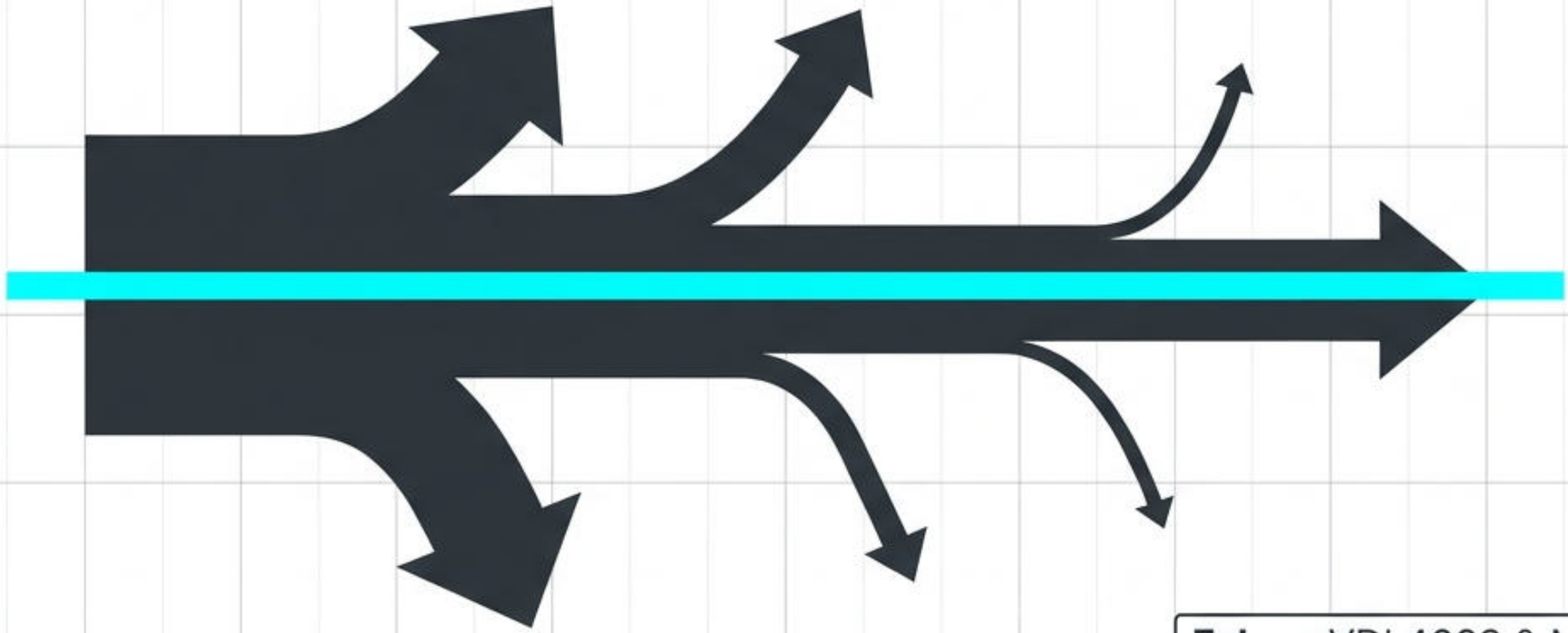
Kapitel 6: Energieeffizienz

Grundlagen, physikalische Grenzen und die Realität der **Umsetzung in der Energiewende (GLEW6).**



