

EnPI nach DIN 50001 mittels der Methode der grenzwertorientierten Kennzahlen nach VDI 4663

EnPI according to DIN 50001 using the method of limit value key figures according to VDI 4663

Prof. Dr.-Ing. Bernd Sankol
HAW Hamburg



Hannover Messe 2019
Tec Trans Forum
03.04.2019 in Hannover



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

- **Motivation**
- **DIN 50001 und folgende EnPI und energiebezogene Leistung**
- **Methoden zur Bewertung der Energie- und Ressourceneffizienz**
- **VDI 4663**

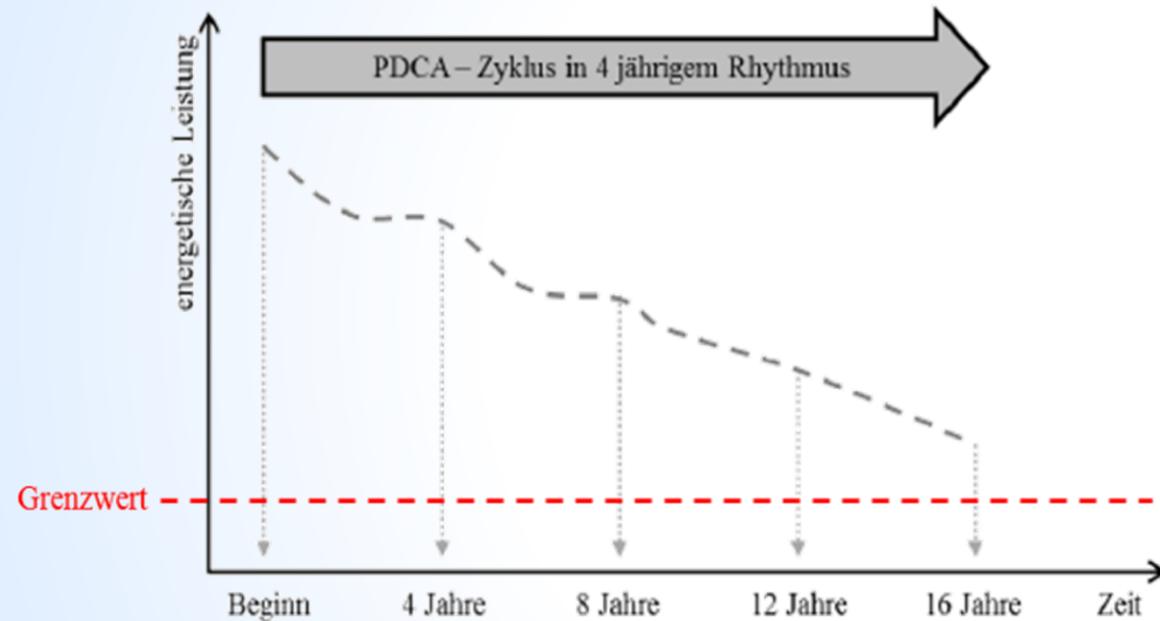
Bewertung von Energie- und Stoffeffizienz

Methodische Anwendung des Physikalischen Optimum

- **Systemmodell**
- **PhO-Faktor und Bedarfsperspektive**
- **Verbrauchswerte Leistungswerte**
- **Strategisches Vorgehen und Werkzeuge**
- **Kapazitätsbetrachtung von Prozessen (Transport)**
- **Anwendung der Methodik im Projekt WIPANO**
- **Arbeitsgrundlagen für die Methodik**

Motivation

**Forderung im Unternehmen:
Jedes Jahr sollen 5% Energie eingespart werden!**



Frage:
Gibt es eine physikalisch begründete Grenze für den Energieverbrauch?

Bild 1: Verbesserungsprozess für die Energieeffizienz mit dem PDCA-Zyklus [Carsten Keichel]

Frage: *Ist es möglich einen allgemein gültige Definition für die Grenze der energiebezogenen Leistung zu finden?*

Methoden zur Bewertung der Energieeffizienz

Übersicht über Methoden zur Bewertung der Energie- und Ressourceneffizienz (eine Auswahl)

- Theoretisch berechneter Energie- und Materialeinsatz
- Subjektiver existierender Idealzustand
- Potentielles Best-Niveau
- BDP: Best Demonstrated Practice (Bestmögliche Praxis)
- OEO: Operational Energy Optimum (operatives Energie Optimum)
- PEO: Plant Energy Optimum (Werk Energie Optimum)
- TEO: Theoretical Energy Optimum (Theoretisches Energie Optimum)
- **Spezifischer Energieverbrauch nach dem Stand der Technik**
- **Spezifischer Energieverbrauch des besten Produktionsprozesses**
- **Best practice observed** (geringster spez. Verbrauch der Fabrik bei Volllast)
- Best practical means (geringster spezifischer Verbrauch der Fabrik unter Verwendung des Standes der Technik bei angemessenen Kosten)
- **BAT: Best available technology** (geringster spezifischer Verbrauch der Fabrik unter Verwendung des Standes der Technik ohne Berücksichtigung der Kosten)
- BVT: Beste verfügbare Technik
- **Ökotec Studie**

