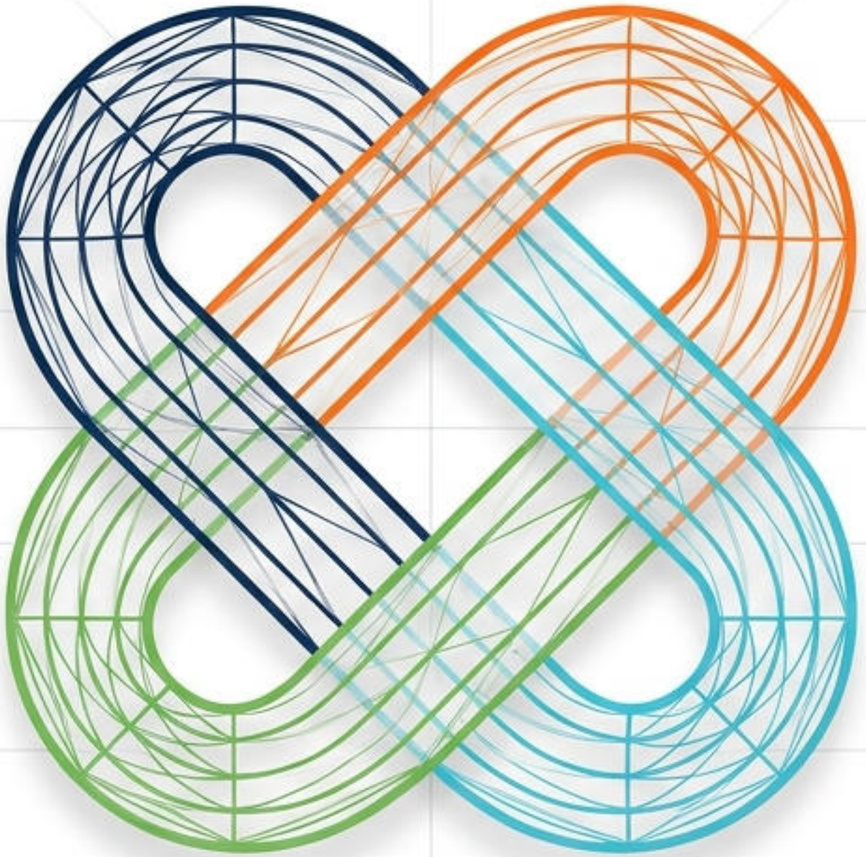
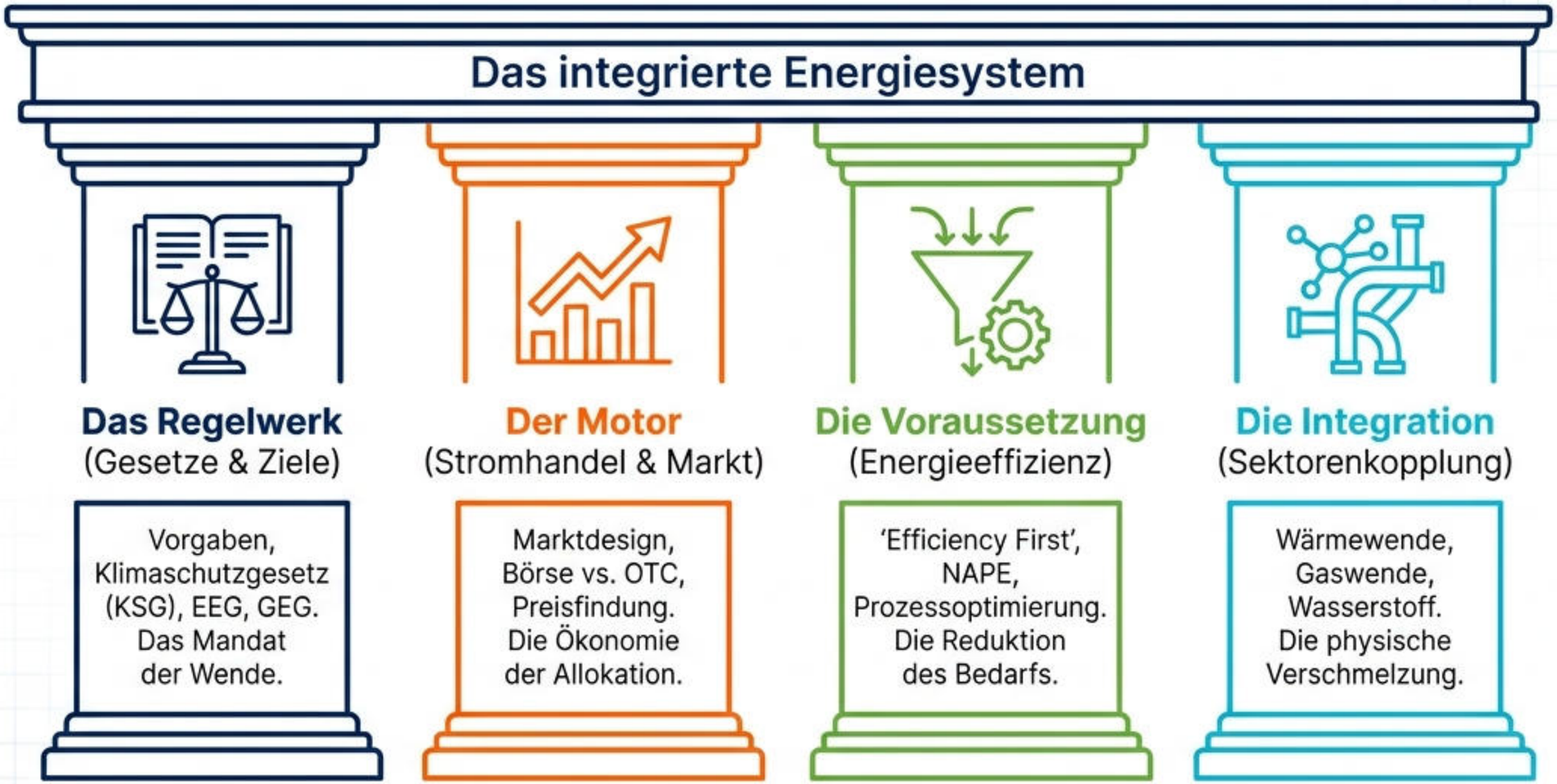
Die Architektur der Energiewende

