
Kennzahlengestützte Auswertung automatisierter Energieverbrauchserfassung an Fertigungsmaschinen

Martin Bleider

Smart Energy 2015

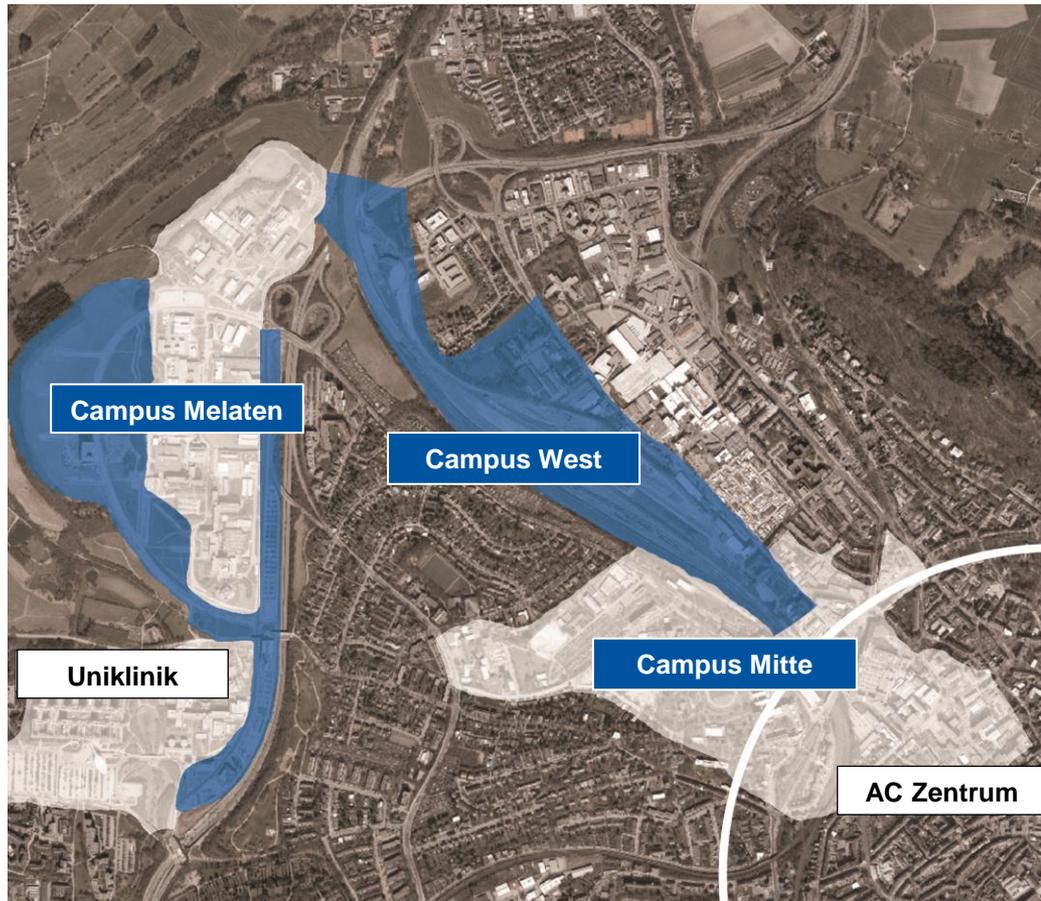
Agenda

- 1 Vorstellung des FIR an der RWTH**
- 2 Motivation zur Energieeffizienz für Industrieunternehmen**
- 3 Systematische Einführung einer Auswertungsmethode**