Methoden zur Bewertung der Energieeffizienz

Normen und Richtlinien

- DIN EN 16247 Energieaudits
- DIN EN 50001 Energiemanagementsysteme
- DIN ISO 50006 Energiemanagementsysteme –
Messung der energiebezogenen Leistung unter Nutzung von energetischen Ausgangsbasen (EnB) und Energieleistungskennzahlen (EnPI)

- ISO 22400-1 und ISO 22400-2
- Namur Richtlinie 162
(Echtzeit-Ressourceneffizienz)
- VDI 4661 Energiekenngrößen Grundlagen – Methodik
- VDI 4662 Bildung, Implementierung und Nutzung von Energiekennwerten
- VDI 4800 Ressourceneffizienz

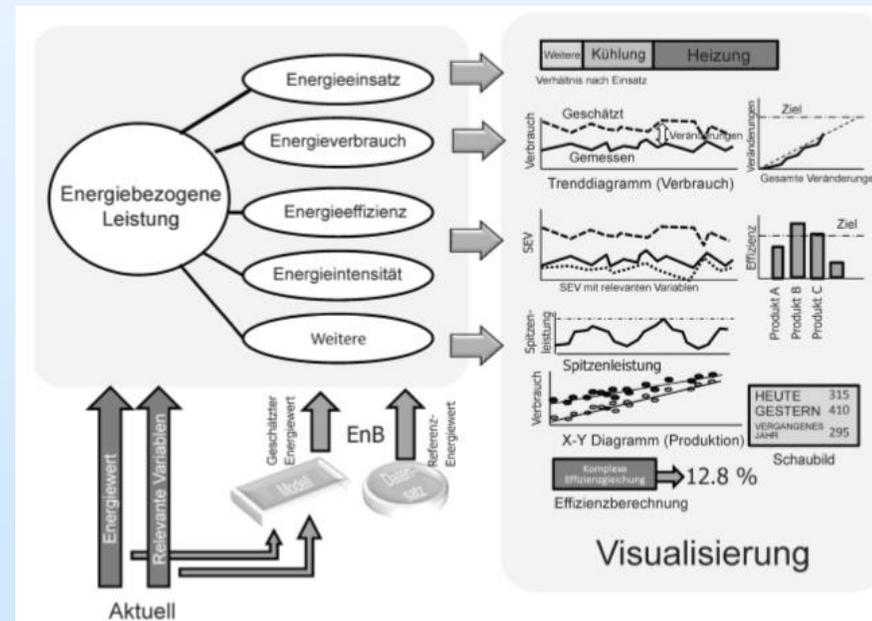


Bild 2:

Überblick über die Überwachung und das Berichten der energiebezogenen Leistung [DIN ISO 50006]

DIN EN ISO 50001 Energiemanagementsysteme

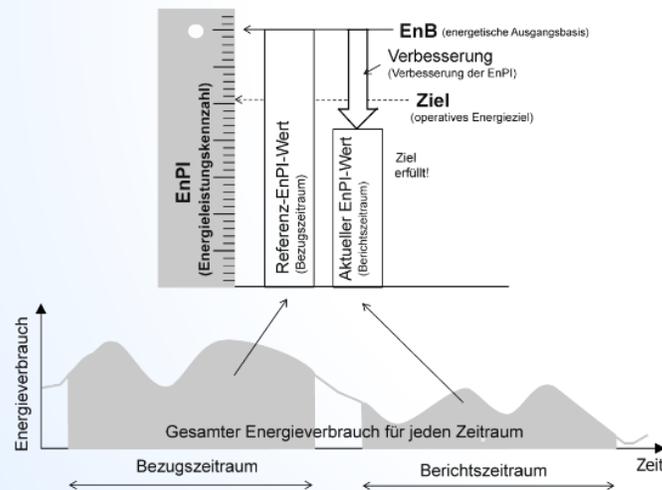


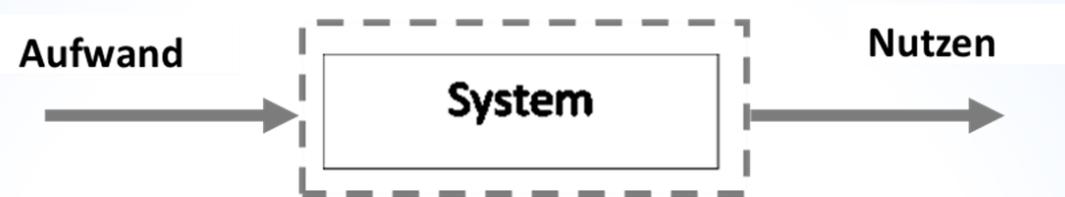
Bild 3: Konzept des Bezugszeitraums und des Berichtszeitraums für eine EnPI [DIN EN ISO 5006]

Probleme:

- Fortlaufende Verbesserung wird angestrebt, aber potential energetisch fortschrittlicher Unternehmen schwer zu bestimmen
- energetische Ausgangsbasis (EnB) scheinbar nicht zu definieren
- Bildung geeigneter Energiekennzahlen (EnPI) unmöglich

Bewertung von Energie- und Stoffeffizienz Methodische Anwendung des Physikalischen Optimum

