolle	Verfügbarkeit
Steinkohle/Braunkohle	Chemisch	Fossil/Endlich	Zentrale Grundlast	■ Steuerbar
Uran	Nuklear	Fossil/Endlich	Zentrale Grundlast	■ Steuerbar
Erdgas/Erdöl	Chemisch	Fossil/Endlich	Flexibel / KWK	■ Steuerbar
Sonne (PV/ST)	Strahlung	Erneuerbar	Dezentrale Einspeisung	∿ Volatil
Wind	Kinetisch	Erneuerbar	Zentrale & Dezentrale Einspeisung	∿ Volatil
Wasser	Kinetisch/Lage	Erneuerbar	Zentrale Grundlast	■ Steuerbar (Saisonabhängig)
Biomasse	Chemisch	Erneuerbar	Flexibel / KWK	■ Steuerbar
Geothermie	Thermisch	Erneuerbar	Zentrale & Dezentrale Grundlast	■ Steuerbar

Gemini Notebook

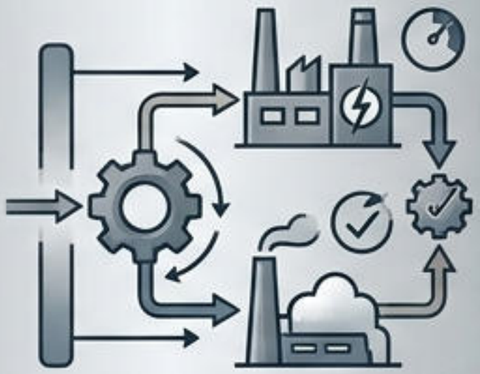
Zusammenfassung & Kernaussagen



1.

Der Strukturwandel

Der Übergang von endlichen, zentralisierten Reserven (Kohle, Uran) hin zu einem dezentralen Netz, das auf unendlichen, aber volatilen Strahlungs- und Strömungsenergien basiert.



2.

Die Diktatur der Wandlungsketten

Jede Bereitstellung von Nutzenergie ist den physikalischen Grenzen ihrer Wandlungskette unterworfen. Effizienz (z.B. GuD-Kraftwerke vs. reine Dampfprozesse) bestimmt die technologische Wahl.



3.

Das System-Gleichgewicht

Das zukünftige Netz erfordert eine Symbiose: Die Volatilität von Wind und Solar muss durch steuerbare, speicherbare Energieträger (Biomasse, Gas via KWK, Geothermie) ausbalanciert werden.

Gemini Notebook

Fragen & Diskussion

- Warum gelten fossile Energieträger im Gegensatz zu Biomasse nicht als CO2-neutral, obwohl beide auf Kohlenstoff basieren?
- Analysieren Sie den strukturellen Wandel: Welche Technologien treiben die Dezentralisierung der Infrastruktur am stärksten voran?
- Reserven vs. Ressourcen – Reicht die statische Reichweite unserer fossilen und nuklearen Reserven für eine reibungslose globale Energiewende?

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Gemini Notebook