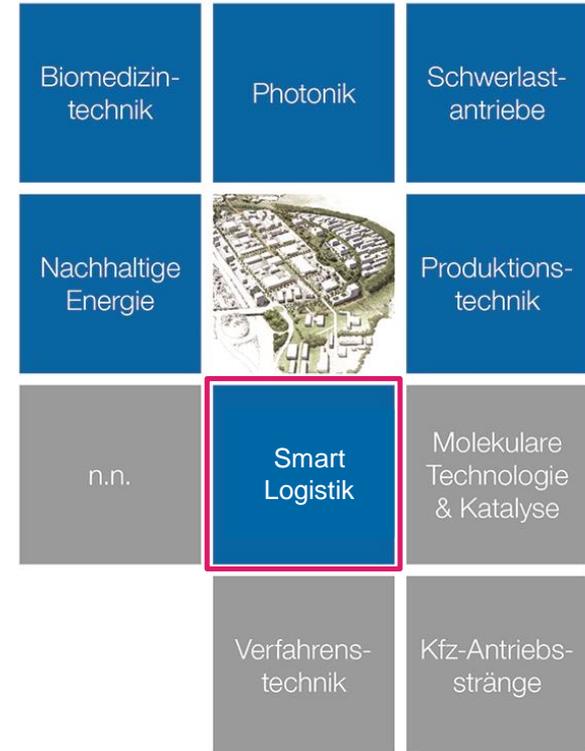
Agenda

- 1** Vorstellung des FIR an der RWTH
- 2** Motivation zur Energieeffizienz für Industrieunternehmen
- 3** Systematische Einführung einer Auswertungsmethode

In Aachen entsteht im Moment eine der größten Forschungslandschaften Europas



□ Existierender Campus ■ Campus-Erweiterung



■ Startcluster
 ■ geplantes Cluster

Das FIR im Netzwerk Aachener Institute

RWTHAACHEN
UNIVERSITY

- Gegründet 1870
- rund 40.000 Studenten
- rund 10.000 Maschinenbaustudenten

Werkzeugmaschinenlabor
(WZL) der RWTH Aachen

WZL
RWTHAACHEN

- 1906 gegründet
- 600 Mitarbeiter
- 160 wissenschaftliche Mitarbeiter

FIR e. V.
an der RWTH Aachen

fir  an der
RWTHAACHEN

- 1953 gegründet
- 130 Mitarbeiter
- 45 wissenschaftliche Mitarbeiter

Fraunhofer-Institut für
Produktionstechnologie (IPT)

 **Fraunhofer**
IPT

- 1980 gegründet
- 340 Mitarbeiter
- 160 wissenschaftliche Mitarbeiter

Organisation des FIR

Das FIR

- jährlich ca. 40 öffentlich geförderte Projekte
- jährlich ca. 60 Projekte mit Industriekunden



Geschäftsführer
Prof. Dr. Volker Stich



Direktorium
Prof. Dr. Achim Kampker



Direktorium
Prof. Dr. Günther Schuh

Unsere Themen

Dienstleistungsmanagement

- Service Engineering
- Lean Services
- Community-Management

Service Science
InnovationLab

Informationsmanagement

- Informationslogistik
- Informationstechnologiemanagement
- IT-Komplexitätsmanagement

Smart Systems
InnovationLab

Produktionsmanagement

- Supply-Chain-Management
- Produktionsregelung
- Produktionsplanung

ERP
InnovationLab

Business-Transformation

- Transformation-Strategy
- Transformation-Design
- Leadership

Competence-Center Instandhaltung

Competence-Center IT

Competence-Center Logistik

Competence-Center Services

Ziel des Cluster Logistik am RWTH Aachen Campus ist die Umsetzung von Industrie 4.0

Zielsetzung

- Konzeption, Umsetzung, Testen und Demonstrieren von innovativen Lösungen für Industrie 4.0 in realer Umgebung

Domänen

- Produktion, Logistik Energie, E-Mobility, industrielle Dienstleistungen und Instandhaltung

Arbeiten mit Partnern vor Ort

- Industrieunternehmen als Anwender
- Anbietern von Software, Service und Technologie
- Forschungseinrichtungen

Gemeinsame Infrastruktur

- InnovationLabs als Inkubatoren für neue Ideen
- Demonstrationsfabrik mit realer Produktion als Herzstück



Agenda

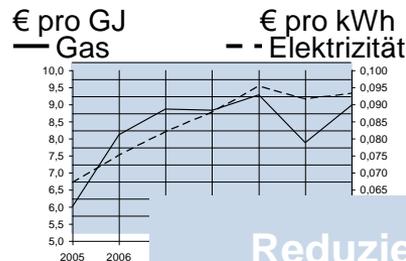
- 1 Vorstellung des FIR an der RWTH
- 2 Motivation zur Energieeffizienz für Industrieunternehmen
- 3 Systematische Einführung einer Auswertungsmethode