Das Prozessmodell:



Der Prozess: Wasser in einem Wasserkocher erwärmen

- Wassermenge, Spezifische Wärmekapazität (Stoffwert), Anfangstemperatur, Endtemperatur



- erforderliche Wärmeenergie zur Erwärmung des Wassers → aus den physikalischen Gesetzen berechnet (thermodynamischen Mindestenergieaufwand)
- tatsächlich aufgewendete Wärmeenergie in Form von Strom → Messwert (aufgewendete Energie)

Bewertung von Energie- und Stoffeffizienz Methodische Anwendung des Physikalischen Optimum

Die Prozessüberwachung erfolgt durch die Bildung einer Kennzahl

Der Ansatz

- Basis ist der physikalische Grenzwert, „Das Physikalische Optimum“¹
- Einführung einer neuen Kennzahl PhO-Faktor F_{PhO}

$$F_{PhO} = \frac{\text{Nutzen oder Aufwand}}{\text{Physikalischen Grenzwert (PhO)}}$$

- Unterschiedliche Betrachtungsweisen, z.B. Effektivität bzw. Effizienz, ergeben unterschiedliche Kennzahlen

Bewertung von Energie- und Stoffeffizienz Methodische Anwendung des Physikalischen Optimum

- Ergebnis des Vergleichs:

	Einheit	Becherglas		Campingkocher		Wasserkocher	
Temperaturdifferenz	K	43	83	43	83	43	83
Physikalisch optimaler Energiebedarf	Wh	25	48	25	48	25	48
gemessener Energieverbrauch	Wh	39	110	33	84	29	55
Energieform zugeführte Energie	-	Strom	Strom	Strom	Strom	Strom	Strom
PhO-Faktor (ohne Primärenergiefaktor)	-	1,56	2,29	1,32	1,75	1,16	1,15

Die Erwärmung im Becherglas und im Campingkocher erfolgt mit einer vorgewärmten Elektroherdplatte

Zur Anwendung der Methode müssen wir:

Messen und Rechnen,

um Faktoren zu erhalten.

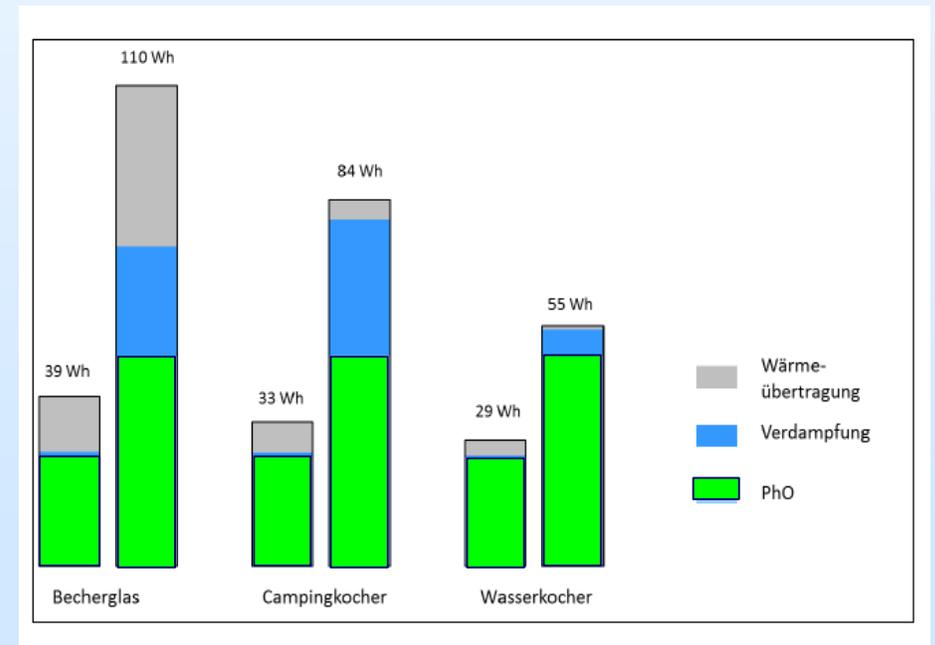


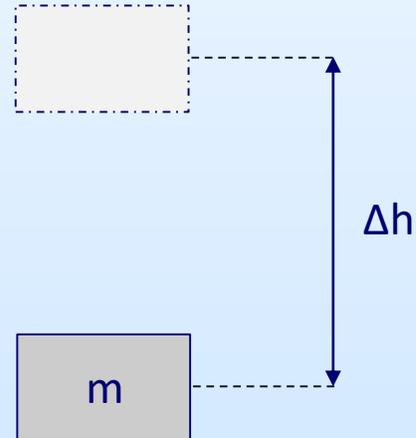
Bild 4: Ergebnis des Versuchs zur Warmwasserbereitung

Bewertung von Energie- und Stoffeffizienz Methodische Anwendung des Physikalischen Optimum

- Physikalisches Optimum für einen Hebeprozess



Datei:Liebherr - Kran LTM 1500-8.1 (b).JPG



- Körper der Masse m soll um **die Höhe Δh** angehoben werden
- Betrachtung aus der Bedarfsperspektive

- $$F_{PhO}^B = \frac{\text{Aufwand}}{\text{Nutzen}(PhO)} \geq 1$$

- Aufwand: Messungen Energieaufwand
- Nutzen (PhO) = $m \cdot g \cdot \Delta h$ (Arbeit)
- **Verfahren:**
Kran, Fahrstuhl, Pumpe und Rohrleitung, Rolltreppe....