Fokus: VDI 4663 & Messtechnik

Gemini Notebook

„Efficiency First“ als Basis der Energiewende

Leitmotiv

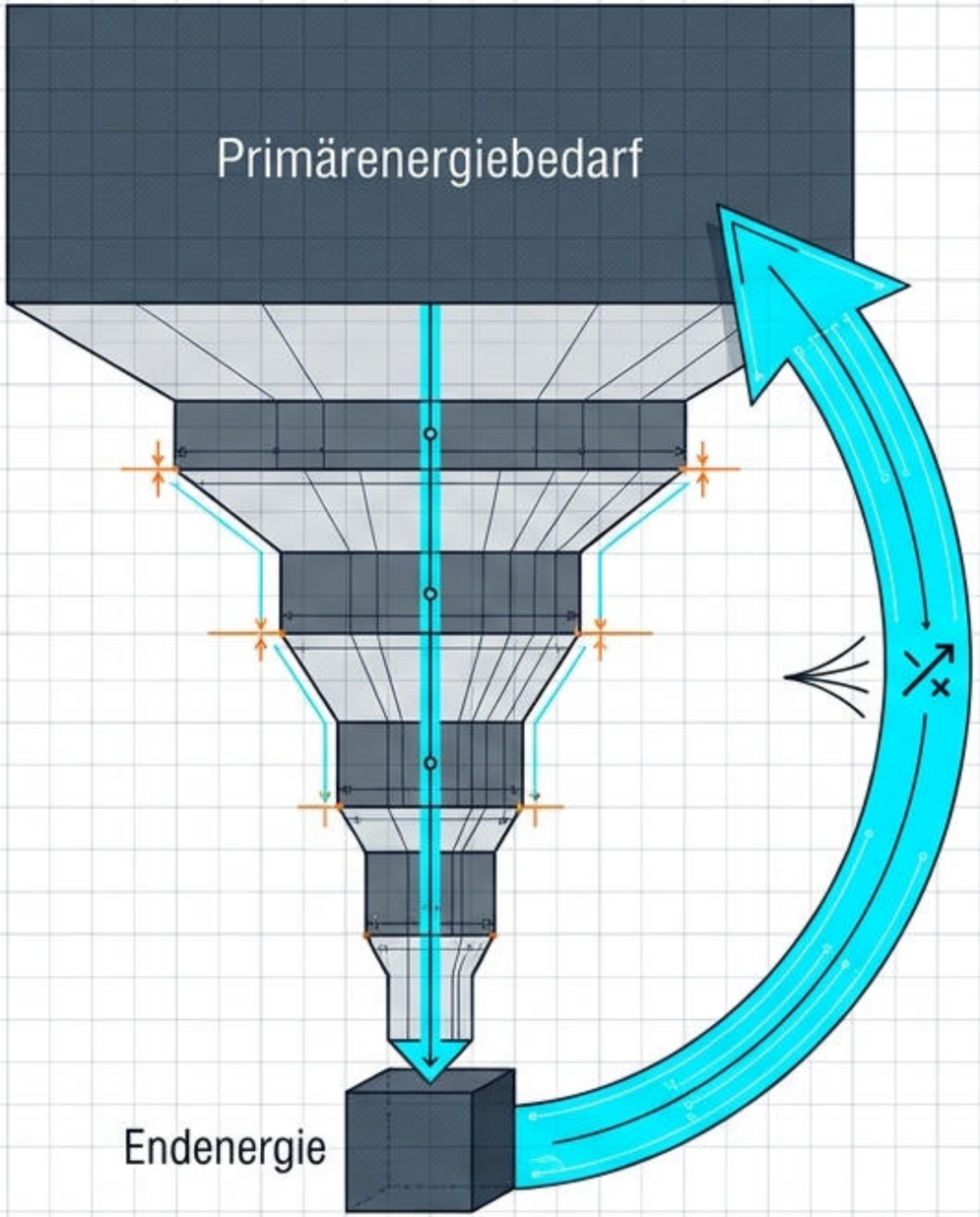
Reduktion des Endenergiebedarfs verringert überproportional den Bereitstellungsaufwand von Primärenergie aus erneuerbaren Quellen.

Definition Energieeffizienz

Das maximal mögliche Verhältnis von Nutzen (zu maximieren) zu Aufwand (zu minimieren).

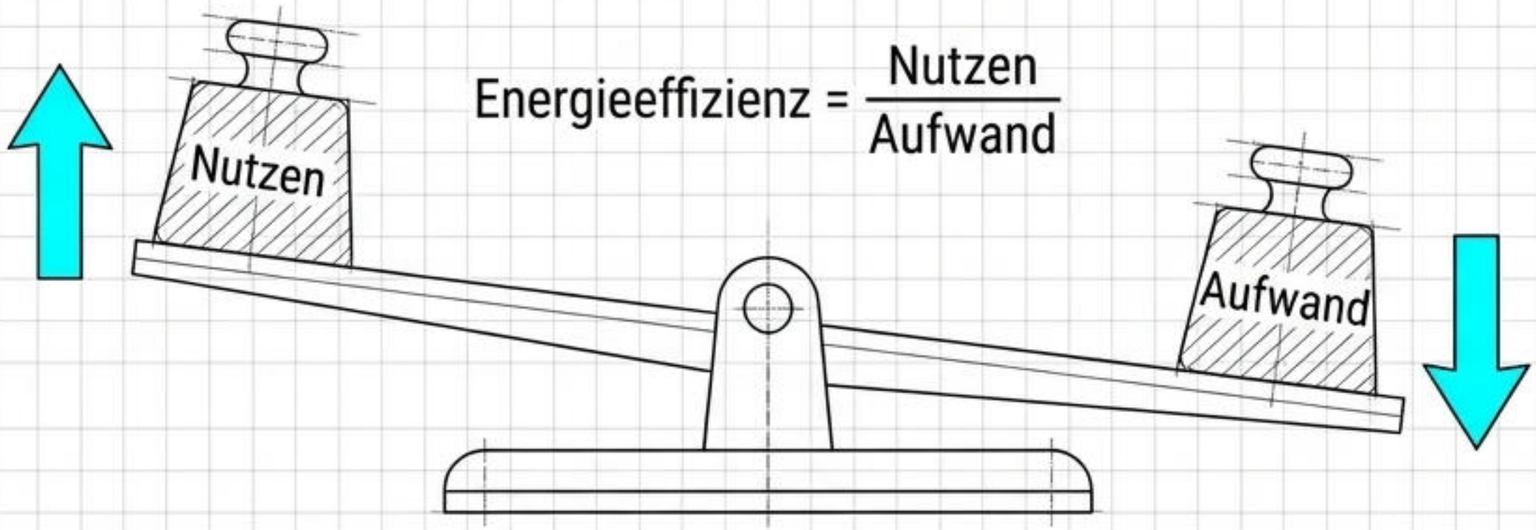
Zielsetzung

Gezielte Reduktion von Verbräuchen in Prozessen, Anlagen und gesamten Unternehmen.