Hoher Druck zur Energieverbrauchsreduzierung – Industrie als Großverbraucher gefordert

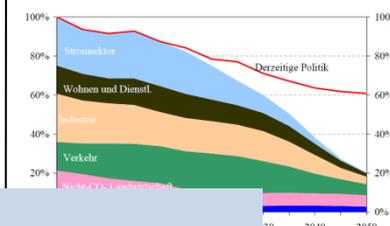
Faktoren zur Reduzierung des Energieverbrauchs in der Industrie

Steigende Energiepreise

- > Ø jährliche Energiepreissteigerung von ca. 5%¹⁾ (Strom) und 4,6%²⁾ (Gas) in den letzten 5 Jahren
- > Weitere Steigerungen bis 2030 zu erwarten³⁾ (aufgrund limitierter Ressourcen)



Druck zur Reduzierung von CO₂-Ausstoß



- > Ziel der Europäischen Kommission zur Reduzierung des CO₂-Ausstoß von 20% bis 2020 und 80% bis 2050⁴⁾
- > Zusätzliche Maßnahmen zur Zielerreichung notwendig

Reduzierung des Energieverbrauchs in der Industrie notwendig



- Industrie
- Transport
- Haushalte
- Sonstige

- > Anteil des Endenergieverbrauchs der Industrie von 25%⁵⁾
- > Ca. 20% des gesamten CO₂ Ausstoß verantwortet die Industrie⁵⁾

Hoher Anteil der Industrie an Energieverbrauch und CO₂ Ausstoß

1) Nettopreis Industriekunden 500 MWh < Verbrauch < 2 000 MWh in Deutschland 2007-2012, Quelle: Eurostat
 3) Quelle: IER, rwi, ZEW; Energieprognose 2009
 5) Innerhalb der EU27 in 2010, Quelle: Eurostat

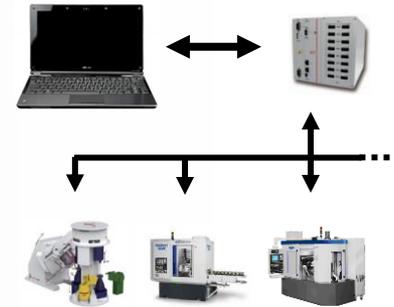
2) Nettopreis Industriekunden 10 000 GJ < Verbrauch < 100 000 GJ in Deutschland 2007-2012, Quelle: Eurostat
 4) Quelle: Europäische Kommission, 2011, Vergleichswert von 1990

Detailliertes Energiemonitoring ermöglicht Einsparungen in vielen Produktionsprozessschritten

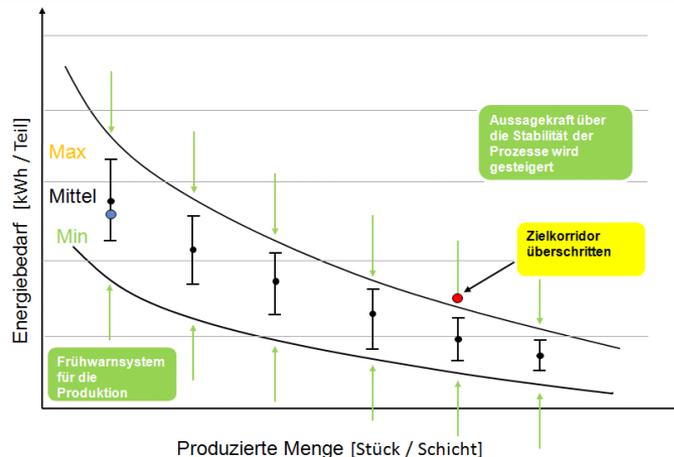
Energiemonitoring als ein Ansatzpunkt zur Verbrauchsreduzierung

Energiemonitoring¹⁾

Als Energiemonitoring wird ein Prozess verstanden, der entweder dauerhaft oder in bestimmten Zeitintervallen Energiebedarfsdaten bzw. energierelevante Daten erhebt und diese an ein zentrales System übermittelt. Das Zeitintervall muss dabei so gewählt werden, dass für das Energiemanagement nötige Daten (wie z. B. Lastspitzen im Stromverbrauch) enthalten sind und diese bei der Erhebung nicht „übersprungen“ werden.