Systemanalyse, Marktdesign und Sektorenkopplung (Kapitel 5 der Energiewirtschaft)



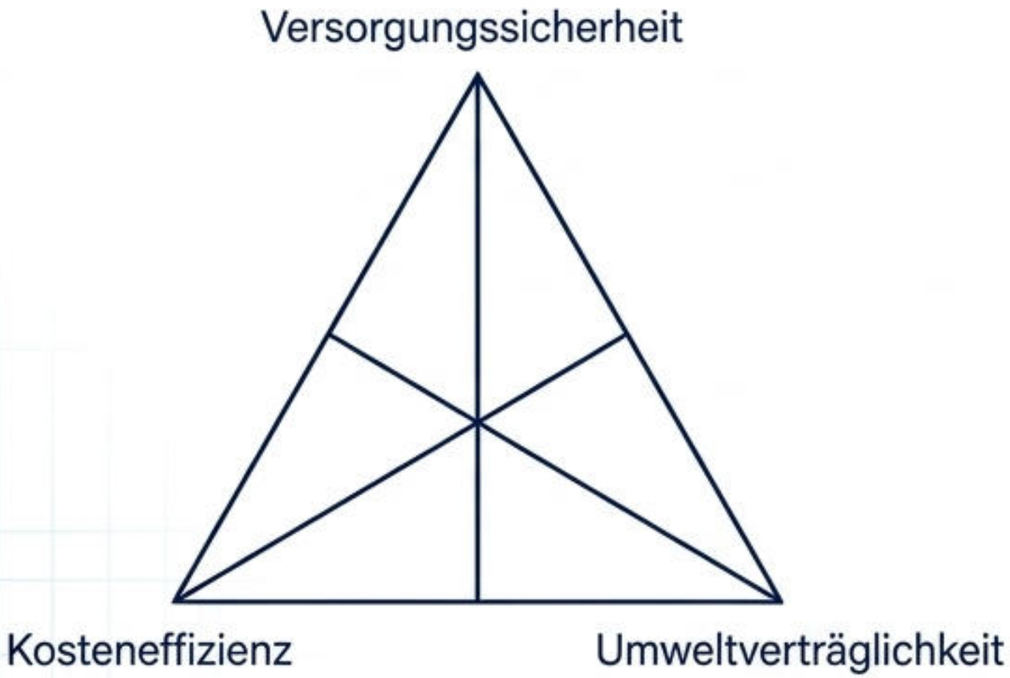
Gemini Notebook

Die vier Architektursäulen der Transformation

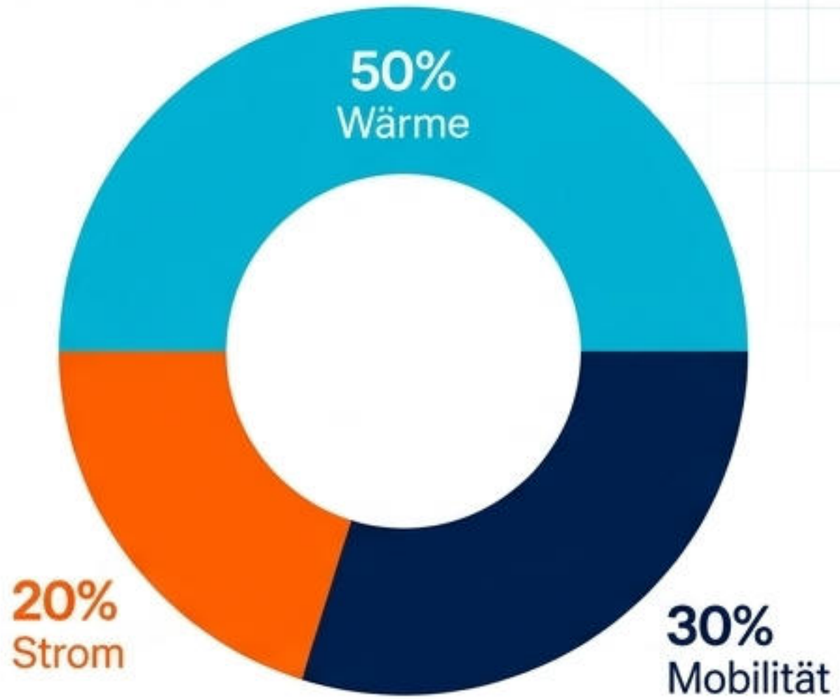


Gemini Notebook

Das Zieldreieck und die Ausgangslage der Sektoren



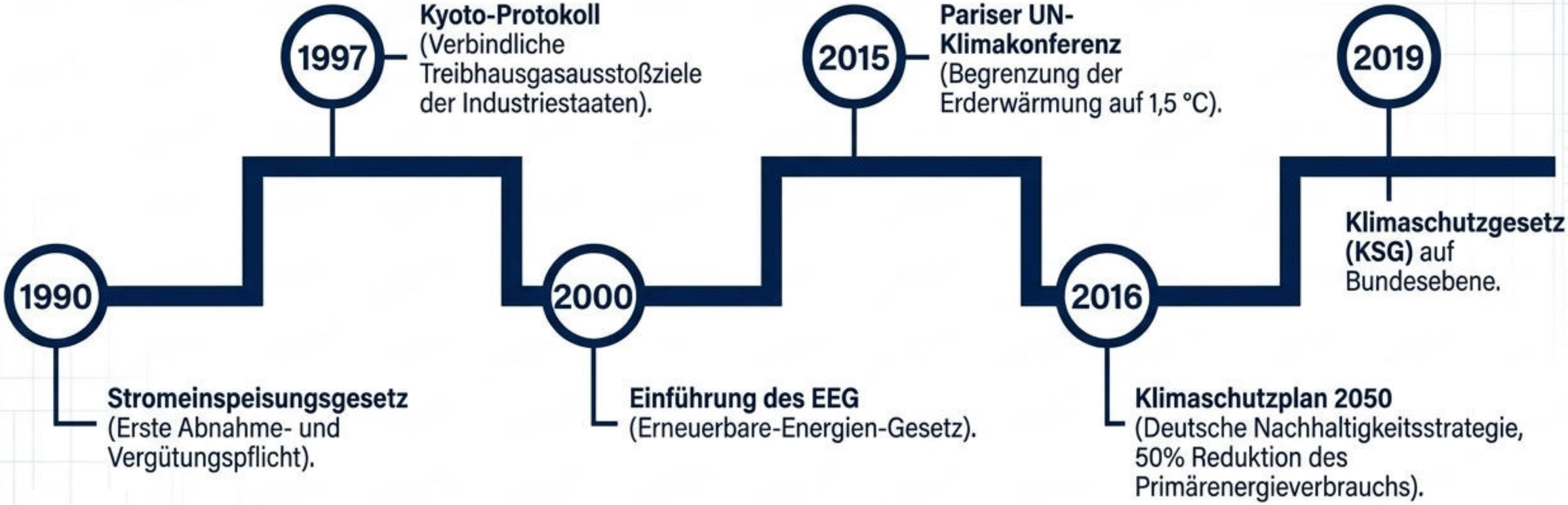
Jede Maßnahme der Energiewende muss innerhalb dieses Spannungsfeldes ausbalanciert werden. Strukturelle Änderungen sollen zudem hochwertige Arbeitsplätze erhalten.