Gemini Notebook

Die Identifikation von Effizienzpotentialen



$$\text{Energieeffizienz} = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}}$$

4 Betrachtungsansätze zur Potentialerkennung (Ingenieurtechnische Basis):

Checklisten:
Schnelle Überprüfung offensichtlicher Schwachstellen bei Betriebsbegehungen

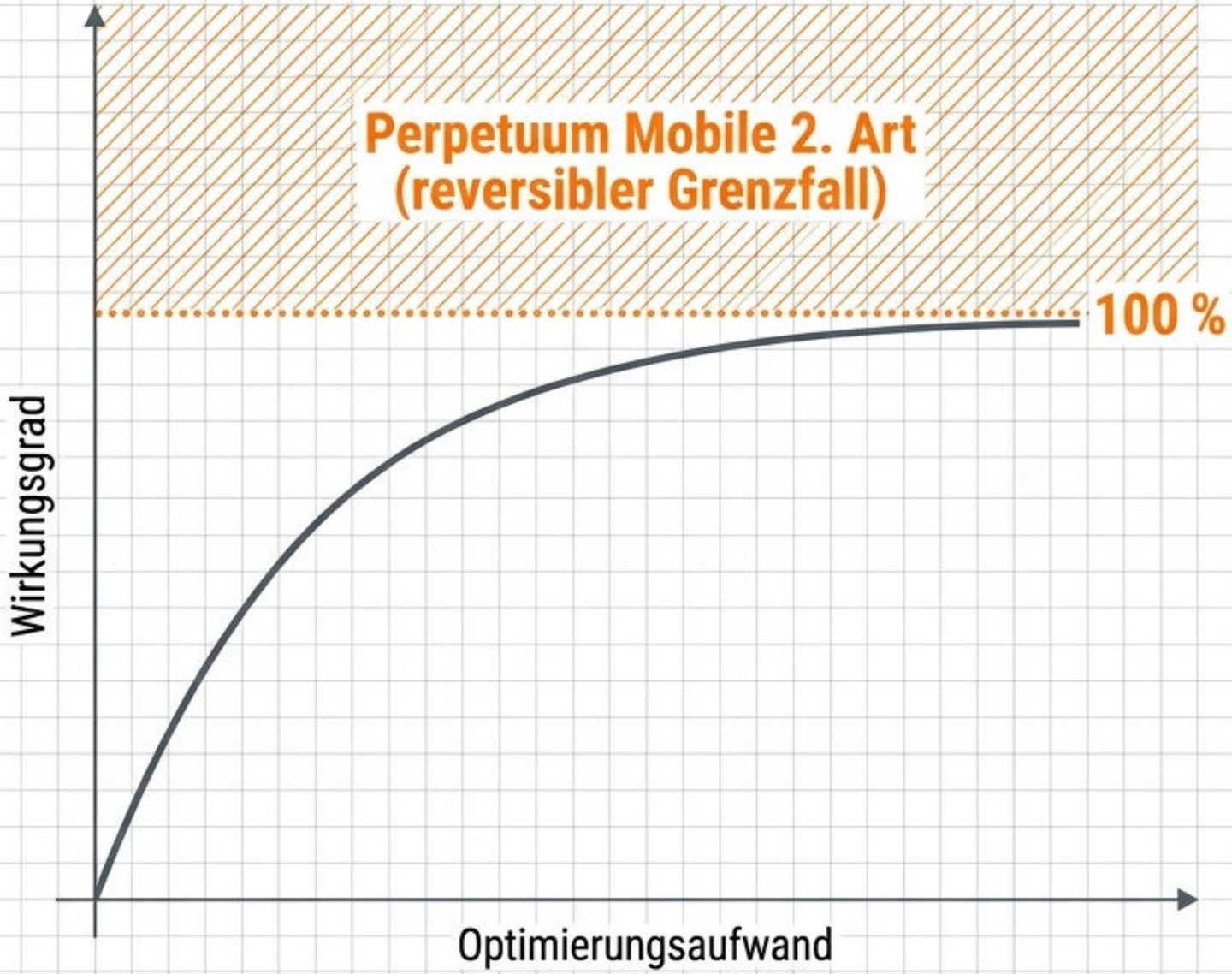
Leitfäden:
Strukturierte Handlungsanweisungen für spezifische Prozesse

Datenbanken:
Nutzung historischer und systematisierter Erfahrungswerte

Branchenenergiekonzepte:
Übergeordnete, sektorspezifische Optimierungsstrategien (z.B. Grundoperationen in der chemischen Industrie)

Gemini Notebook

Die physikalische Grenze des klassischen Wirkungsgrades



Das Problem

Der Wirkungsgrad vergleicht realen Nutzen mit realem Aufwand. Der Grenzwert von 100 % ist physikalisch unmöglich (2. Hauptsatz der Thermodynamik).

Die Konsequenz

Die tatsächlich durch Maßnahmen erreichbare realistische Effizienzsteigerung wird durch diese 100%-Skala massiv verzerrt und ist nicht ausreichend darstellbar.

Der Bedarf

Wir benötigen Referenzen, die das potenzielle Optimum unter realen Bedingungen beschreiben, nicht ein theoretisches Vakuum.