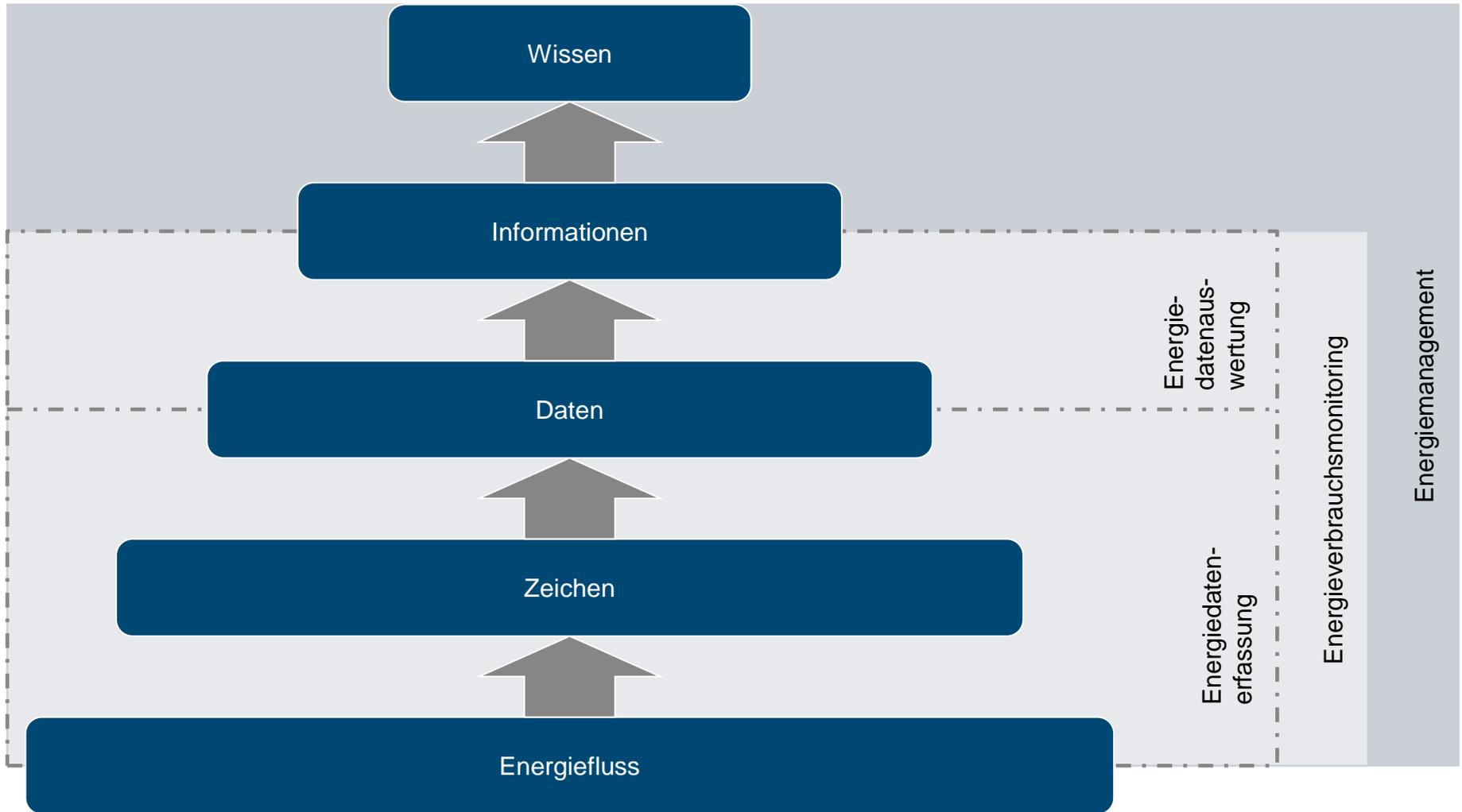


Vision eines Energiemonitoringsystem mit Frühwarnfunktion



- > Produktionszahlen-abhängige Kennwertdarstellung
- > Benachrichtigung bei Abweichung aus Zielkorridor
- > Energieverbrauch in Abhängigkeit der spezifischen Einflussfaktoren

