

---

# ENERGIEEFFIZIENZPOTENZIALE IN DER PLANUNG ERGEBNISSE AUS DREI SÄCHSISCHEN BRANCHEN

---

Dresden, 1. Februar 2019

Dr.-Ing. Andreas Schlegel, Fraunhofer IWU Chemnitz



# Die Fraunhofer-Gesellschaft Auf einen Blick

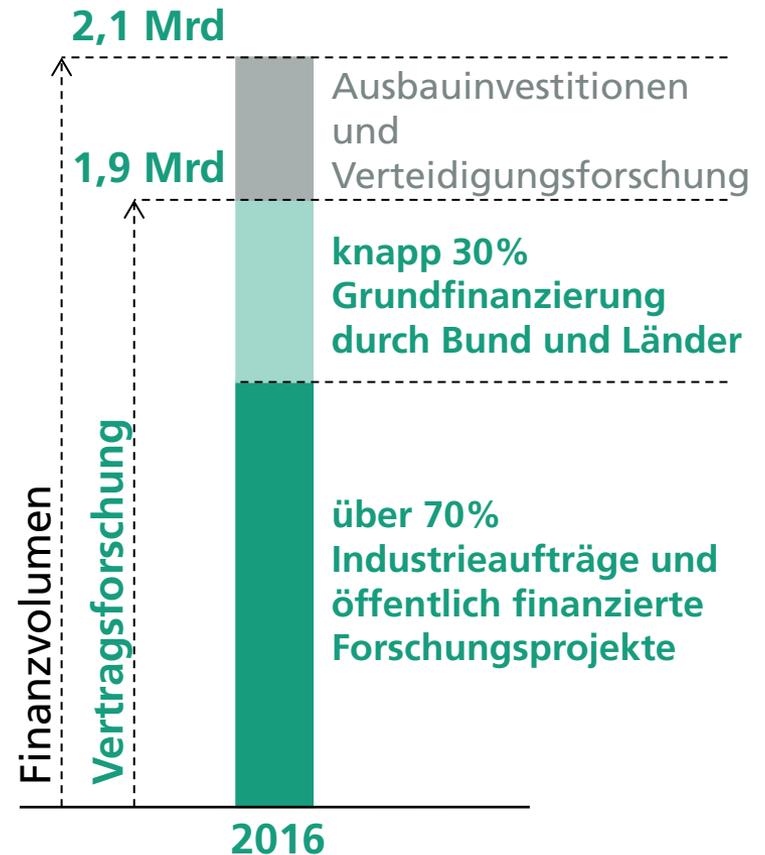
Anwendungsorientierte Forschung zum unmittelbaren Nutzen für die  
Wirtschaft und zum Vorteil für die Gesellschaft