Gemini Notebook

Die Fragmentierung klassischer Kennzahlensysteme

Technologisch & Ökonomisch (Stand der Technik)

Best Available Technology (BAT):

Geringster spez. Energiebedarf mit bewährter Technik.

Best Practical Means:

Geringster Bedarf bei vertretbaren Kosten.

Ökologisch & Holistisch

Ökobilanz (LCA):

Umweltwirkungen des gesamten Lebenswegs (DIN EN ISO 14040).

Kumulierter Energieaufwand (KEA):

Realer Aufwand für Herstellung, Nutzung und Entsorgung (VDI 4600).

Thermodynamisch / Bilanzierend

Gütegrad:

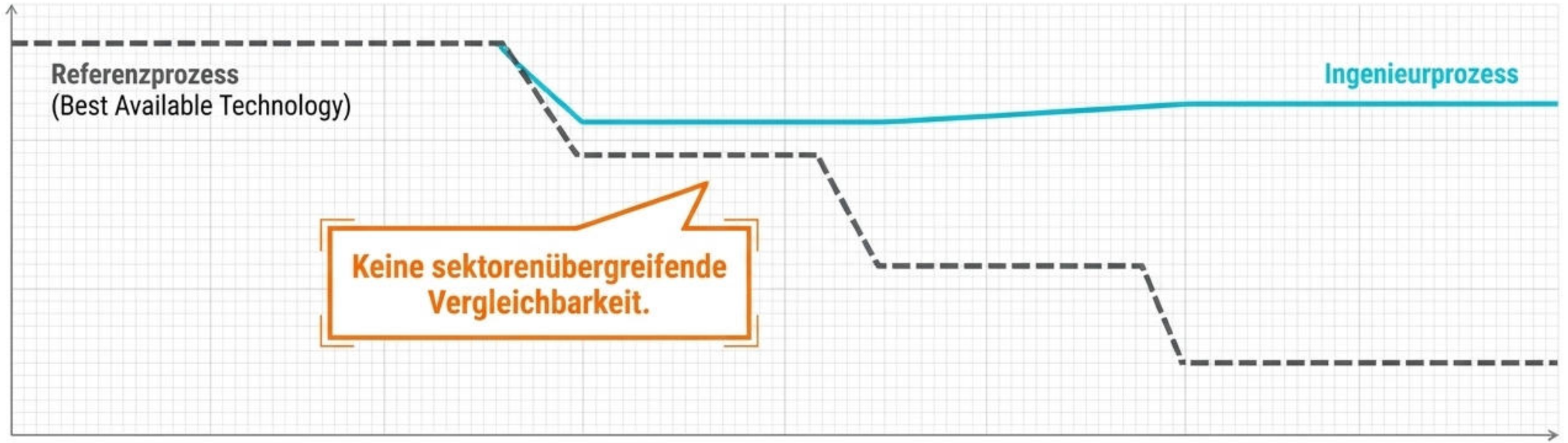
Verhältnis realer Verbrauch zu idealem Vergleichsprozess.

Input-Output-Bilanz:

Erfassung sämtlicher Ströme zur Feststellung von Verlusten.

Gemini Notebook

Das Problem des „Stand der Technik“ (Moving Target)



Abhängigkeit:
Klassische Referenzen (wie BAT) sind stark abhängig von aktuellen Literaturdaten und vertretbaren Anschaffungskosten.

Instabilität:
Sie verändern sich fortlaufend mit dem Stand der Technik und Forschung.

Mangelnde Differenzierung:
Unzureichende Einbindung von gesetzlichen Grenzen, Qualitätsanforderungen und Rezepturen.

Fazit:
Unternehmensspezifische Ausprägungen verhindern eine allgemeingültige, zeitlich stabile Übertragbarkeit.

Gemini Notebook

Der ultimative Anker:
Das Physikalische Optimum (VDI 4663)



Der Paradigmenwechsel
Ein Referenzprozess basierend auf physikalischen Gesetzen, der den idealen Zustand für Nutzen oder Aufwand beschreibt.

Die absolute Grenze
Ein Unterschreiten des Referenzwertes ist physikalisch ausgeschlossen.

Der Vorteil
Eine nachhaltig nutzbare Basis, die keine kontinuierlichen Anpassungen an den „Stand der Technik“ erfordert. Sektorenübergreifend vergleichbar.

Anwendungsbereiche
Untersuchung der Effizienz, Effektivität und Kapazität eines Systems.

Gemini Notebook

Die Konstruktion der ultimativen Kennzahl: Der PhO-Faktor

$$\text{PhO-Faktor} = \frac{\text{(Realer Aufwand oder Nutzen)}}{\text{(Grenzwert)}}$$

Kennzahl:
Kann dimensionsbehaftet oder dimensionslos aufgestellt werden.

Die 4 zulässigen Grenzwerte (Nenner):

Physikalisches Optimum:
(Theoretisches Minimum für Aufwand / Maximum für Nutzen).