Grundvoraussetzung für Effizienz ist Transparenz über betriebsinterne Energieverbräuche



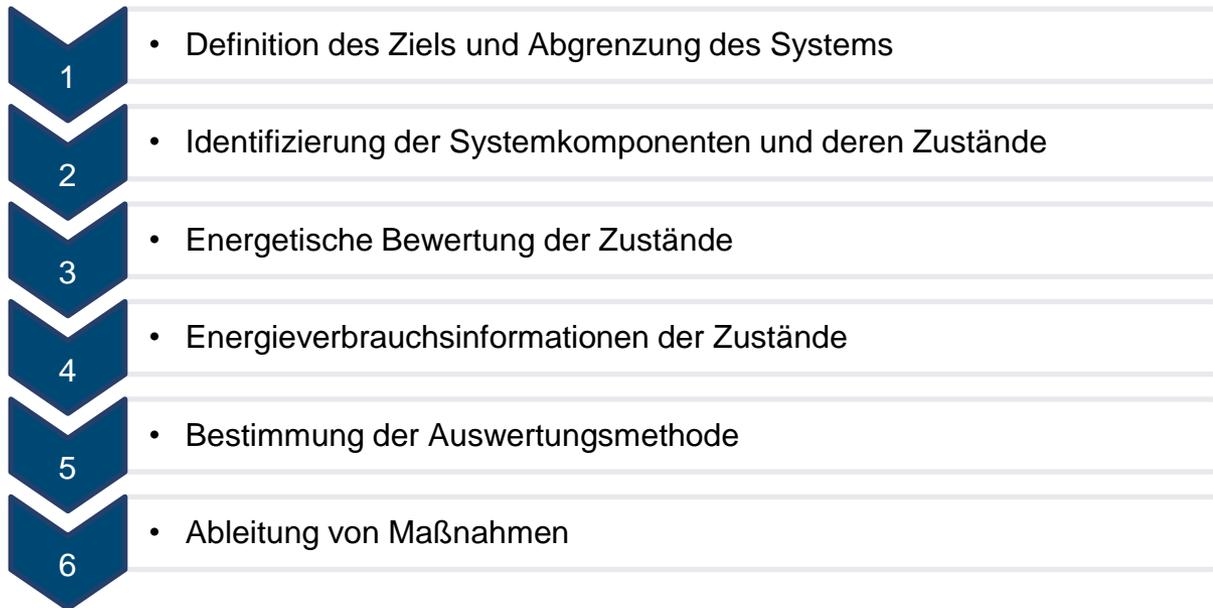
© FIR 2015

- 1) Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (Buschmann, 2013, S. 46; Krcmar, 2005, S. 14; Aamodt & Nygård, 1995, S. 198)

Agenda

- 1** Vorstellung des FIR an der RWTH
- 2** Motivation zur Energieeffizienz für Industrieunternehmen
- 3** Systematische Einführung einer Auswertungsmethode

Prozess zur Entwicklung einer Auswertungsmethode für Energiedaten



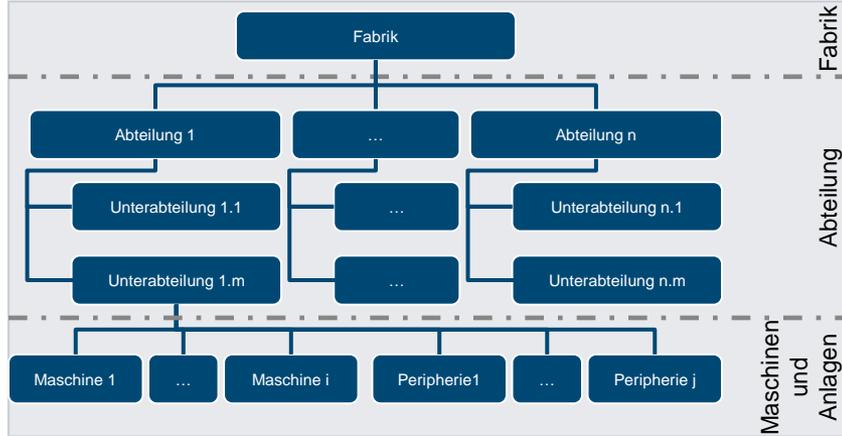
- Prozess stellt ein formales logisches Vorgehen zur Bestimmung einer Auswertungsmethode in diskreten Fertigungsszenarien dar
- 6-schrittiger Prozess in Anlehnung an die Maschinen-zentrische Energieeffizienz Prozedur von Cannata et al.1)