**24 500**  
Mitarbeiterinnen  
und Mitarbeiter



**69** Institute und  
Forschungseinrichtungen



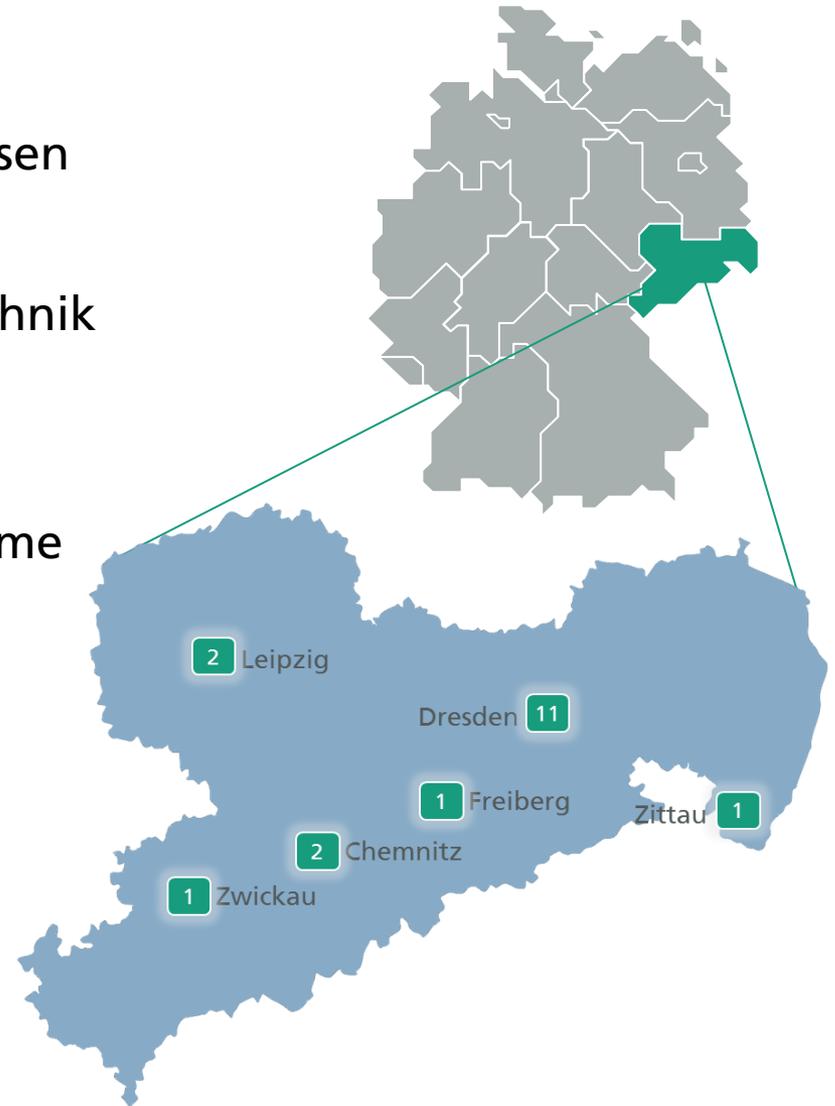
# Die Fraunhofer-Gesellschaft

## Forschungsfelder



# Die Fraunhofer-Gesellschaft in Sachsen

- 18 Fraunhofer Einrichtungen in Sachsen
- Forschungsbereiche u.a.:
  - Elektronenstrahl- und Plasmatechnik
  - Fertigungstechnik
  - Mikro- und Nanosysteme
  - Umformtechnik
  - Verkehrs- und Infrastruktursysteme
  - Verpackungstechnik
  - Werkstoffe und Oberflächen
  - Werkzeugmaschinen
  - Zelltherapie und Immunologie
  - Zerstörungsfreie Prüfverfahren
  - Optische Messtechnik



# Das Fraunhofer IWU im Profil

## Forschung unter dem Leitthema »Ressourceneffiziente Produktion«

- Gründung am 1. Juli 1991
- Aktuell ca. 530 MitarbeiterInnen
- Ca. 40 Mio Euro Forschungsvolumen
- Standorte: Chemnitz (Hauptsitz)  
Dresden, Zittau, Wolfsburg
- 3 Wissenschaftsbereiche:



Mechatronik und  
Funktionsleichtbau



Umformtechnik



Werkzeugmaschinen,  
Produktionssysteme  
und Zerspanungstechnik



# Das Fraunhofer IWU im Profil

## Kompetenzen von A bis Z

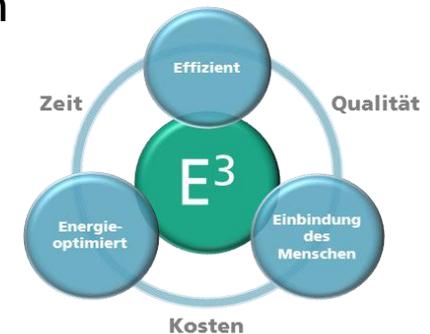
Automatisierung	Blechumformung	Generative Fertigungsverfahren	Industrie 4.0
Kennwertermittlung und Werkstoffcharakterisierung	Leichtbau	Massivumformung	Mechatronik und Adaptronik
Medizintechnik	Mikro- und Präzisionsfertigung		
Montagetechnik und Robotik	Produktionsmanagement		
Prozessketten	Simulation	Spanen und Abtragen	Technische Akustik
Thermisches und mechanisches Fügen	Virtuelle und Erweiterte Realität	Werkzeugmaschine	Werkzeug- und Formenbau