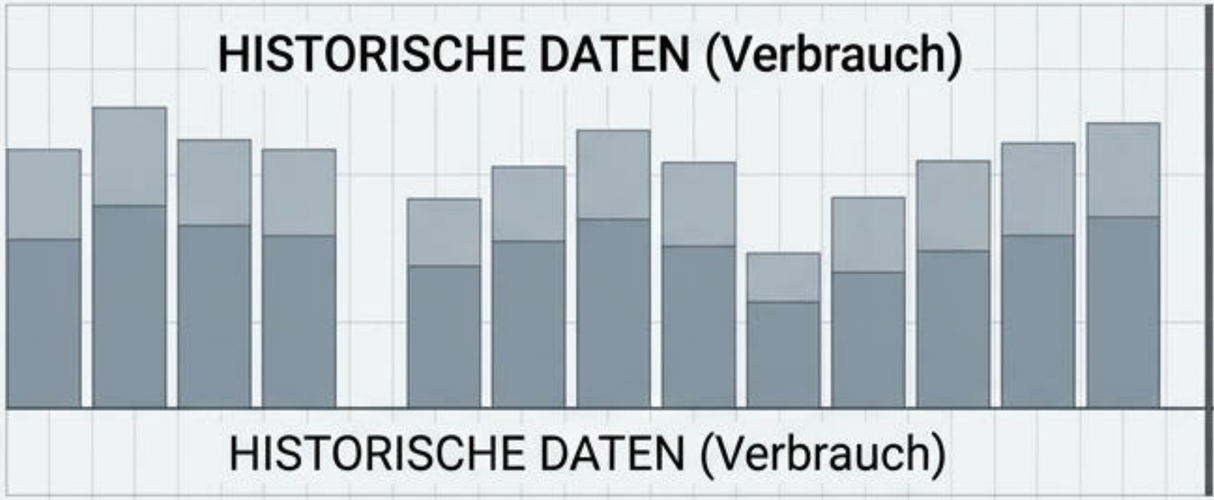
Gesetzlicher Grenzwert:
(z.B. vorgegebene Emissions- oder Verbrauchslimits).

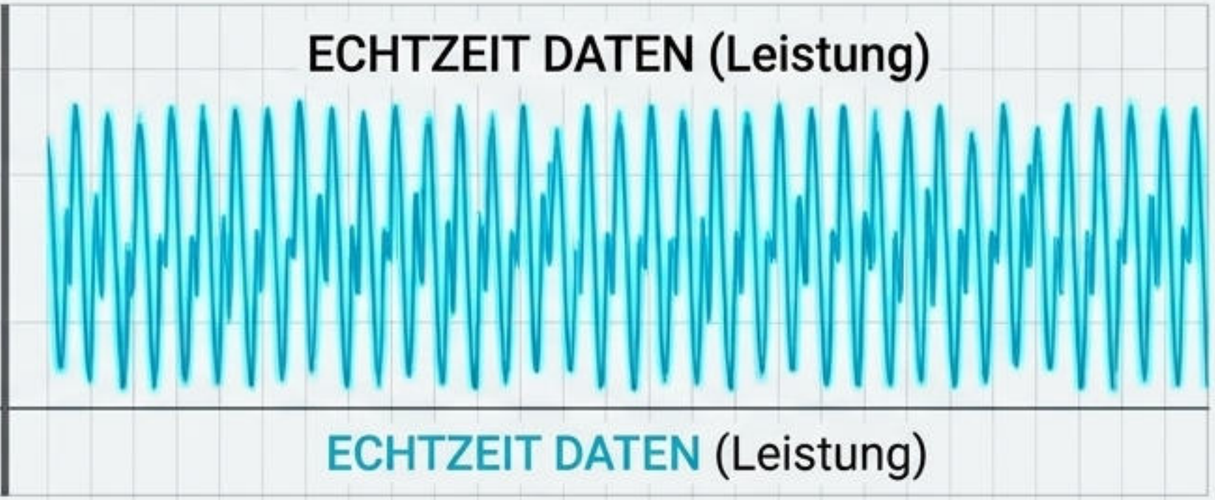
Qualitätsanforderung:
(Produktspezifische Mindeststandards).

Gemessene Größe:
(Zur Abbildung physikalischer Zusammenhänge in hochkomplexen Systemen).

Gemini Notebook

Datenperspektiven: Verbrauchs- vs. Leistungswerte





Bedarfsperspektive (Verbrauchswerte)

- Basieren auf summierten, historischen Daten.
- Ermöglichen eine allgemeine, rückblickende Aussage (gesamtheitlicher PhO-Faktor).
- Keine Details über den genauen Verlauf einzelner Betriebszustände.