Die öffentliche Debatte fokussiert sich oft auf Strom, doch die eigentliche Herausforderung der Dekarbonisierung liegt im Wärmemarkt.

Gemini Notebook

Historische Meilensteine der Klimapolitik



Das KSG verankert rechtlich verbindlich die Reduktion der Treibhausgasemissionen um 55 % bis 2030 (im Vergleich zu 1990) über strikte sektorspezifische Obergrenzen.

Gemini Notebook

MATRIX: Das Gesetzes-Cockpit der Energiewende

Gesetz	Fokus-Sektor	Hauptmechanismus	Kernziele / Status
EEG	Strom	Einspeisevorrang & Marktprämien	Integration erneuerbarer Energien, Subventionsabbau.
GEG (ehem. EnEV & EEWärmeG)	Gebäude / Wärme	Maximaler Primärenergiebedarf (55 kWh/(m²*a)) & Erneuerbaren-Pflicht (15-50%)	Klimaneutraler Gebäudebestand, 'nearly zero energy'.
KWKG	Strom / Wärme	Förderung von Kraft-Wärme-Kopplung	Ziel: 120 TWh Nettostromerzeugung bis 2025; aktuelle Basis für 84% der Fernwärme.
KSG	Sektorenübergreifend	Verbindliche Jahresemissionsbudgets je Sektor	55% Treibhausgasminderung bis 2030 (vs. 1990).
AtomG (Atomausstieg)	Strom	Neubauverbot & Laufzeitbegrenzung	Harter Ausstieg (nach Fukushima 2011 beschleunigt).

Gemini Notebook

Evolution des EEG: Von der Subvention zum Wettbewerb

EEG Phase 1: Die Anschubfinanzierung

- Vorrang am Netz
- Kostendeckende Einspeisevergütung (20 Jahre)
- Umlagefinanzierung & automatische Degression

Problem:
Kostenabhängiger Ausbau führte zu Überlastung; feste Tarife reagierten zu langsam auf Preisverfall (z.B. bei PV).

EEG Phase 2: Marktintegration ab 2016

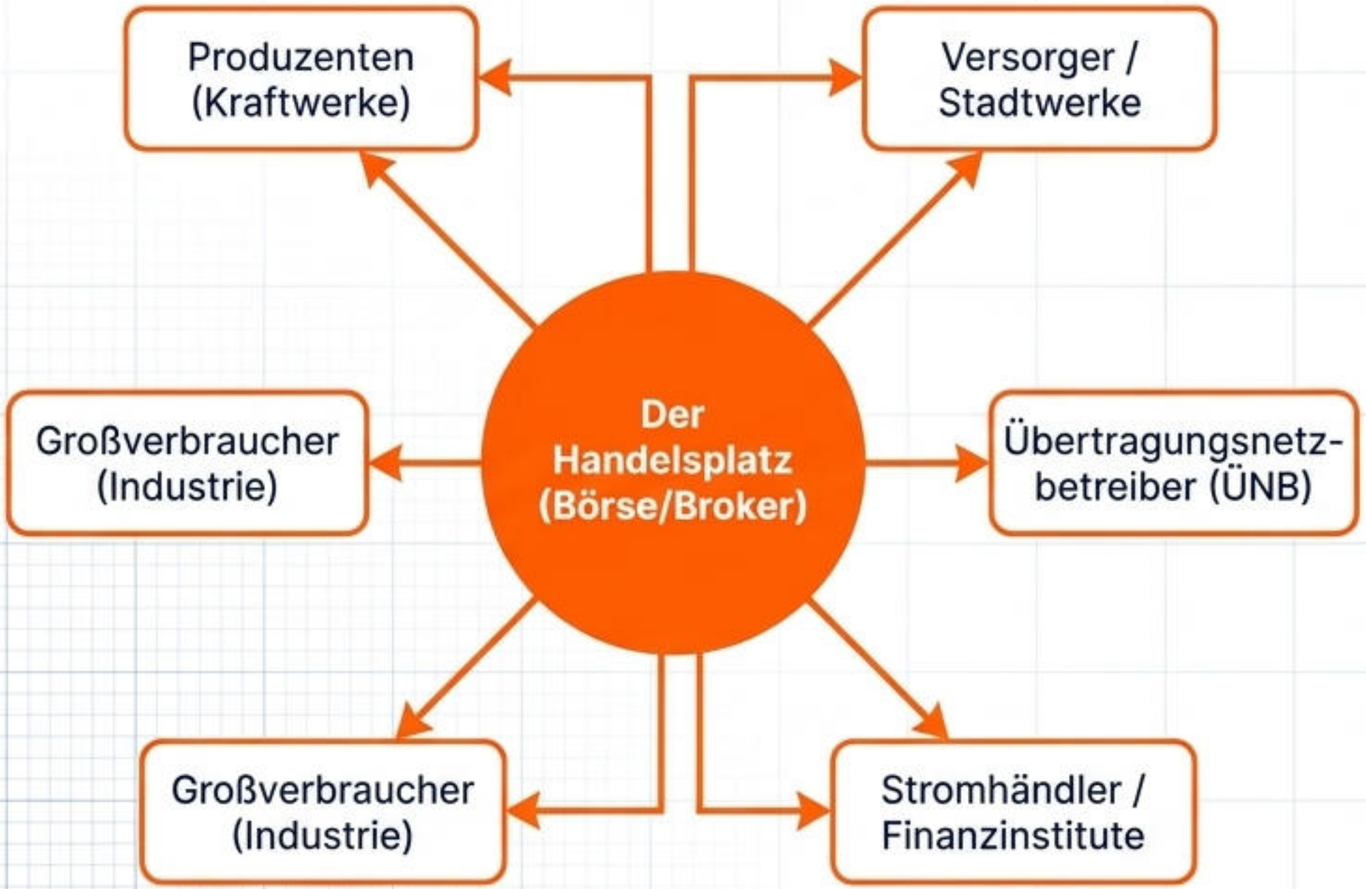
- Wettbewerbliches Ausschreibungsverfahren
- Fixierung der Vergütung für technologiespezifische Leistungsmengen
- Zuschlag für das niedrigste Preislevel (Pay-as-Bid-Logik)