# IWU-Strategie »Ressourceneffiziente Produktion«

## Fraunhofer-Leitprojekt E<sup>3</sup>-Produktion

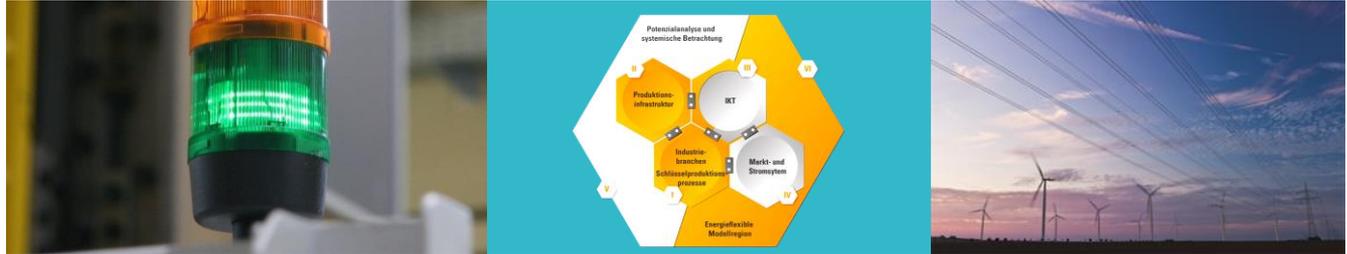


- **Ziel:** Ganzheitliche Forschung und Entwicklung für die Zukunft des Produktionsstandortes Deutschland
- Fokus auf »maximaler Wertschöpfung bei minimalem Ressourceneinsatz«
- Setzt drei Grundelemente **E**ffiziente Technologie, **E**nergieoptimierte Fabrik und die Einbindung des **E**rfolgsgaranten Mensch in einen synergetischen Kontext
- Projektpartner: 12 Fraunhofer-Institute
- Gesamtbudget: ca. 9 Mio Euro
- Projektleitung: Fraunhofer IWU



# Das Fraunhofer IWU

## Ausrichtung von Industrieprozessen auf fluktuierende Energieversorgung



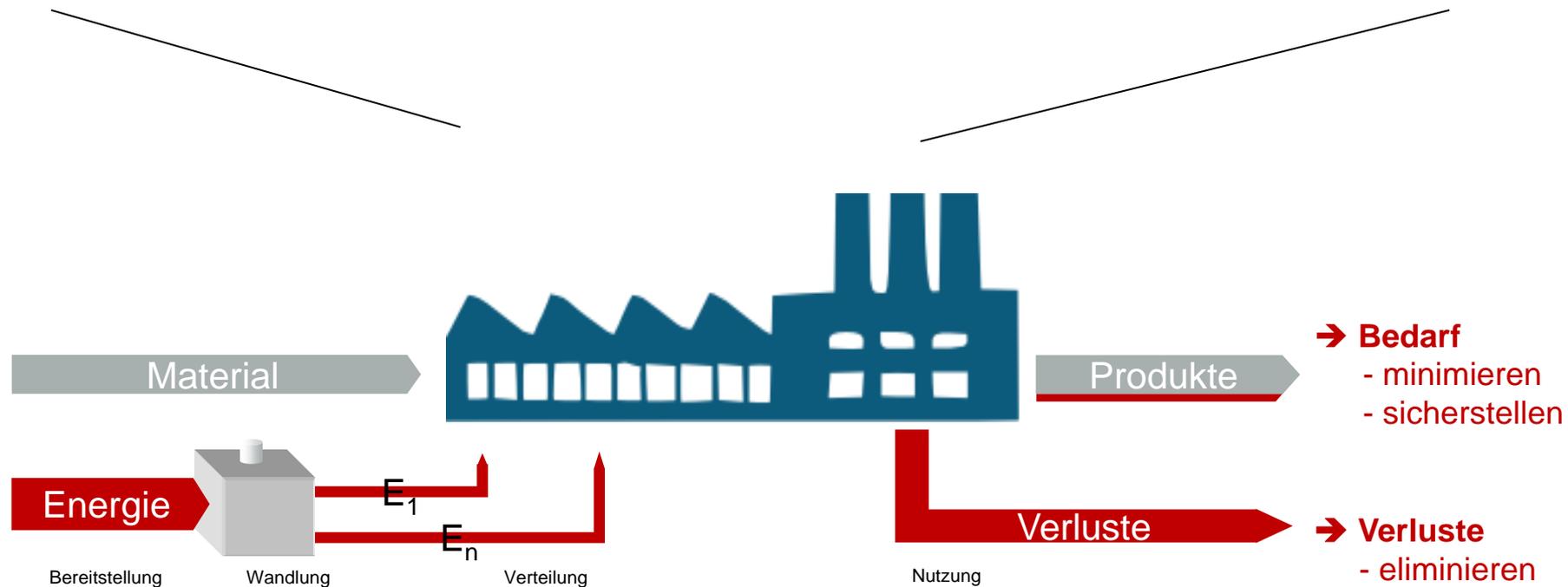
- **Ziel:** Entwicklung technischer und wirtschaftlicher Lösungen für den Umbau des Energiesystems
- Fraunhofer IWU verantwortet die Thematik: Energieflexibilisierung im Maschinen- und Anlagenbau
- Entwicklung von Lösungen zur Umsetzung eines synchronisierten Energiemanagements unter der Berücksichtigung der Spezifik des Maschinen- und Anlagenbaus
- 1. Projektzeitraum: 2016 bis 2019
- 52 geförderte Partner, 47 assoziierte Partner