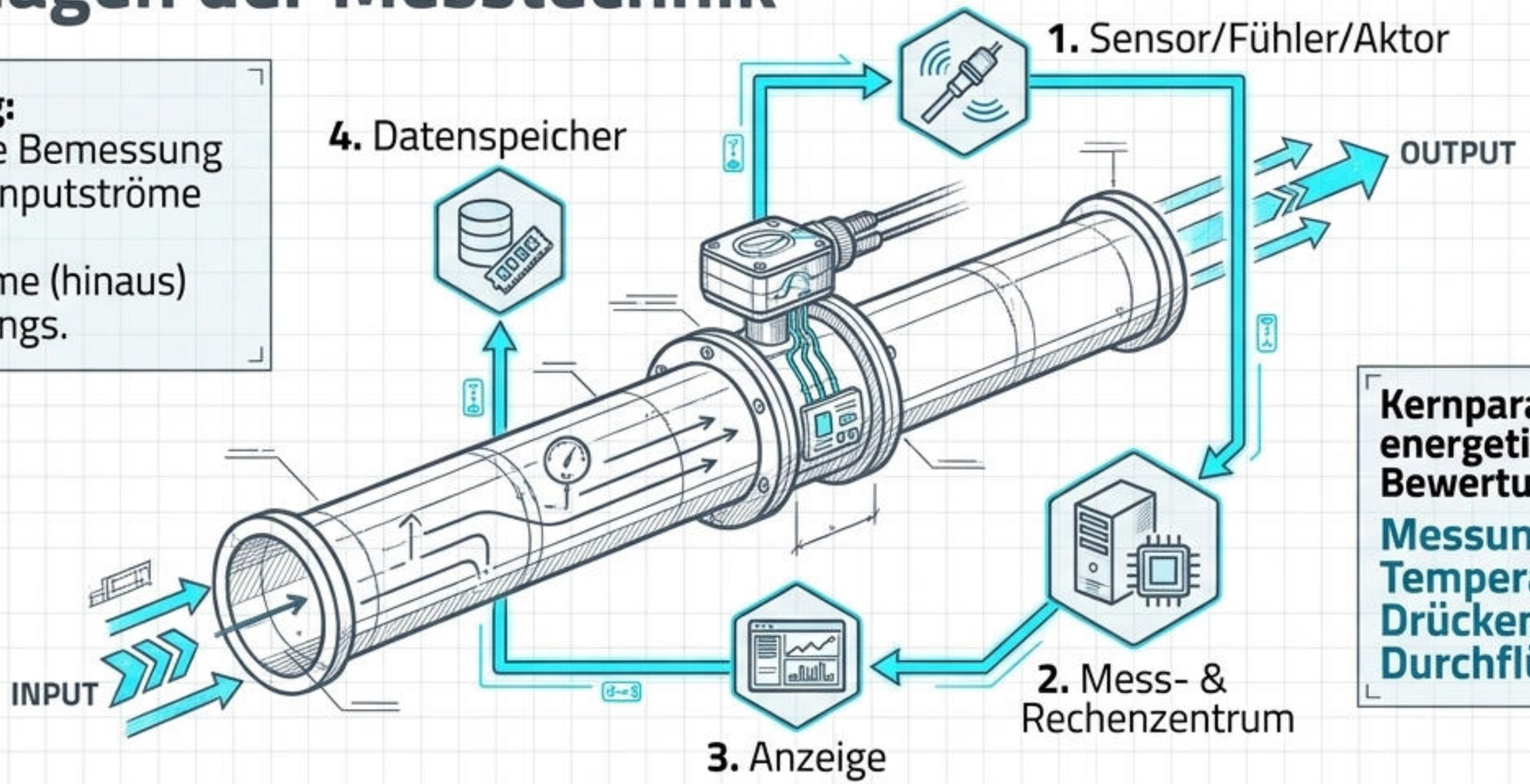
Leistungsperspektive (Leistungswerte)

- Hochaufgelöste Daten einzelner Betriebszustände.
- Ermöglichen Online-Monitoring (momentaner PhO-Faktor).
- Erlauben die simultane Ableitung von Handlungsempfehlungen im laufenden Prozess.

Gemini Notebook

Die physikalische Datenerhebung: Grundlagen der Messtechnik

Zielsetzung:
Vollständige Bemessung sämtlicher Inputströme (hinein) und Outputströme (hinaus) eines Vorgangs.



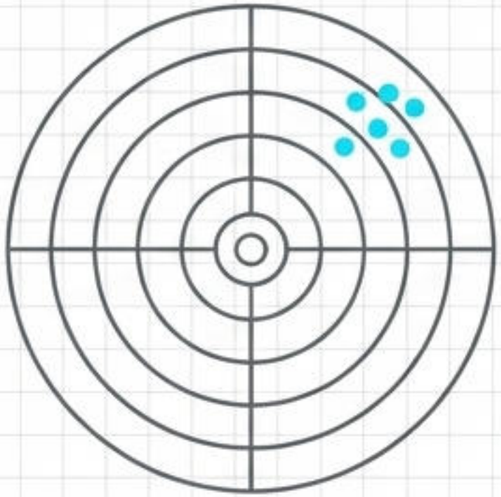
Kernparameter der energetischen Bewertung:
Messung von Temperaturen (T), Drücken (p) und Durchflüssen (V).

Messgrößen-Kategorien:
Form- und Stoffgrößen, Funktions- und Prozessgrößen, Umwelt-Wechselwirkungen (erfasst durch kinematische, mechanische, thermische, elektrische, optische Sensoren).