Bewertung von Energie- und Stoffeffizienz Methodische Anwendung des Physikalischen Optimum

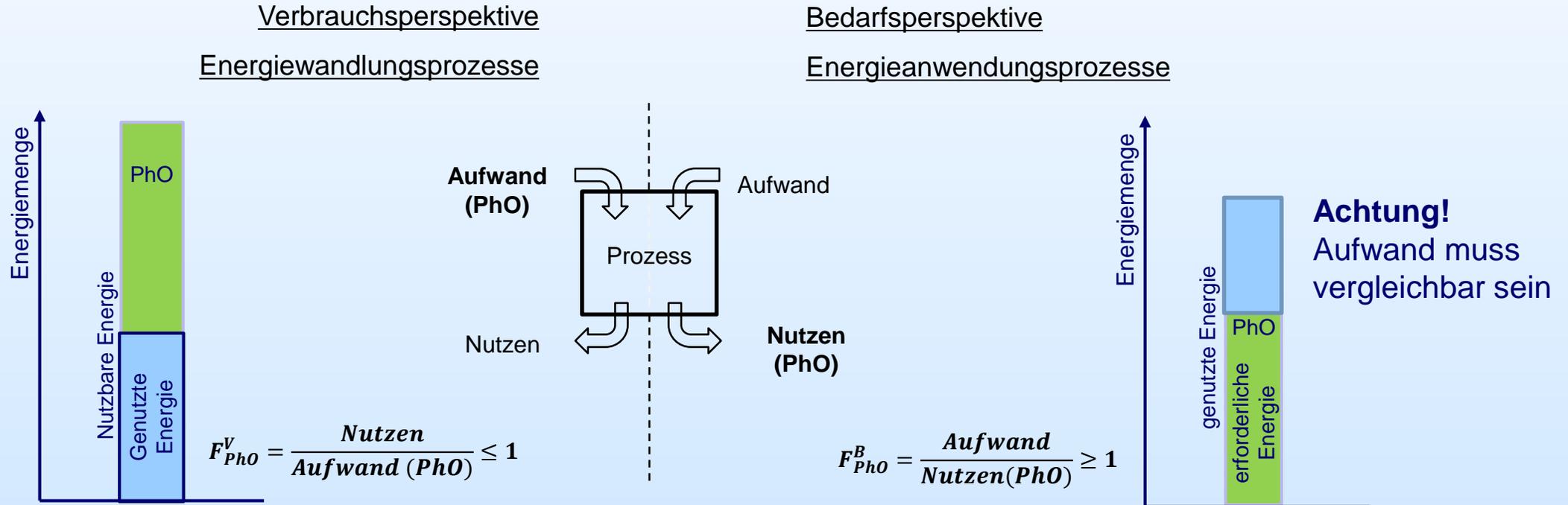


Bild 5: Perspektiven der Betrachtung des Energiewandlung und der Energieanwendung

Die Änderung der Perspektive ergibt andere Kennzahlen!!

Bewertung von Energie- und Stoffeffizienz Methodische Anwendung des Physikalischen Optimum

Bedarfsperspektive

Untersuchung der Effektivität

das Physikalische Optimum für die Seites des Nutzens berechnet.

(Wir wollen möglichst nur den Aufwand treiben, der zur Erreichung unseres Nutzens erforderlich ist)

Geeignet für Prozesse der *Energieanwendung*



Bild 6: PhO-Faktor Bedarfsperspektive

Zeitliche Perspektive für die PhO-Faktoren

Verbrauchswerte

über einen Zeitraum

Beurteilung der Prozesse
über einen Zeitraum, z.B.

$$F_{PhO}^B = \frac{\text{Aufwand}}{\text{Nutzen (PhO)}} \geq 1$$

Verbrauchswerte

**dienen der Bewertung von
Maßnahmen zum Betrieb
und zur Optimierung
der Prozesse !!**

Leistungswerte

Betrachtung und Bewertung separater
Prozesszustände

An- bzw. Abfahren von Prozessen,
Teillastverhalten, Überlasten oder
Schwankungen des Regelbetriebes
Bezogen auf Endenergie

$$f_{PhO}^B = \frac{\text{momentaner Aufwand}}{\text{momentaner Nutzen (PhO)}}$$

**Leistungswerte im Betriebszustand
dienen der Optimierung der Prozesse
im Betrieb !!**

Bewertung von Energie- und Stoffeffizienz Methodische Anwendung des Physikalischen Optimum