Daten (2018):
565 MW PV zu 3,86–5,15 Ct/kWh;
2.350 MW Onshore-Wind zu 3,80–6,30 Ct/kWh.

Das EEG transformierte erneuerbare Energien von einer nischenhaften Subventionstechnologie zu einer hochkompetitiven, marktgesteuerten Industrie.

Gemini Notebook

Akteure und Motive im Stromhandel



1. Beschaffungshandel (Hedging/Optimierung)

Risikominimierung durch Portfoliomanagement. Abstimmung zwischen Vertrieb und Erzeugung zur Versorgungssicherung.

2. Arbitragehandel

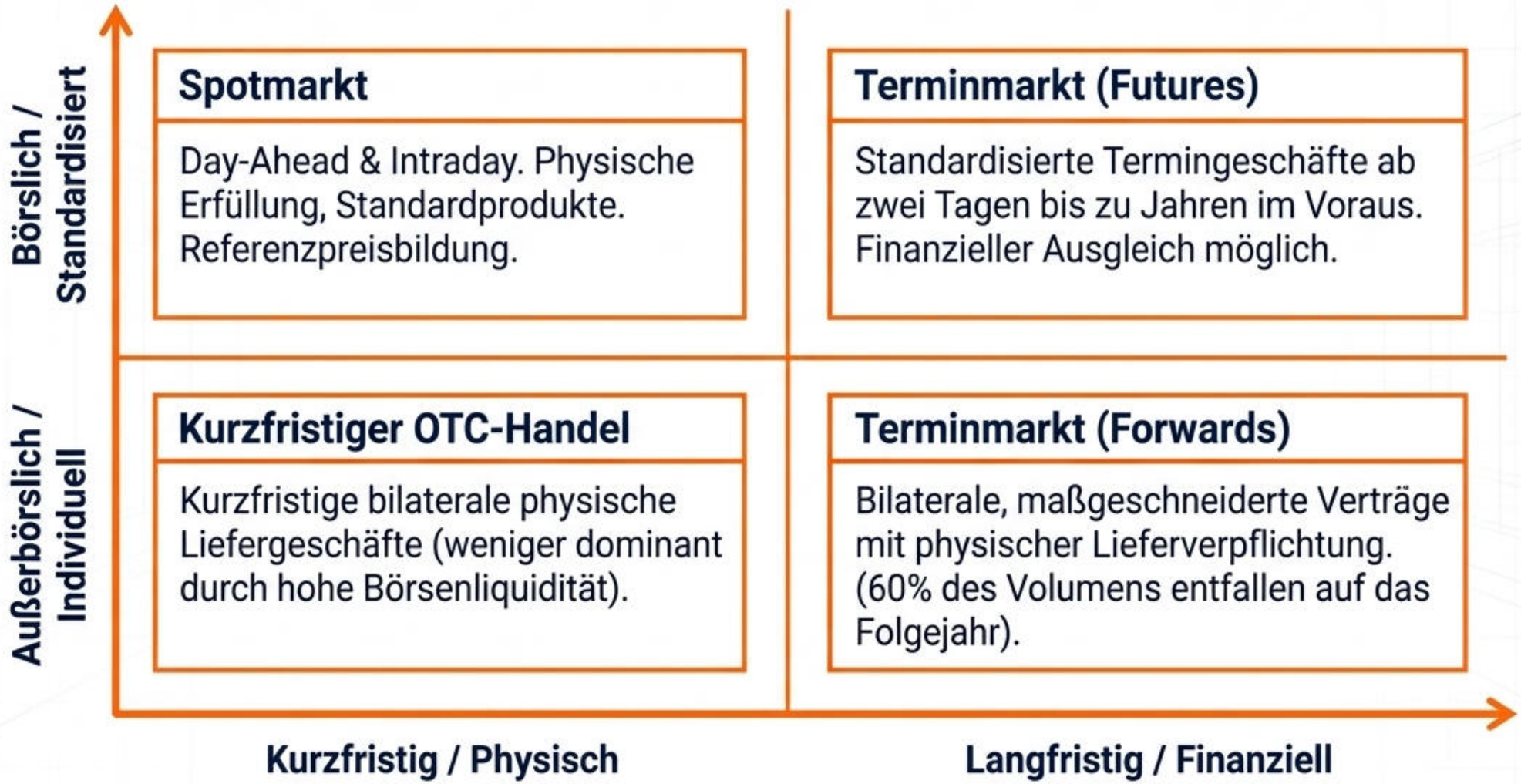
Ausnutzung von Preisdifferenzen in Echtzeit aufgrund von vorübergehenden Marktineffizienzen (risikoloser Gewinn).

3. Spekulativer Handel

Erzielung von Finanzgewinnen durch gezielte Übernahme von Preisrisiken in der Zukunft (rein finanzielle Erfüllung).