Die Zielauswahl legt den Grundstein für die weitere Bestimmung der Auswahlmethode



- Bei der Zielauswahl kann zwischen technischen und organisatorischen Zielen unterschieden werden
- In diesem Fall wurden organisatorische Ziele zur Erhöhung der Energieeffizienz ausgewählt
- Eine energetische Bewertung der eingesetzten Technologie wird in diesem Fall nicht betrachtet

Nach der Auswahl der Systemkomponenten müssen die zustandsspezifischen Verbrauchswerte bestimmt werden



Beispiele von Maschinenzuständen	Hauptleitung	Maschinensteuerung	Peripherie	Verarbeitungseinheit	Bewegungseinheit	Maschinenachsen
Ausgeschaltet	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Nicht in Bewegung
Standby mit ausgeschalteter Peripherie	Ein	Ein	Aus	Aus	Aus	Nicht in Bewegung
Standby mit eingeschalteter Peripherie	Ein	Ein	Ein	Aus	Aus	Nicht in Bewegung
Produktionsbereit	Ein	Ein	Ein ⁴⁰	Bereit	Bereit	Nicht in Bewegung
Warmlauf	Ein	Ein	Ein ⁴⁰	Ein, keine Bearbeitung	Ein	In Bewegung
Produktion	Ein	Ein	Ein ⁴⁰	Ein, Bearbeitung	Ein	In Bewegung

Maschinenzustand	M1	M2	...	Mn
Ausgeschaltet				
Standby mit ausgeschalteter Peripherie				
Standby mit eingeschalteter Peripherie				
Produktionsbereit				
Warmlauf				
Produktion				

Maschinenzustand	Energetische Bewertung
Ausgeschaltet	Effizient
Standby mit ausgeschalteter Peripherie	Ineffizient-vermeidbar
Standby mit eingeschalteter Peripherie	Ineffizient-vermeidbar
Produktionsbereit	Ineffizient-vermeidbar
Warmlauf	Ineffizient-notwendig
Produktion	Effizient

1) „Ein“ für Peripherie kann auch den Status „aktiviert“ bedeuten, da der Einsatz von Peripherie teilweise von weiteren Faktoren abhängig ist, bspw. ist der Einsatz der Kühlung von der Umgebungstemperatur abhängig.

Ein Kennzahlenkatalog gibt Übersicht über 14 Kennzahlen aus relevanten Literaturquellen

Name der Kennzahl	Quelle
Direkter Energieverbrauch pro produzierte Einheit	VDMA 66412-4, Schieferdecker (2006), Bogdanski (2012), VDI 4661
Direkter Nettoenergieverbrauch pro produzierte Einheit	VDMA 66412-4, Schieferdecker (2006), Bogdanski (2012)
Energiestückkosten	Meß (2011)
Energiekostenanteil	Bogdanski (2012)
Energieeffektivität	VDMA 66412-4
Nettoenergieeffektivität	VDMA 66412-4
Energienutzungsgrad	Kleinjans (2012)
Wirkungsgrad/Energieleistungsgrad	Schieferdecker (2006), Cremer (2013), Bogdanski (2012), VDI 4661, Kleinjans (2012)
Exergetischer Wirkungsgrad	Cremer (2013)
Effizienzgrad	Lickefett (2009), Haag (2013)
Betriebswirtschaftliche Energieeffizienz	Meß (2011)
Energiequalitätsrate	Kleinjans (2012)
Direkter geplanter Energieverbrauch pro Fertigungsauftrag	VDMA 66412-4
CO ₂ Intensivität	Bogdanski (2012)