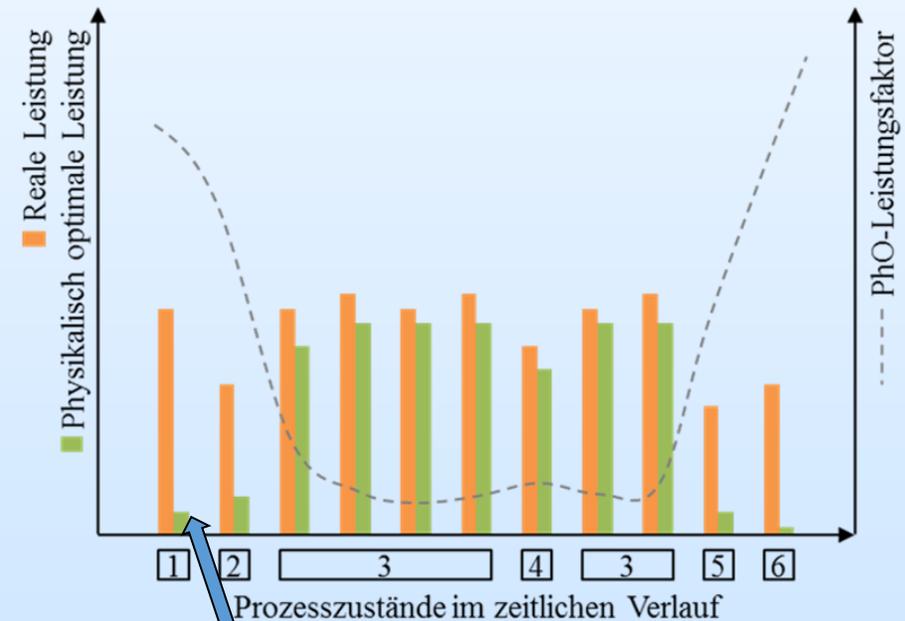
Bewertung und Verbesserung

■ Verbrauchswerte

- Beurteilung der Prozesse über einen Zeitraum
- Bewertung von Maßnahmen

■ Leistungswerte

- Betrachtung und Bewertung separater Prozesszustände (An- bzw. Abfahren von Prozessen, Teillastverhalten, Überlasten oder Schwankungen des Regelbetriebes)
- Steuerung des Prozesses

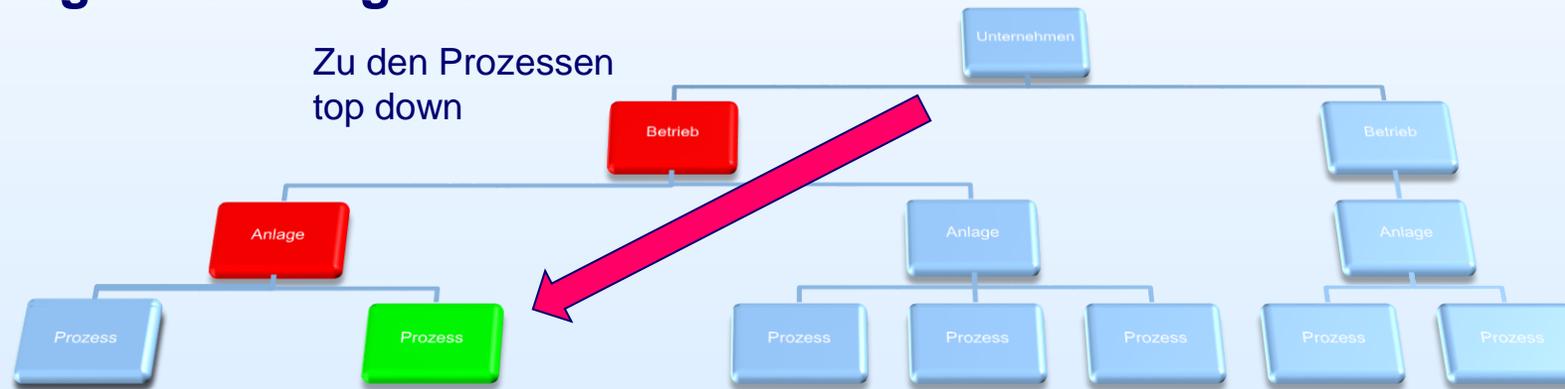


Anfahren
von Anlagen

Bild 7: Leistungswerte für den Energiebedarf

Bewertung von Energie- und Stoffeffizienz Methodische Anwendung des Physikalischen Optimum

Strategisches Vorgehen



Durch Messungen von Energieverbräuchen bestimmen wir die Hauptverbraucher in unserem Unternehmen und bestimmen die **Prozesse** mit den höchsten Energieverbräuchen

In allen Unternehmen werden wir uns langfristig bis zur Bewertung des Energieverbrauches in der **Prozessebene** entwickeln, um dadurch die Gesamtenergie- und Ressourceneffizienz bewerten zu können

Wir beginnen mit den Prozessen die den Haupteinfluss haben



Zur Unternehmenseffizienz bottom up

Erweiterte Pareto-Analyse (Verbrauchswerte)