Gemini Notebook

Strukturierung des Stromgroßhandels (Landscape Map)



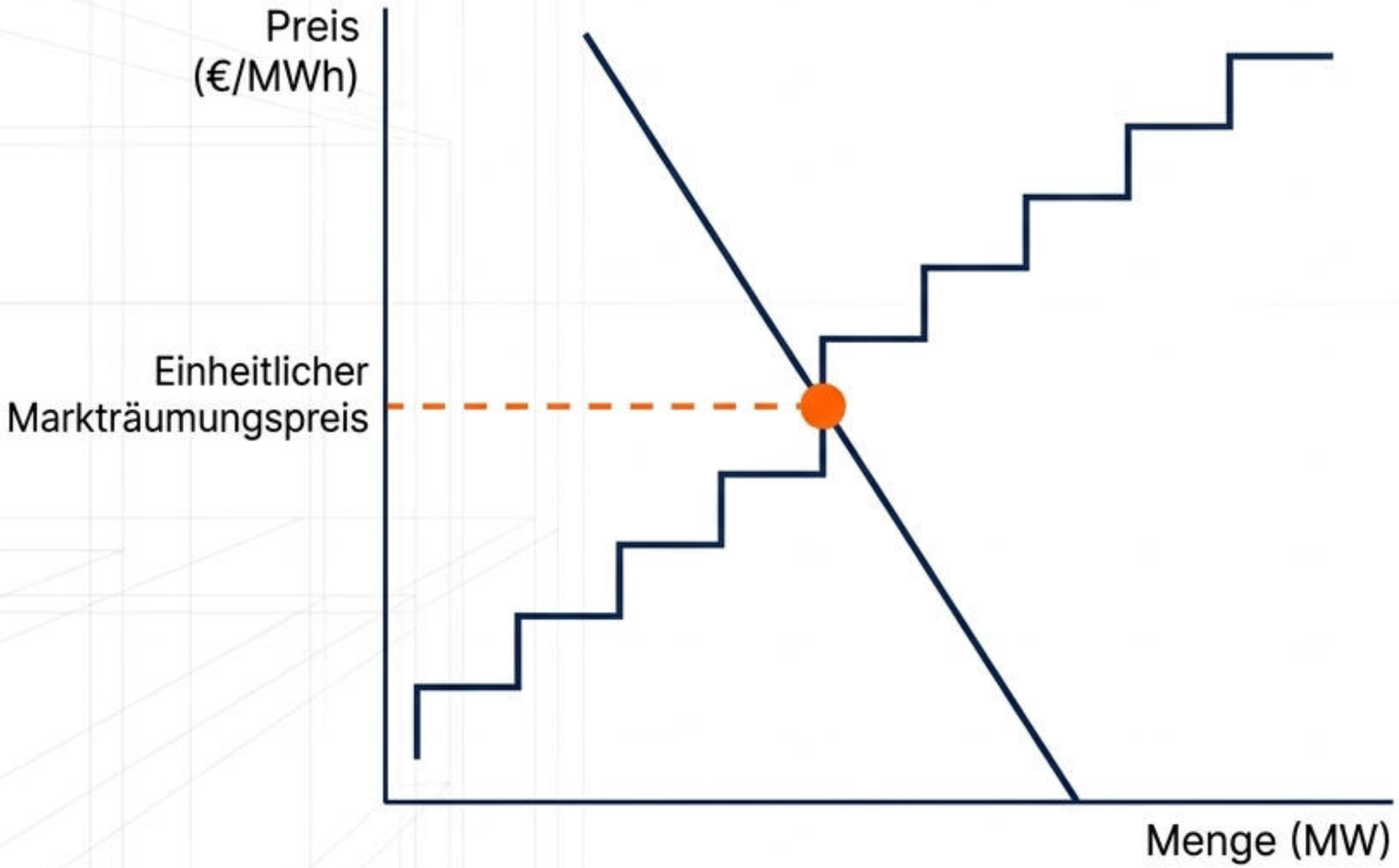
Gemini Notebook

MATRIX: Börsenhandel vs. OTC-Handel (Over-the-Counter)

	Börsenhandel (Exchange)	OTC-Handel (Außerbörslich)
Standardisierung	Hoch. Feste Produkte (Bandlast, Spitzenlast).	Flexibel. Maßgeschneiderte Lieferprofile und Volumina.
Transparenz	Maximal. Einheitlicher Referenzpreis und offene Volumina.	Geringer. Preise sind primär nur den Vertragspartnern bekannt (Börsenpreis dient als Referenz).
Anonymität & Regulierung	Diskriminierungsfreie Gleichbehandlung, keine Kenntnis des Vertragspartners.	Keine. Bilaterale Vertragsabschlüsse direkt zwischen Käufer und Verkäufer.
Besicherung / Clearing	Zentrales Clearinghaus übernimmt das Ausfallrisiko.	Individuelles Bonitätsrisiko des Vertragspartners (Counterparty Risk).

Gemini Notebook

Markträumung an der Börse (Pay-as-Cleared)



Mechanismus

Unabhängig vom gebotenen Angebotspreis erhalten alle bezuschlagten Anbieter denselben Preis (Market Clearing Price).

Bedingung

Gültig für alle Gebote, solange der eigene Angebotspreis unter oder genau auf dem Markträumungspreis liegt (Grenzkostenprinzip).

Effekt

Bietet Anreize für effiziente Kraftwerke, da Betreiber mit niedrigen Grenzkosten (z.B. Erneuerbare) die höchste Deckungsbeitragsmarge erzielen.

Gemini Notebook

Das Leitprinzip: „Efficiency First“

> „Die sauberste Kilowattstunde ist diejenige, die für eine Nutzung nicht bereitgestellt werden muss.“



Das Ziel

Halbierung des Primärenergieverbrauchs bis 2050.

(Entspricht der Einsparung des gesamten heutigen Verbrauchs der Benelux-Staaten und Österreichs zusammen).

Der Paradigmenwechsel

Energieeffizienz ist keine bloße Randnotiz der Einsparung, sondern die zentrale, strukturelle Voraussetzung dafür, dass der Ausbau erneuerbarer Energien den verbleibenden Bedarf überhaupt decken kann.

Gemini Notebook

NAPE & Die 4 Säulen der Effizienzförderung

NAPE (Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz) – Ziele: Gebäude vorantreiben, Rendite/Geschäftsmodell etablieren, Eigenverantwortung stärken (Budget: ca. 20 Mrd. € bis 2017).

1. Abwärmenutzung

Vermeidung und Nutzung von industrieller Abwärme (Investitionszuschüsse).

2. Querschnittstechnologien

Förderung hocheffizienter branchenübergreifender Anlagen (z.B. Pumpen mit Frequenzumrichtern).