- Die Literaturrecherche ergab 14 relevante Kennzahlen
- Als Quellen wurden wissenschaftliche Paper, Praxis-Handbücher, VDI und VDMA Richtlinien untersucht
- Im Kennzahlenkatalog sind sowohl Energieverbrauchsorientierte als auch monetäre und Emissionsorientierte Kennzahlen inbegriffen

Bewertung anhand 9 verschiedener Kriterien identifiziert die primär zu verwendende Kennzahl: ENG

Allgemeine Angaben	Bewertung									Ergebnis	
	Reproduzierbarkeit, Vergleichbarkeit	Datenerfassung, Messaufwand, Angemessenheit	Aussagefähigkeit	Validität	Wesentlich/eindeutig	Allgemeingültigkeit		Beeinflussbarkeit			
						Anwendbarkeit für Zeitvergleiche	Anwendbarkeit für Quervergleich	durch Technologie	durch Bedienerverhalten		
Name der Kennzahl										Eignung der Kennzahl	
Direkter Energieverbrauch pro produzierte Einheit	●	◐	●	◐	●	●	●	●	●	◐	
Direkter Nettoenergieverbrauch pro produzierte Einheit	●	◐	●	●	●	●	◐	●	●	◐	
Energiestückkosten	●	◐	◐	◐	●	●	●	●	●	◐	
Energiekostenanteil	●	◐	◐	◐	●	●	◐	●	●	◐	
Energieeffektivität	●	◐	●	●	◐	●	◐	◐	●	●	
Nettoenergieeffektivität	●	◐	●	●	◐	●	◐	◐	●	●	
Energienutzungsgrad	●	●	●	●	●	●	●	◐	●	●	
Wirkungsgrad/ Energieleistungsgrad	●	◐	●	◐	●	●	●	●	○	○	
Exergetischer Wirkungsgrad	●	◐	●	◐	◐	●	●	●	○	○	
Effizienzgrad	●	●	●	●	◐	●	◐	◐	●	◐	
Betriebswirtschaftliche Energieeffizienz	●	◐	◐	◐	◐	●	◐	◐	◐	◐	
Energiequalitätsrate	●	◐	◐	◐	●	●	●	◐	◐	◐	
Direkter geplanter Energieverbrauch pro Fertigungsauftrag	●	◐	◐	◐	◐	●	◐	◐	◐	◐	
CO2 Intensivität	●	◐	◐	◐	●	●	◐	●	●	◐	
Bewertungsschema:	○	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	
	○	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	

Der Energienutzungsgrad schafft Transparenz über die energieeffiziente Betriebsweise der Maschine