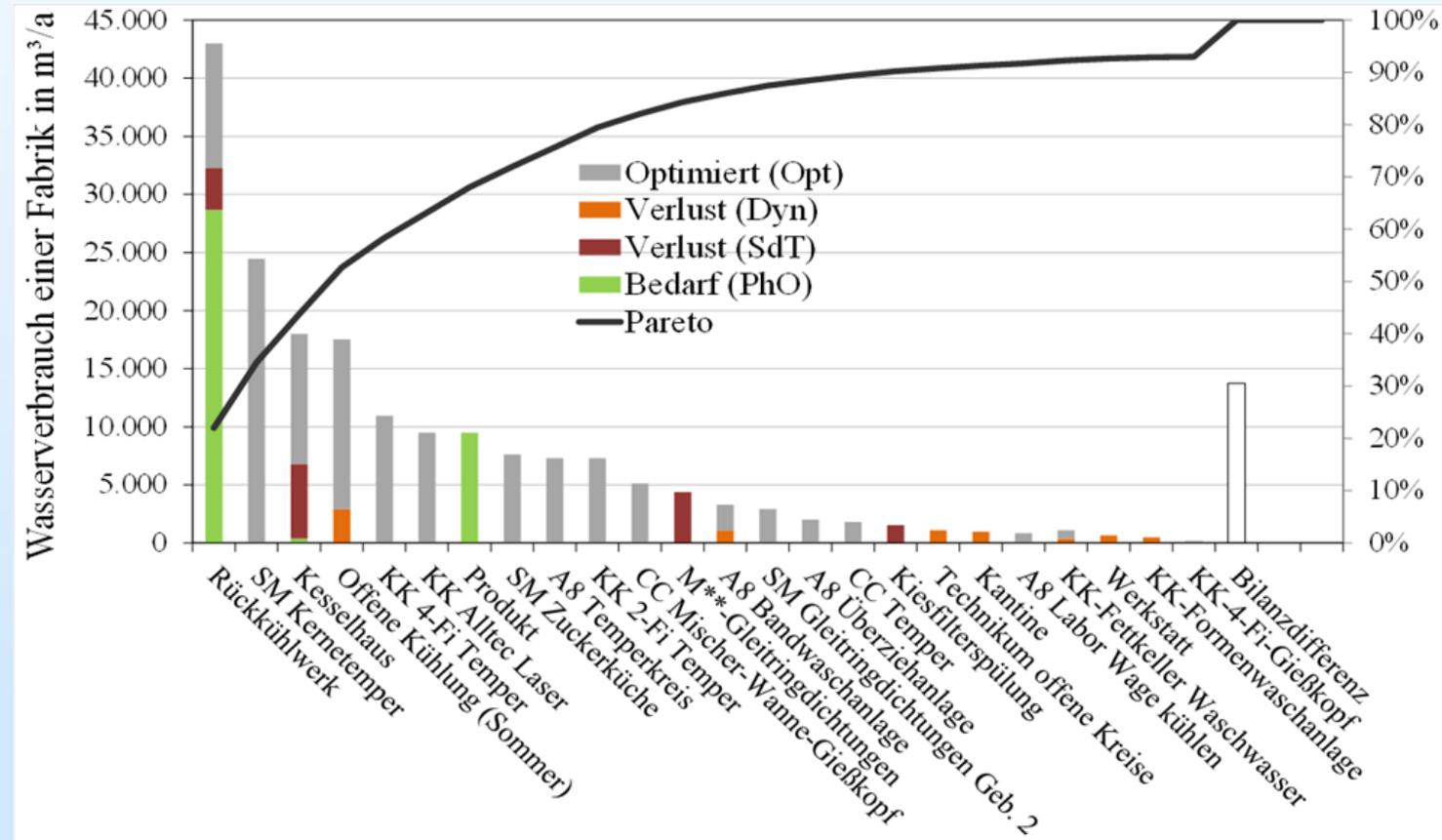


Bild 8: Pareto-Diagramm für den Wasserverbrauch einer Fabrik [Diss. Volta]