Gemini Notebook

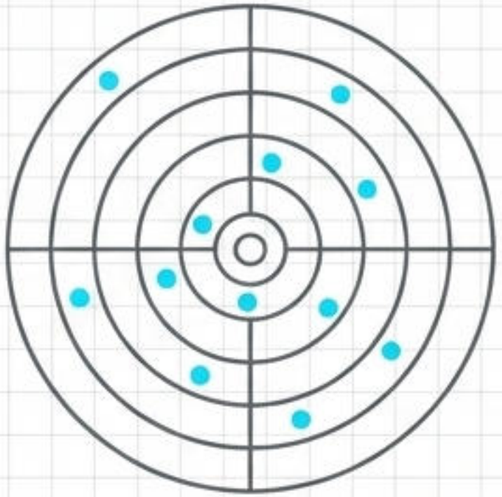
Messgenauigkeit und die Anatomie des Fehlers

Systematischer Fehler



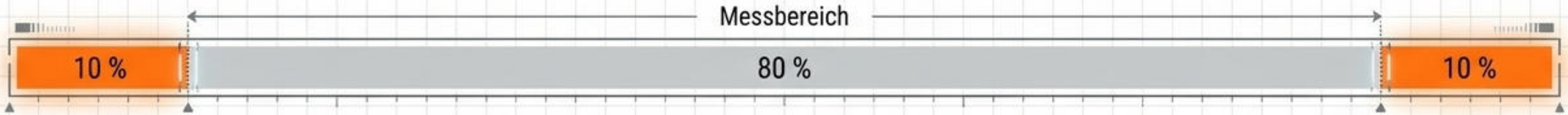
Bekannt, quantifizierbar
und korrigierbar

Zufälliger Fehler



Unbekannt; Quantifizierbarkeit nur
durch statistische Verfahren möglich.

Die 5-10 % Regel:
Auftretende relative Fehler steigen zum Rand des Messbereiches rasant an.
Messungen sollten stets mit 5 bis 10 % Abstand zum Messbereichsrand erfolgen.



Retentionszeiten:
Zeitliche Verschiebungen zwischen Messung und realem Zustand
(hohe Genauigkeit führt oft zu hohen Retentionszeiten)

Gemini Notebook

Messkonzepte: Stationäre vs. Mobile Systeme

	Kontinuierlich (Stationär)	Temporär (Mobil)
Einsatzzweck	Energetische Bilanzierung und prozesstechnische Dauerbewertung	Analyse von Last- und Standby-Verhalten einzelner Vorgänge.
Kostenstruktur	**Hohe CAPEX** (Infrastruktur, Ex-Schutz)	Geringe CAPEX, **höhere OPEX** durch Personaleinsatz.
Automatisierungsgrad	Vollautomatisiertes Datenaufkommen ins Energiecontrolling	Manuelle Auswertung spezifischer Ereignisse (hohe zeitliche Abtastrate gezielt nutzbar).

Ziel: Beide Systeme dienen der Unterstützung des Energiecontrollings als Basis für Optimierungsmaßnahmen.

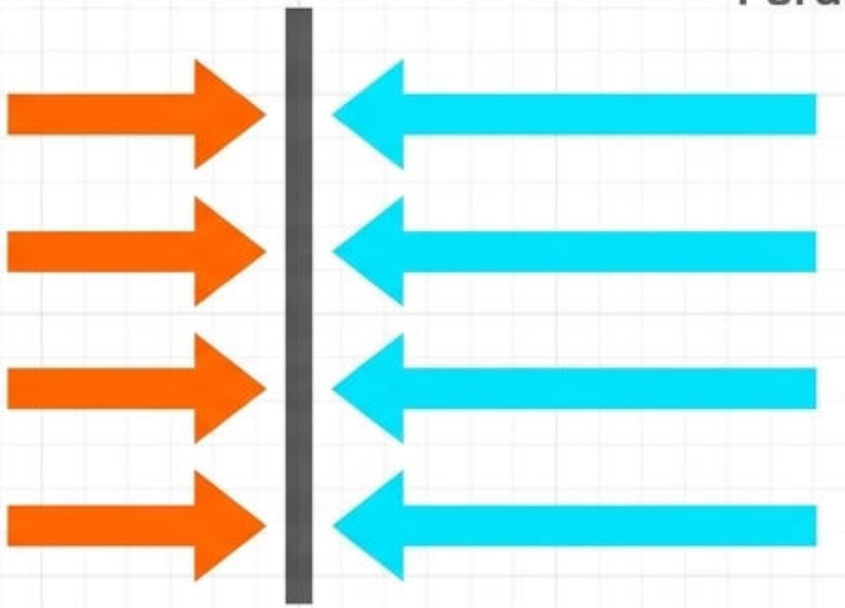
Gemini Notebook

Umsetzungshemmnisse: Die betriebliche Realität

Kurt Lewin

Erfolgreiche Umsetzung

Hemmnisse	Förderfaktoren
Generelle Hemmnisse: Reine Amortisationszeit-Fokussierung (ROI) statt Lebenszykluskosten.	
Besorgnis über negative Beeinflussung der Produktqualität.	
Nachrangigkeit aufgrund kurzfristig günstiger Energiebezugskosten.	
Hoher bürokratischer Aufwand für Förderungen.	



Die Struktur-Falle (Groß vs. Klein):	
Großunternehmen: Komplexe Entscheidungsfindung, geteilte Verantwortlichkeiten (gespaltene Anreizsysteme) bremsen Umsetzung.	**KMU (Kleine/Mittlere):** Hohe Mitarbeitermotivation (treibt Innovation), aber akuter Mangel an Personal/Kapazitäten für spezifische Prozessanalysen.