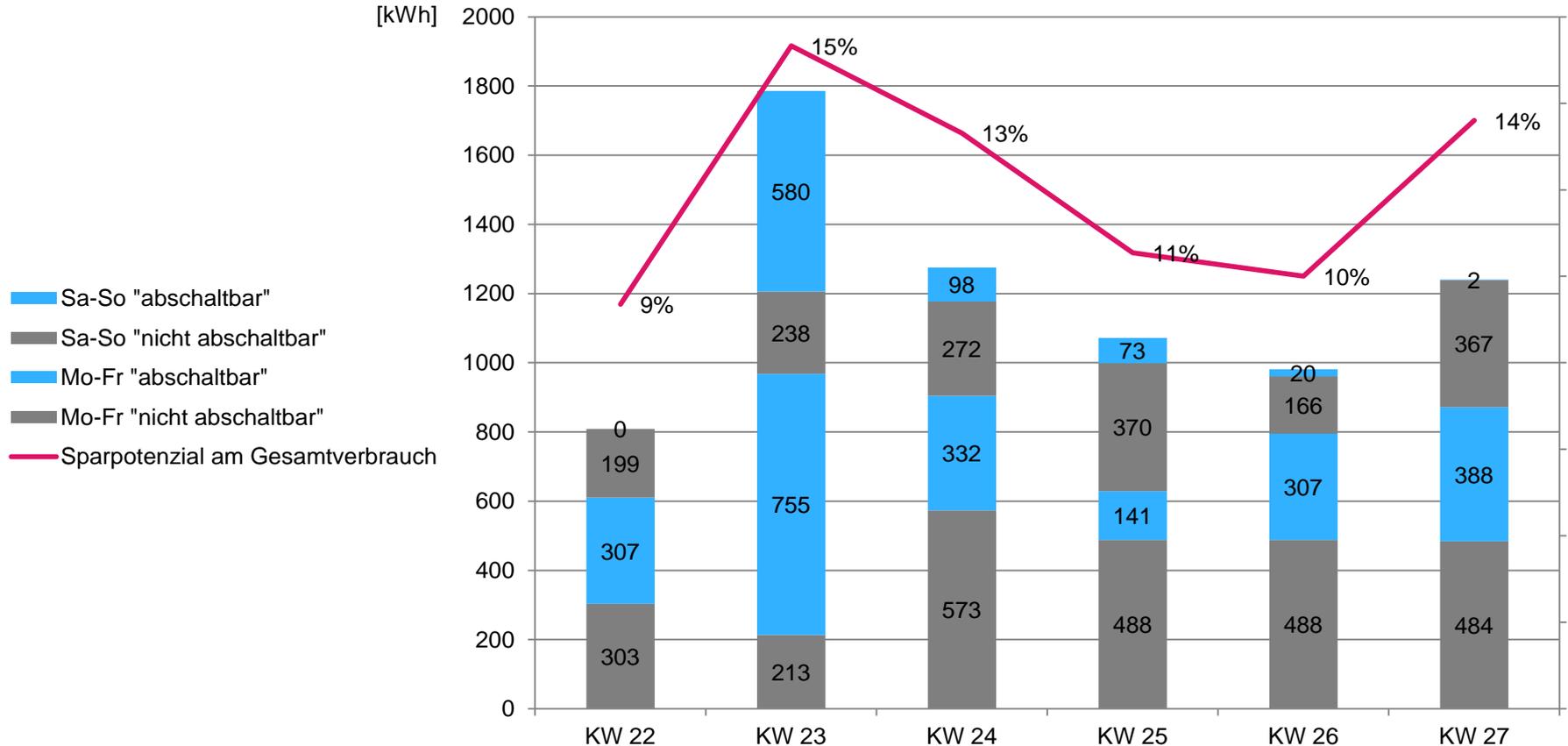
Beschreibung der Kennzahl Energienutzungsgrad

$$\text{ENG}[\%]= \left(\frac{\text{Energieverbrauch in energieeffizienten Maschinenzuständen}}{\text{Energieverbrauch Gesamt}} \right) * 100$$

- > Relation des Energieverbrauchs in produktiven Maschinenzuständen zu dem Gesamtverbrauch innerhalb eines bestimmten Zeitraums
- > Darstellung der energetischen Ausnutzung der Maschine
- > Zeitlicher Verlauf der Kennzahl lässt Rückschlüsse auf organisatorische Maßnahmen zur Verbesserung der Energienutzung als auch auf technische Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs in nicht-produktiven Maschinenzuständen zu
- > Quervergleiche zwischen Maschinen und/oder Kostenstellen ermöglichen die Identifizierung von best/worst practices
- > Teil des Kennzahlensystems Energy Efficiency of Equipment (EEE), das Energieeffizienz anhand von drei Teilkennzahlen aus technologischer, organisatorischer und qualitativer Sicht betrachtet

Aus der Implementierung von Energiemonitoring und einfachen Abschaltregularien lassen sich bereits Einsparpotenziale heben

Ø Sparpotenzial pro Maschinen „nicht abschaltbar“	126 kWh	113 kWh	211 kWh	215 kWh	164 kWh	213 kWh
Ø Sparpotenzial pro Maschinen „abschaltbar“	44 kWh	191 kWh	72 kWh	31 kWh	47 kWh	56 kWh



Anzahl Maschinen „nicht abschaltbar“	4	4	4	4	4	4
Anzahl Maschinen „abschaltbar“	7	7	6	7	7	7

Welche Fragen haben Sie?

www.fir.rwth-aachen.de


Campus-Boulevard 55 · 52074 Aachen · Germany

Martin Bleider, M. Sc.
Informationsmanagement

Telefon: +49 (0)241 477 05-522
Fax: +49 (0)241 477 05-199
Mobil: +49 (0)163 8412 37 2
E-Mail: Martin.Bleider@fir.rwth-aachen.de