Bewertung von Energie- und Stoffeffizienz

Methodische Anwendung des Physikalischen Optimum

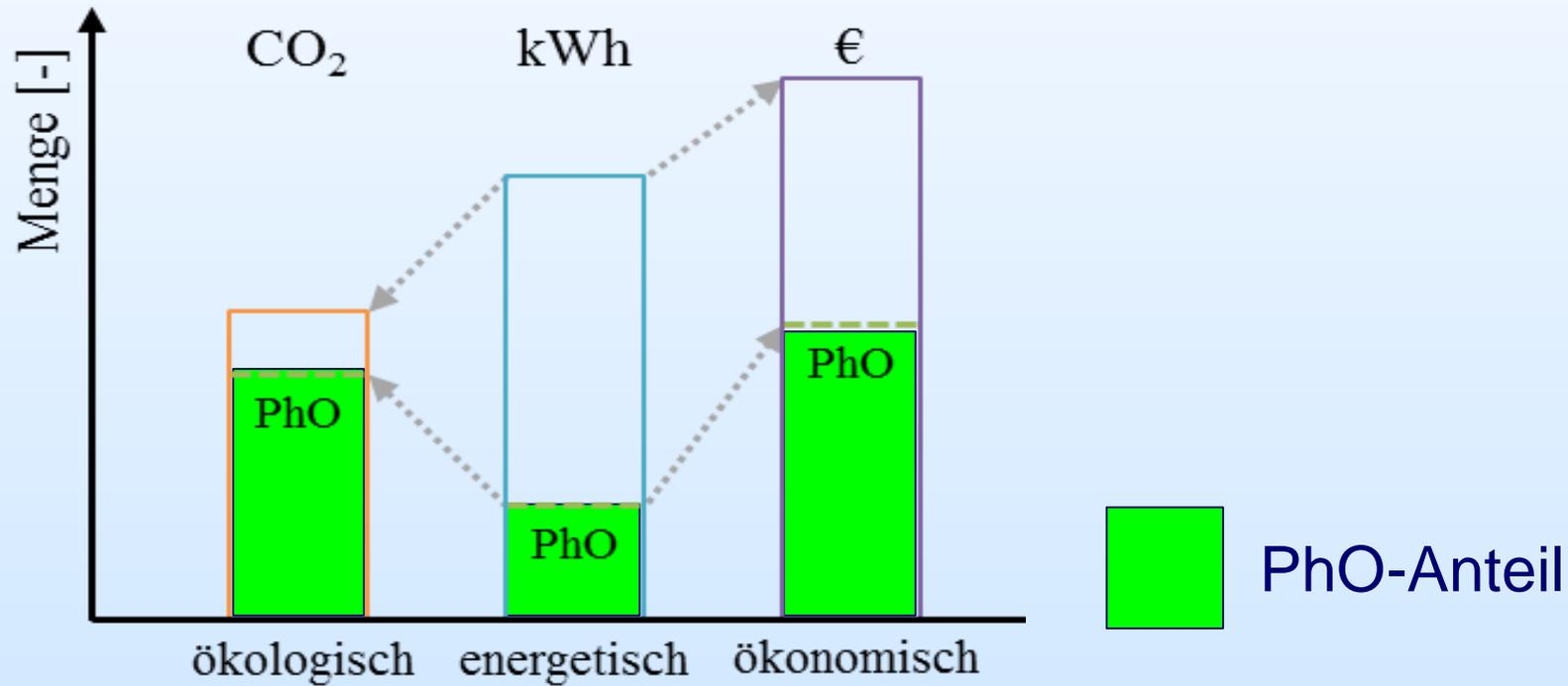
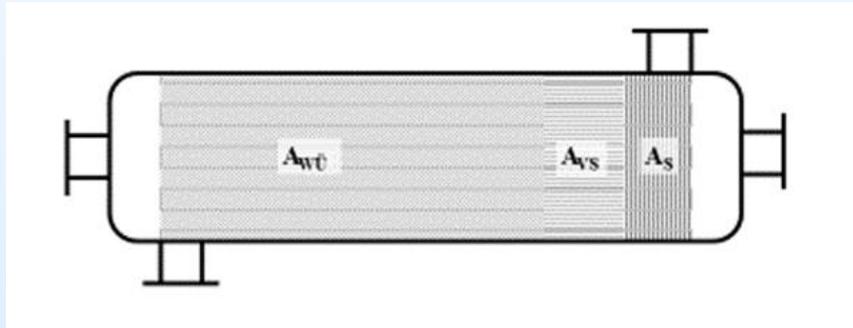
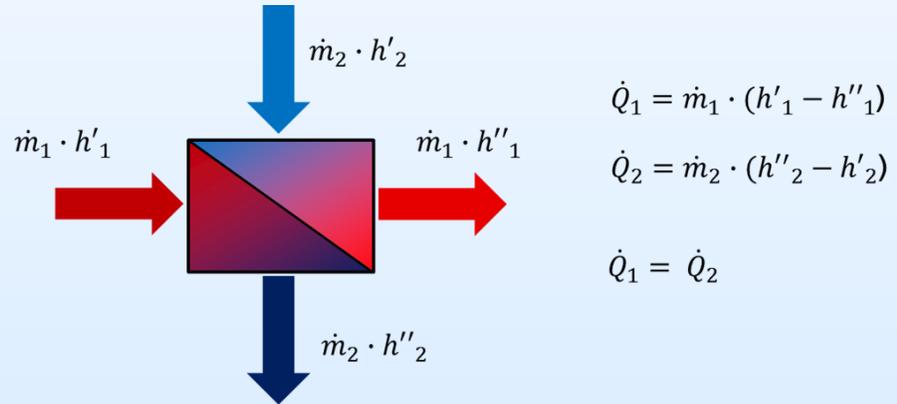


Bild 9: Unterschiedliche Bewertungsverfahren zum Physikalischem Optimum [Diss. Keichel]

Kapazitätsbetrachtung von Prozessen (Transport)



1. erforderliche Übertragerfläche ($A_{WÜ}$)
2. Zuschläge zur Berücksichtigung der Verschmutzung (A_{VS}) und
3. der Unsicherheit (A_S)