3. Step up!

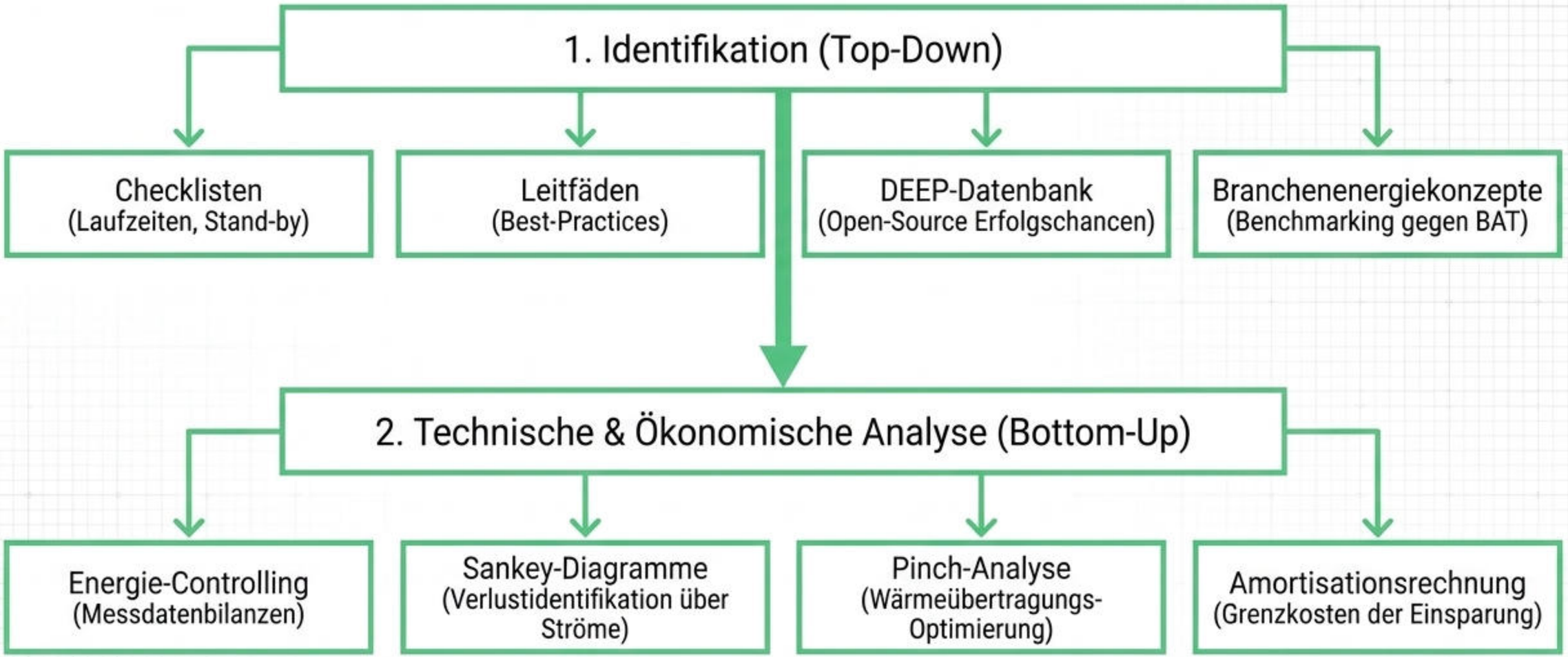
Wettbewerbliche Ausschreibung für Stromeffizienz: Förderung der Maßnahmen mit dem besten Nutzen-Aufwand-Verhältnis (maximaler Effekt bei minimaler Investition).

4. Einsparzähler (Pilot)

Förderung innovativer, digital-basierter Energiedienstleistungen und Geschäftsmodelle (Smart Metering).

Gemini Notebook

Methodik & Identifikation von Effizienzpotenzialen



Gemini Notebook

Die 3 Hebel der angewandten Energieeffizienz

1

Minimierung des Stand-by-Verbrauchs

Ansatz: Reduktion von geplanten Leerlaufzeiten durch intelligente Steuerung und Langzeitmessungen.

Überwindung von betrieblichen Akzeptanzproblemen (Sorge um Betriebssicherheit).

2

Kreislaufschließung & Materialeffizienz

Ansatz: Energie und Material sind gekoppelt (DIN 8580). Reduktion des Ressourceneinsatzes senkt Energieaufwand.

Daten: In >55% der Betriebe können mind. 5% Material eingespart werden.

3

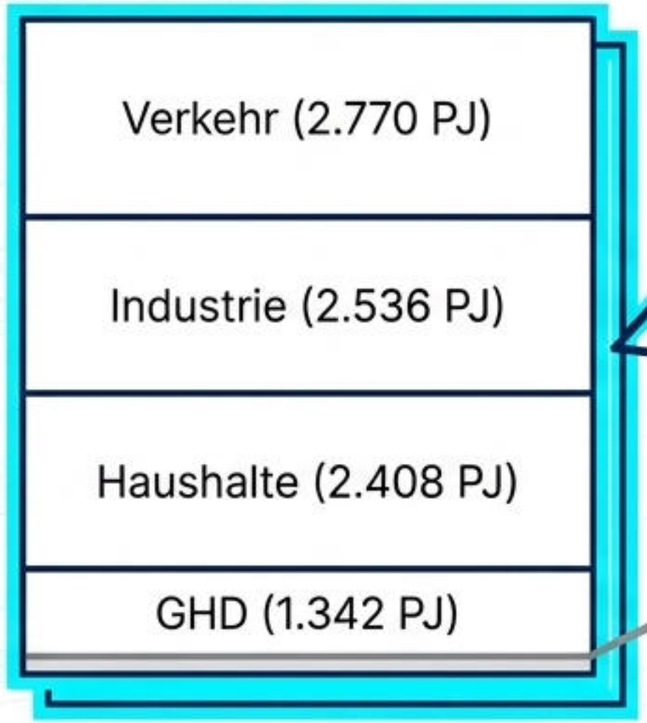
Maximierung der Ausbringung

Ansatz: Maximierung der spezifischen Werkstoffausnutzung bei der Erzeugung von Stückgut, um Aufwendungen für Aufwendungen für nachgelagerte Kreislaufführungen zu vermeiden.

Gemini Notebook

Das Endenergie-Puzzle: Warum Strom allein nicht reicht

Gesamtendenergiebedarf (2019) = 9.056 PJ



Wärme (Heat): 53,1 %
(Absoluter Löwenanteil des Endenergiebedarfs!)