# Energie- und ressourceneffiziente Produktion

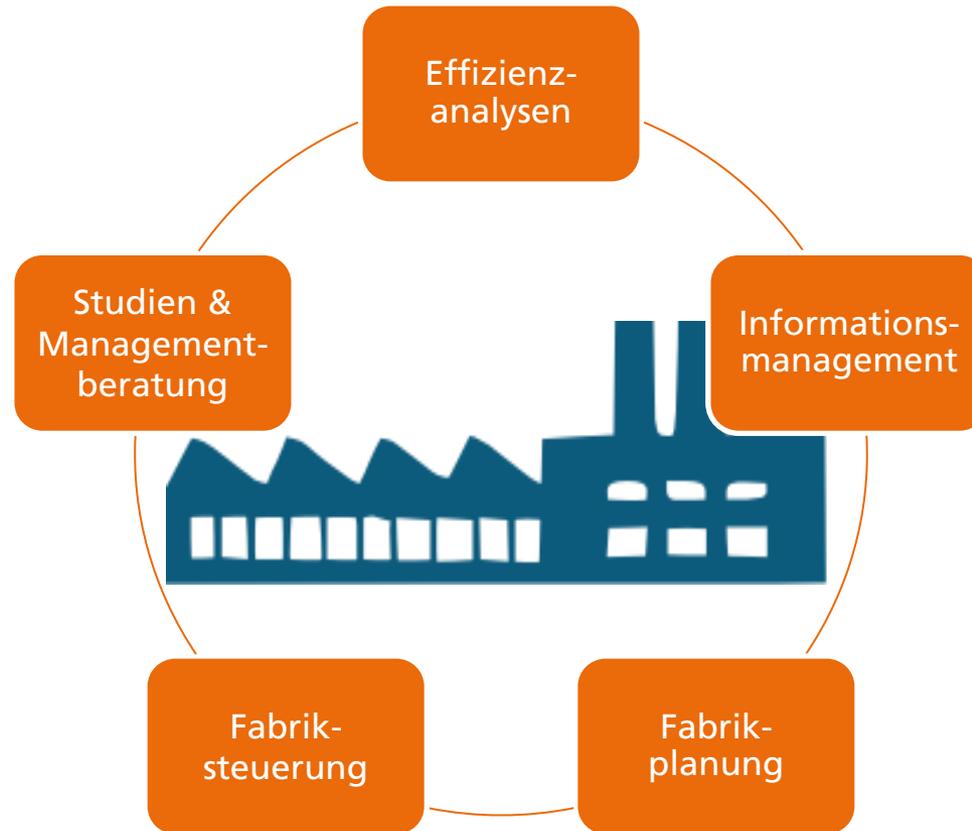
**Energiekosten**

**Versorgungssicherheit**

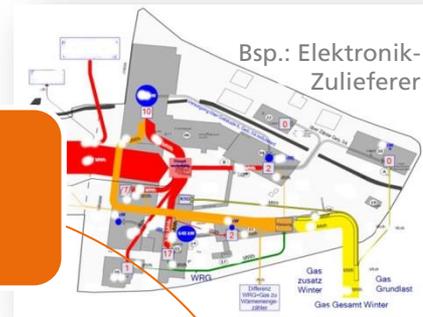
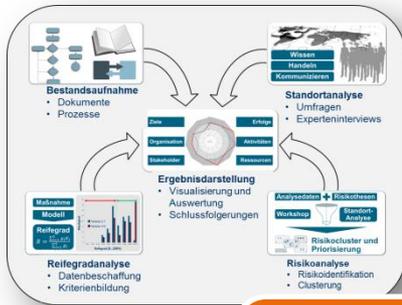
**Klima / Umwelt**



# Energie- und ressourceneffiziente Produktion



# Energie- und ressourceneffiziente Produktion



Effizienz-  
analysen

Studien &  
Management-  
beratung

Informations-  
management

**Energy review**

- Energetische Bestandsaufnahme
- Auswertung von Energiebezugsmengen und Kosten auf Unternehmensebene
- Erfassung von Energieverbräuchen auf Bereichs-, Abschnitts- und Anlagenebene
- Analyse vorhandener Energieverbräuche
- Aufzeigen der Einsparungspotenziale
- Erste Ansätze für Verbesserungen

**Energy Data Management**

Das permanente Monitoring des Energiebedarfs zeigt Ihren Fortschritt auf dem Weg zur energieeffizienten Produktion auf. Potenziale werden frühzeitig erkannt, Energieverluste aufgrund technischer Probleme und instabiler Prozess können so schneller behoben werden.