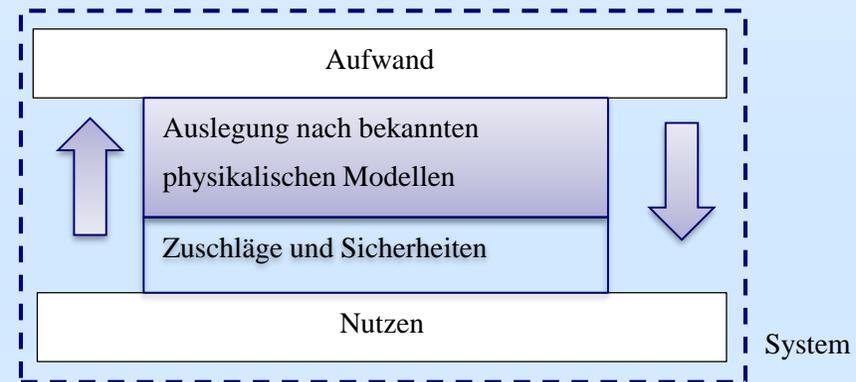


$$\dot{Q}_1 = \dot{m}_1 \cdot (h'_1 - h''_1)$$

$$\dot{Q}_2 = \dot{m}_2 \cdot (h''_2 - h'_2)$$

$$\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2$$

Aus der Bilanz kein Erkenntnisgewinn, deshalb



Bewertung von Energie- und Stoffeffizienz Methodische Anwendung des Physikalischen Optimum

Der Apparat ist bilanziell in der Lage, die gestellte Aufgabe ($\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2$) zu erfüllen.

Im realen Betrieb wird die Übertragungskapazität, begründet durch die reale Fläche ($A_{\text{ges}} = A_{\text{PhO}} + A_{\text{VS}} + A_{\text{S}}$) wirksam.

Es kann mehr Wärme übertragen werden, z.B. im Neuzustand.

Der PhO-Faktor zur Bewertung des Übertragungsverhaltens stellt ein Verhältnis zwischen:

- der **physikalisch möglichen Übertragungskapazität** \dot{Q}_{PhO} und
- der real **genutzten Übertragungskapazität** \dot{Q}_{N} des Apparates her.

Der so gebildete PhO-Faktor $f_{\text{PhO}}^{\text{K}}$ kann maximal 1 (bspw. im Neuzustand) betragen

$$f_{\text{PhO}}^{\text{K}} = \frac{\dot{Q}_{\text{N}}}{\dot{Q}_{\text{PhO}}} \leq 1$$

Bewertung von Energie- und Stoffeffizienz Methodische Anwendung des Physikalischen Optimum

- Zur Bewertung von Prozessen ist ein Prozessmodell mit Bilanzgrenzen erforderlich
- Die Bewertung von Prozessen erfolgt auf der Basis von geeigneten Kennzahlen. Zur Definition der Kennzahlen wird ein Grenzwert genutzt, z.B. das **Physikalische Optimum (PhO)**.
Der Vorteil der Nutzung dieses Modells ist, dass sich die physikalischen Grenzen nicht verschieben.
- Alle bekannten Definitionen von z.B. Wirkungsgraden und Jahresnutzungsgraden lassen sich mit der Methode abbilden.
- Ändern sich die Kennzahlen für den betrachteten Prozess nicht mehr, dann ist das physikalisch-technische Vermögen für diesen Prozess ausgeschöpft; es muss über neue Verfahren und Prozesse für den gleichen Nutzen nachgedacht werden!

Die VDI-Richtlinie VDI 4663 liegt im Gründruck vor

VDI 4663

Bewertung von Energie- und Stoffeffizienz

Methodische Anwendung des Physikalischen Optimum

Anwendung der Methodik im Projekt WIPANO

Anwendung des Entwurfes der VDI 4663 in der Praxis Projektpartner

Unternehmen	Rolle	Organisationstyp
HAW Hamburg	Koordinator	Forschungseinrichtung
Fraunhofer Gesellschaft IFF Magdeburg	Partner	Forschungseinrichtung
Verein Deutscher Ingenieure VDI e.V.	Partner	Gemeinnütziger Verein
CIECH Soda Deutschland GmbH & Co. KG	Partner	Großunternehmen
Tchibo Manufacturing GmbH & Co. KG	Partner	Großunternehmen
HOBUM Oleochemicals GmbH	Partner	KMU
Envidatec GmbH	Partner	KMU
Schott AG	Assoziierter Partner	Großunternehmen

Bewertung von Energie- und Stoffeffizienz Methodische Anwendung des Physikalischen Optimum

Arbeitsgrundlagen für die Methodik

- **Dissertation Anja Paukzstat**
Anlagenspezifische Referenzformeln als Basis für die Allokation von CO₂-Emissionsberechtigungen; RWTH Aachen 2006
- **Dissertation Dirk Volta**
Das Physikalische Optimum als Basis von Systematiken zur Steigerung der Energie- und Stoffeffizienz von Produktionsprozessen; TU Clausthal 2014
- **Dissertation Carsten Keichel**
Methode der grenzwertorientierten Bewertung - Energie- und Ressourceneffizienz von Gesamtbetriebsweisen - ; TU Clausthal 2017
- **Dissertation Nicolei Beckmann**
Wechselwirkungsanalyse zwischen dem Physikalischen Optimum, dem Betriebswirtschaftlichen Optimum und dem Carbon-Footprint-Optimum (PhO-BwO-CFO); TU Clausthal 2017



**Vielen Dank für
Ihre
Aufmerksamkeit**

Quelle: wir-hausbesitzer.de