Mechanische Energie & Sonstige: 44,4 %
(inkl. IKT, Beleuchtung)

Kälte (Cooling): 2,6 %

Die Dekarbonisierung Deutschlands wird im **Wärmesektor entschieden.** **Sektorenkopplung** ist zwingend erforderlich, da Strom (aktuell nur ~20% des Bedarfs) die anderen 80% durchdringen muss.

Gemini Notebook

Die Wärmewende: Dekarbonisierung von 53 % des Bedarfs

Arbeitsziel: Endenergieverbrauch für Wärme muss um 25% sinken. Ausstieg aus fossilem Mineralöl.



Säule 1: Gebäudeenergieeffizienz

Energetische Sanierung des Bestands (Ziel: Sanierungsquote von 1% auf 2% pro Jahr verdoppeln).

Relevante Sanierungstiefe bei Dämmung/Fenstern.

Säule 2: Objektnahe erneuerbare Energien

Massiver Markthochlauf von Wärmepumpen (Umweltwärme, Geothermie).
Ziel: 5 bis 6 Millionen installierte Einheiten bis 2030 (aktueller Pfad von 2 Mio. reicht nicht aus).

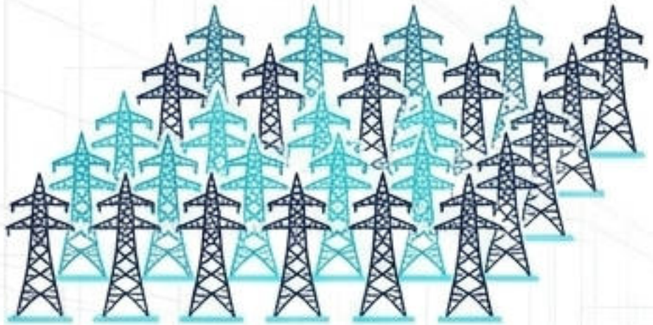
Säule 3: Grüne Wärmenetze

Umstellung und Ausbau bestehender Nah- und Fernwärmenetze, idealerweise gekoppelt mit KWK-Systemen auf Basis erneuerbarer Gase/Biomasse.

Gemini Notebook

Die Gaswende: Der DVGW "Energie-Impuls Trias"

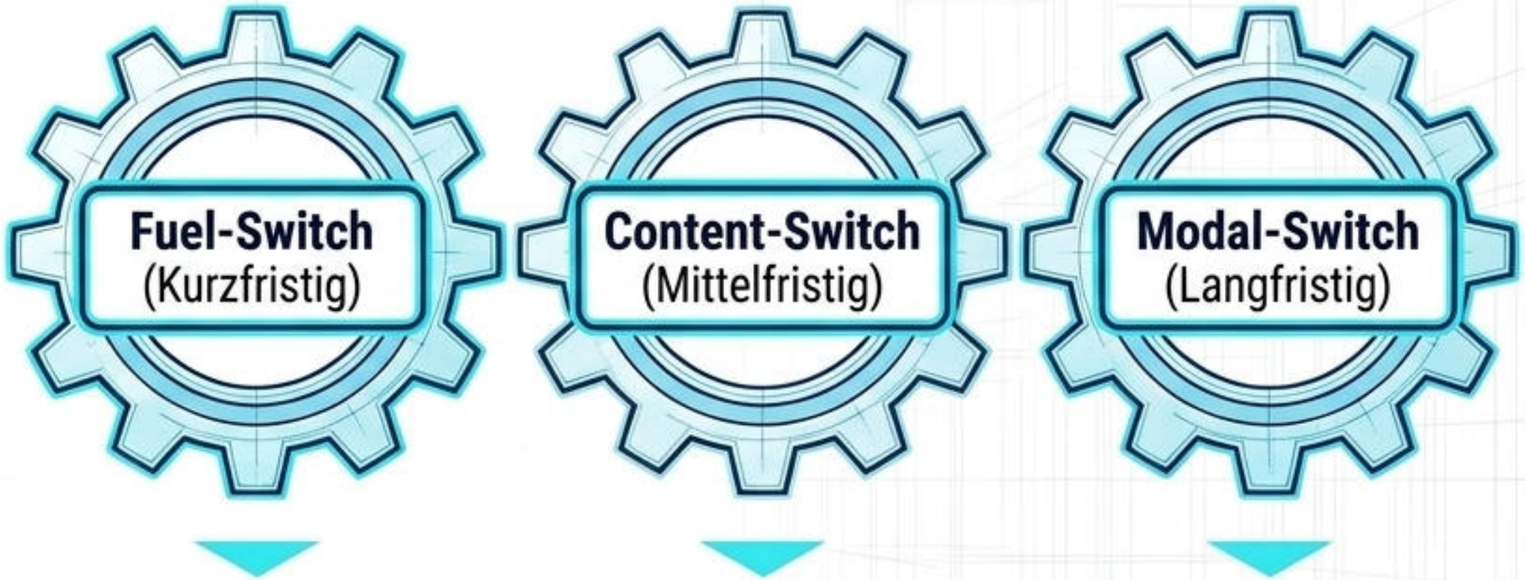
Infrastruktur-Vorteil



1.000 MW Transportleistung benötigen oberirdisch ~200 Windkraftanlagen-Trassen, aber unterirdisch nur eine 0,6 m breite Gaspipeline.

360 TWh Speicherkapazität bereits im Netz vorhanden.

The Trias Gears



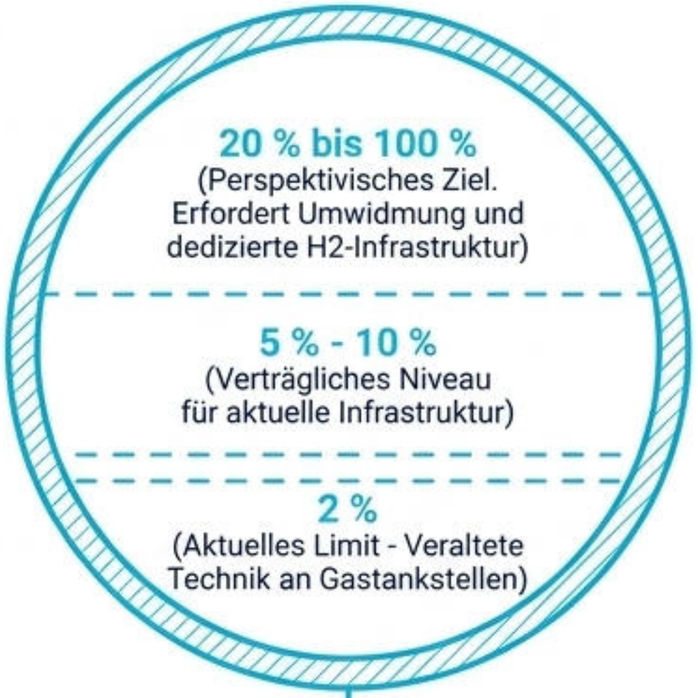
Ersatz von Kohle und Öl durch Erdgas in der bestehenden Infrastruktur (zur Absicherung der Strom-/Wärmedefizite beim Atom-/Kohleausstieg).