Gemini Notebook

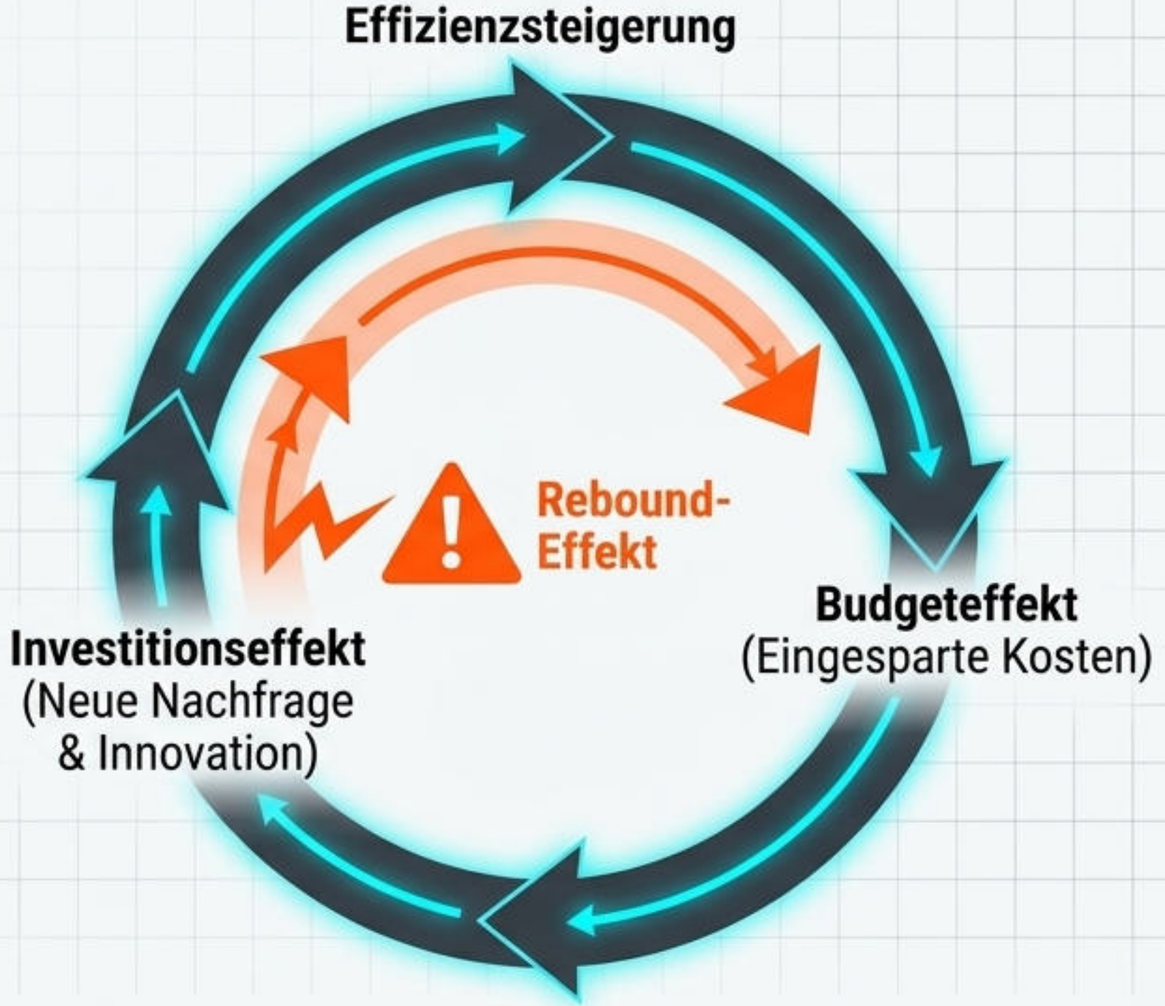
Treiber, Instrumente und volkswirtschaftliche Effekte

Politische & Strategische Treiber

- Integration von Energiemanagementsystemen (baut interne Kompetenz auf).
- Mindestanforderungen (Komponenten) vs. Systemische Förderungen (Zuschüsse senken Risiko).
- Nutzbarkeit der Maßnahmen für PR und Marketing.

Makroökonomische Effekte

- **Direkt**: Reduzierter Energieverbrauch, geringere Importabhängigkeit (Versorgungssicherheit), zusätzliche Beschäftigung.
- **Indirekt** (Budget- & Investitionseffekt): Eingesparte Kosten erzeugen neue Nachfrage; Innovationsförderung schafft Export-Wettbewerbsvorteile.



Das Risiko (Rebound-Effekt): Gesteigerte Effizienz senkt die relativen Kosten der Energienutzung, was paradoxerweise zu Mehrverbrauch führen kann, der die Einsparungen kausal entgegengesetzt aufhebt.

Gemini Notebook

Synthese: Das Ökosystem der Energieeffizienz



Fazit: Energieeffizienz ist kein reines Technikproblem. Sie ist das Resultat hochpräziser physikalischer Messung (PhO), die gezielt gegen organisatorische und ökonomische Hemmnisse durchgesetzt wird.

Gemini Notebook