Ersatz von fossilem Erdgas durch erneuerbare grüne Gase (Biomethan, synthetisches H2 via Power-to-Gas). Ziel: 17 Mrd. m^3/a Biomethan bis 2050.

Digitale Sektorenkopplung. Systematische Verknüpfung von Strom-, Wärme- und Gasinfrastrukturen zur systemweiten Laststeuerung.

Gemini Notebook

Das Wasserstoff-Paradigma (H2) im Bestandsnetz



Die regulatorischen & technischen Herausforderungen

- Fehlende Investitions- und Betriebssicherheit durch unklare regulatorische Rahmenbedingungen.
- Vertrauen der Endnutzer in die Sicherheit von 100% H2-Installationen in Gebäuden muss aufgebaut werden.
- Handelssysteme für rein dekarbonisierte Gase müssen erst noch entwickelt werden.

Gemini Notebook

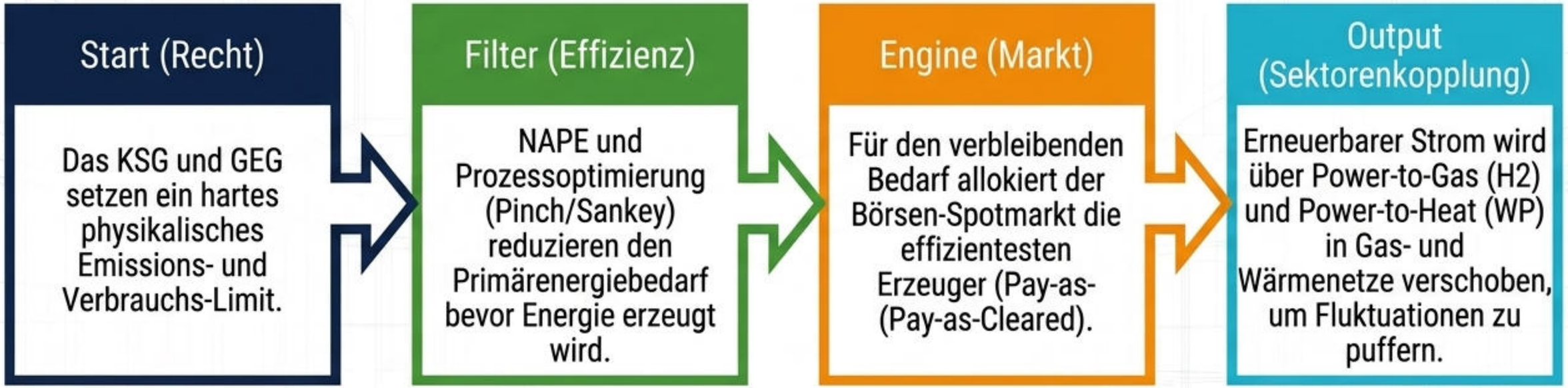
MATRIX: Die H2-Farbenlehre & Strategische Ausrichtung

	Grüner Wasserstoff (Green)	Blauer Wasserstoff (Blue)	Grauer Wasserstoff (Gray)
Herstellungsverfahren	Elektrolyse von Wasser unter Einsatz von 100% erneuerbarem Strom oder aus Biomasse.	Dampfreformierung von Erdgas, gekoppelt mit CCS/CCU zur Vermeidung des CO2-Austritts.	Klassische Dampfreformierung von fossilem Erdgas (CO2 entweicht in die Atmosphäre).
Strategischer Effekt	Echte Dekarbonisierung UND Defossilisierung.	Dekarbonisierung (klimaneutral in der Bilanz), aber KEINE Defossilisierung (weiterhin Nutzung fossiler Rohstoffe).	Weder noch. Keine Lösung für die Energiewende.

Regulatorischer Status: Wasserstoff gilt nur dann als 'Biogas' (Kombinatorik EEG/EEWärmeG), wenn er zu >80 % aus erneuerbaren Energien bereitgestellt wird.

Gemini Notebook

SYNTHESE: Der Blueprint des integrierten Energiesystems



Core Message: Die Energiewende ist kein reines Stromprojekt, sondern eine hochkomplexe, sektorenübergreifende Optimierungsaufgabe.

Gemini Notebook

Zusammenfassung für die Prüfung (Modul GLEW5)

Recht

- **KSG**: -55% CO2 bis 2030 (vs. 1990).
- **GEG**: 55 kWh/(m²*a) Max-Bedarf, 15-50% EE-Anteil bei Wärme.
- **EEG**: Wechsel von Einspeisevergütung zu wettbewerblichen Ausschreibungen (Pay-as-Bid).

Markt

- **Börse**: Standardisiert, anonym, Pay-as-Cleared (Markträumungspreis).
- **Terminmarkt vs. Spotmarkt**: Zukünftige Lieferung (Futures/Forwards) vs. Physische Kurzfrist-Lieferung (Day-Ahead/Intraday).

Effizienz

- **Efficiency First:** Primärenergie bis 2050 halbieren.
- **Tools:** Sankey (Ströme), Pinch-Analyse (Wärme), DEEP (Datenbank).
- **Top-Maßnahme:** Werkstoffausnutzung maximieren / Kreisläufe schließen.

Sektorenkopplung

- **Bedarf:** 9.056 PJ gesamt. Wärme ist der kritische Sektor (53,1%).
- **DVGW Trias:** Fuel-Switch, Content-Switch, Modal-Switch.
- **H2-Farbenlehre:** Grüner vs. Blauer H2 (Limitierung im Netz aktuell 2%).

Gemini Notebook