**Unsere Leistungen:**

- IT- und Messkonzepte für Energiedaten
- Energiebezogene Kennzahlensysteme

**Energy efficiency coaching**

Wir unterstützen bei Auswahl, Umsetzung und Erfolgskontrolle der Maßnahmen - alle Entscheidungen über Zeiträume und Schwerpunkte treffen Sie und Ihr Team.

**Unser Angebot:**

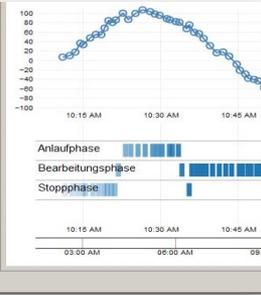
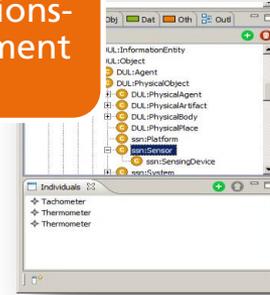
- Fachlicher Input zur Vor- und Nachbereitung
- Moderation der Teamtreffen
- Beratung zur Maßnahmenumsetzung
- Neutrale Erfolgskontrolle

**Energy Management System**

Wir unterstützen Sie bei der Einführung eines EnMS auch über die technische Erfassung und Optimierung hinaus.

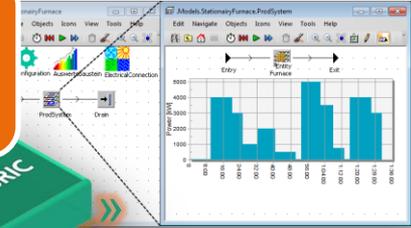
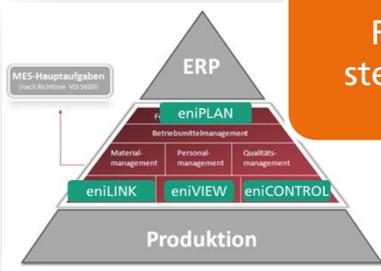
**Unsere Mitwirkung:**

- Energiepolitik und EMS-Programm
- organisatorische Verankerung in Planung, Einkauf, Steuerung etc.
- Vorbereitung/Moderation von Schulungen für Manager, Ex-Beauftragte, Mitarbeiter



Fabrik-  
steuerung

Fabrik-  
planung



# Energie- / Ressourceneffiziente Produktion

## E<sup>3</sup>-Forschungsfabrik



---

# ENERGIEEFFIZIENZPOTENZIALE IN DER PLANUNG ERGEBNISSE AUS DREI SÄCHSISCHEN BRANCHEN

---



# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

## Beitrag des BImSchG

Durch das Bundes-Immissionsschutzgesetz als Genehmigungsrecht für Industrie- und Gewerbeanlagen sollen **schädliche Umwelteinwirkungen** durch Emissionen in Luft, Wasser und Boden unter Einbeziehung der Abfallwirtschaft **vermieden** und **vermindert** werden.

Das **Genehmigungsverfahren** nach BImSchG ist dabei ein sehr **anspruchsvolles** Verfahren, weil darin **sämtliche Umweltauswirkungen** einer **Anlage** berücksichtigt und gewürdigt werden müssen. So stellt es als ein Kontrollorgan die Erreichung der energiepolitischen Ziele sicher:

§2 Abs. Nr.1 Satz 1

- die Errichtung und der Betrieb von Anlagen ist **genehmigungsbedürftig**

§3 Abs. Nr. 6

- Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen sollen dem **Stand der Technik** entsprechen und auf die Vermeidung / Verminderung von Auswirkungen auf die Umwelt einwirken (BVT)

§5 Abs. 1 Nr. 4

- Pflicht der Betreiber ist die Errichtung (und der Betrieb) der Anlagen so, dass zur Gewährleistung eines hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt **Energie sparsam** und **effizient verwendet** wird

# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

## Untersuchungsauftrag

### Ziel:

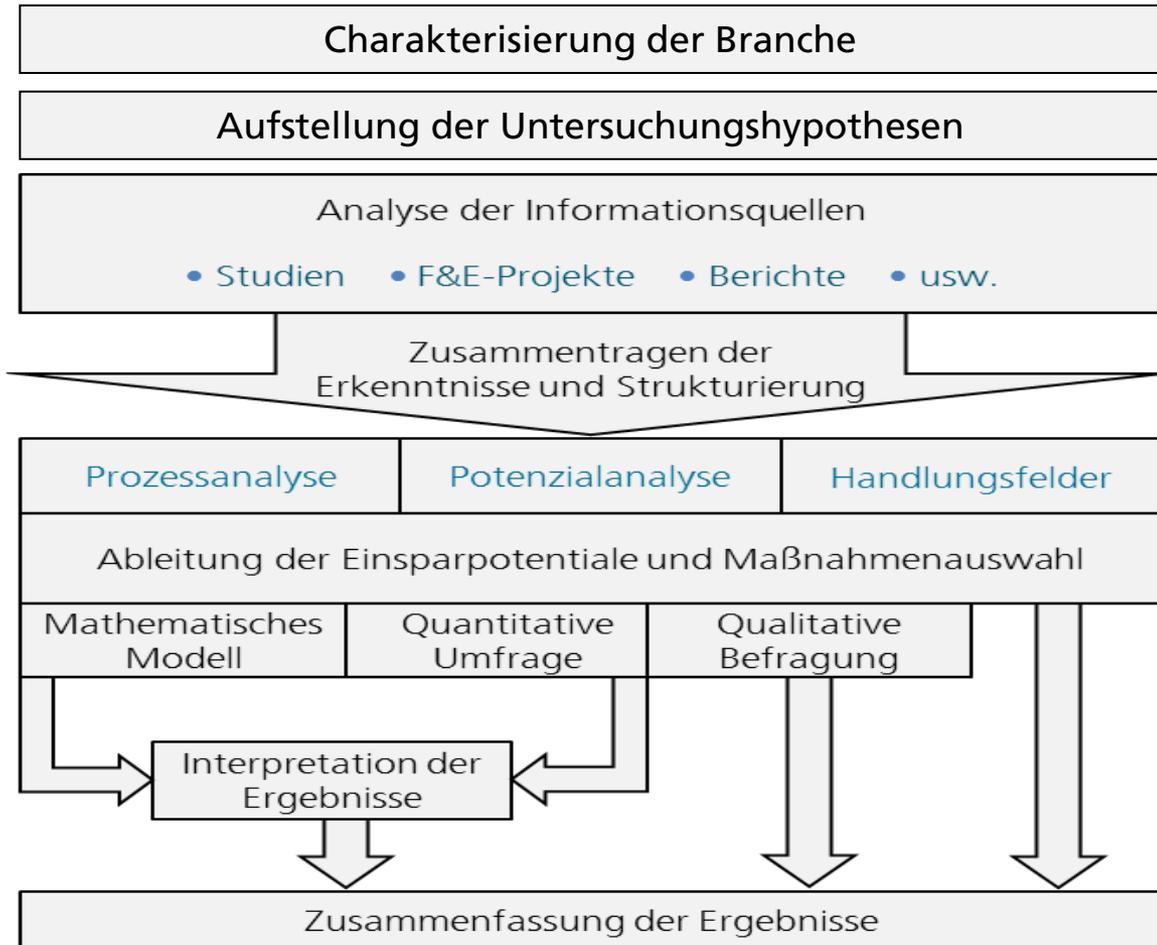
- **Aufzeigen planungs- und betriebsbezogener Energieeffizienzreserven** im Hinblick auf den angestrebten bundeseinheitlichen Vollzug des §5 Abs.1 Nr. 4 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG).

### Auftrag:

- Erarbeitung einer **fundierte Schätzung** zu **Energieeffizienzpotentialen**, die typischerweise in der **Planungsphase** industrieller **Anlagen** erschließbar sind.
  - diese **Potentiale** sind **in Relation zu** den Möglichkeiten zu sehen, die auch im **laufenden Betrieb** erschlossen werden können
  - die Untersetzung soll anhand **exemplarischer Branchen** erfolgen
- Erkenntnisse sollen exemplarisch zeigen, **in welchem Maße** und **wie** der Aspekt „**Energieeffizienz**“ bei der Planung genehmigungspflichtiger Industrieanlagen berücksichtigt werden kann

# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

## Branchenneutraler Forschungsansatz



# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

## Untersuchte Branchen

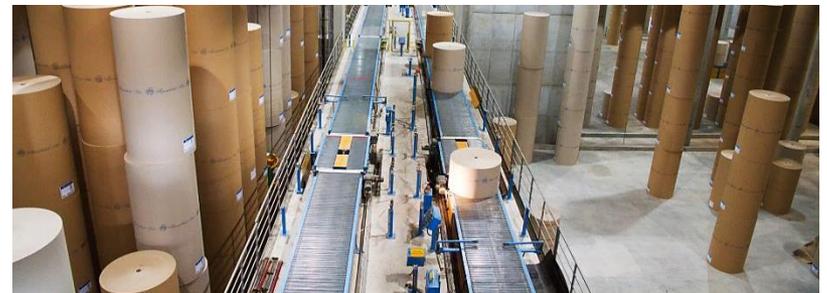
■ Gießerei-Industrie



■ Brauereien



■ Papierherstellung



# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

## Charakteristik der Branchen

1. Relevanz (energetisch, wirtschaftlich, D, Sachsen)
2. Wirtschaftliche Rahmenbedingungen
3. Prinzipieller Aufbau, Referenzprozesse
4. Energie-, Material- und Medienflüsse
5. Beste verfügbare Techniken

# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

## Charakteristik der Branchen

Gießerei	Brauerei	Papier
<p>Gießereiprozesse zählen mit zu den energieintensivsten Prozessen.</p> <p>hohe regionale Bedeutung (S)</p> <p>Energiekostenanteil &gt; 25% der Bruttowertschöpfung</p> <p>großer möglicher Beitrag der Branche am Erreichen der Klimaschutz-Ziele (F5)</p> <p>hohe Anforderungen an Unternehmen in Anbetracht der Energie- und Materialpreise sowie Klimaschutz-Forderungen</p>	<p>Energieverbrauch ist Faktor für Wettbewerbsfähigkeit: Ø Anteil der Energiekosten an Produktionskosten ca. 5-10 %</p> <p>Anstieg der Löhne um 30 %</p> <p>Sparsame Energieverwendung ist enormer Wettbewerbsvorteil, denn für eine Flasche Bier müssen ca. 0,15 kWh eingesetzt werden</p> <p>Nachhaltiges Wirtschaften beinhaltet sparsamen Einsatz der Ressourcen und wirkt damit unmittelbar positiv auf den Umweltschutz</p>	<p>Sparsame Energieverwendung ist ein Wettbewerbsvorteil: 9 % Energieverbrauch im verarbeitenden Gewerbe</p> <p>Ca. 60% vom Gesamtenergiebedarf aus erneuerbaren Quellen: Holzreststoffe, Faserreste, Klärschlämme</p> <p>12% Anteil an Herstellkosten; 3-6 kWh / kg Primärfasern vs. 1-3 kWh / kg Recyclingpapier</p> <p>Hoher Wasserverbrauch für Papier aus Holzstoff: ca. 250 l / kg Papier</p>

# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

## Charakteristik der Branchen: Gießereien

### Relevanz für Deutschland:

- 13 Mrd. Euro Umsatz pro Jahr; D produziert 35% aller in Europa gegossenen Produkte
- 600 Gießereien mit ca. 80.000 Mitarbeitern, vorw. KMU (32% < 50 MA, 94% < 500 MA)
- Gesamtenergieverbrauch ca. 10.450 GWh/a



### Relevanz für Sachsen:

- ca. 1 Mrd. Euro Umsatz pro Jahr
- 44 Gießereien, Jahresproduktion 393 T Tonnen Guss

# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

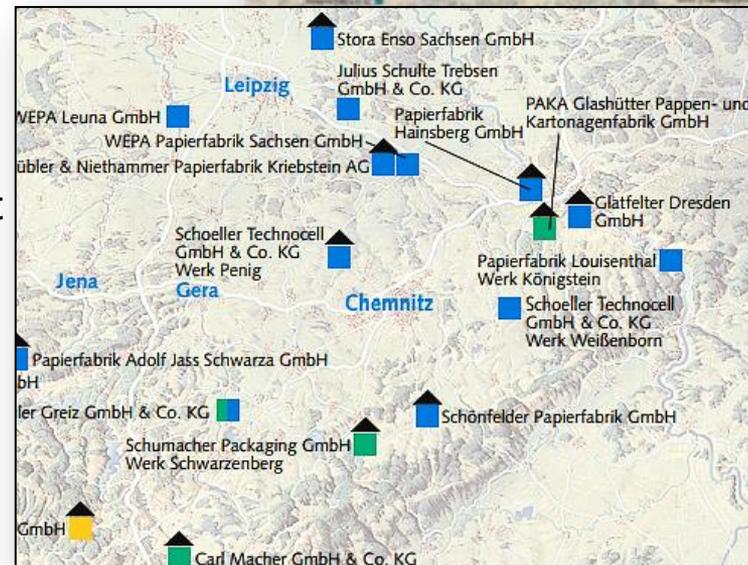
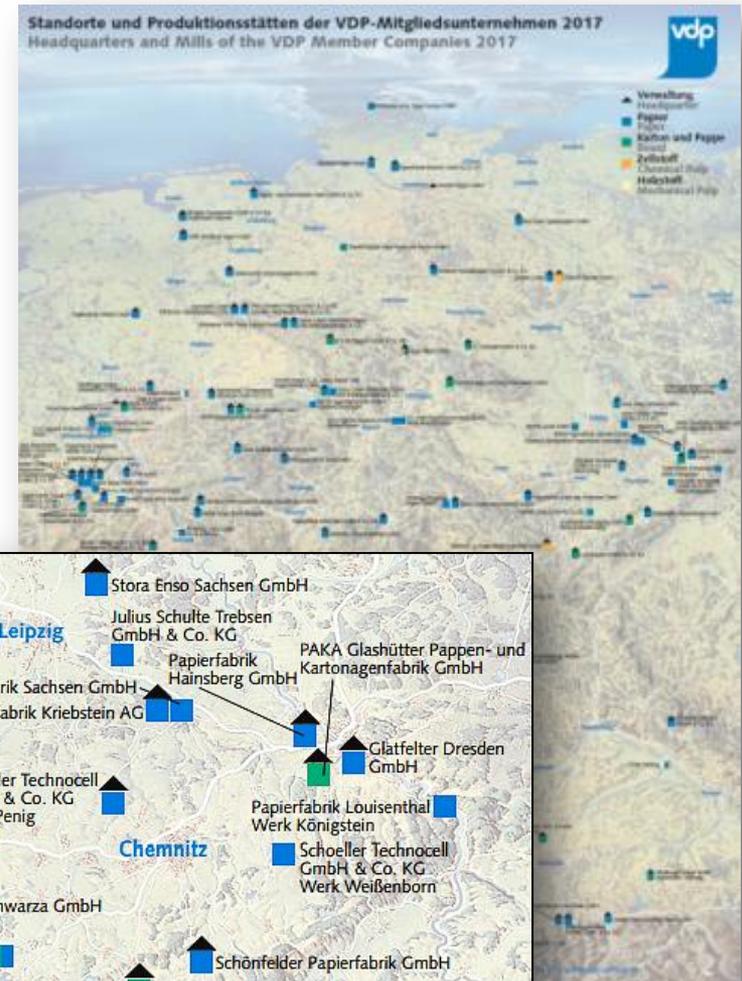
## Charakteristik der Branchen: Papierindustrie

### Relevanz für Deutschland:

- 161 Betriebe mit ca. 40T MA in der Papier- und Zellstoffindustrie
- Jahresproduktion ca. **22 Mio. t**
- Jahresumsatz ca. **14 Mrd. €**
- Exportanteil >50 %
- Rohstoffeinsatz (01/17-10/17 VDP):  
Papierzellstoff / Holzstoff ca. 2 Mio. t  
Altpapier ca. 14 Mio. t

### Relevanz für Sachsen:

- 14 Betriebe (2/3 unter 250 MA)
- Jahresproduktion ca. 960.000 t
- Umsatz pro Jahr 680 Mio. €



# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

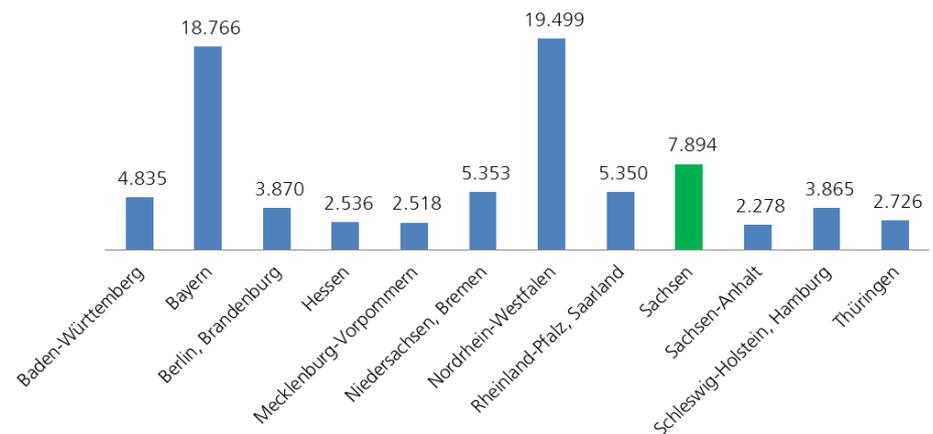
## Charakteristik der Branchen: Brauereien

### Relevanz für Deutschland:

- ca. 1350 Braustätten
- Spitzenposition in Europa
- Jahresproduktion ca. 89,4 Mio. hl
- Umsatz 8,1 Mrd. Euro pro Jahr

### Relevanz für Sachsen:

- ca. 60 Braustätten
- Spitzenposition unter neuen Bundesländern
- Jahresproduktion ca. 8,4 Mio. hl
- Umsatz 0,5 Mrd. Euro pro Jahr

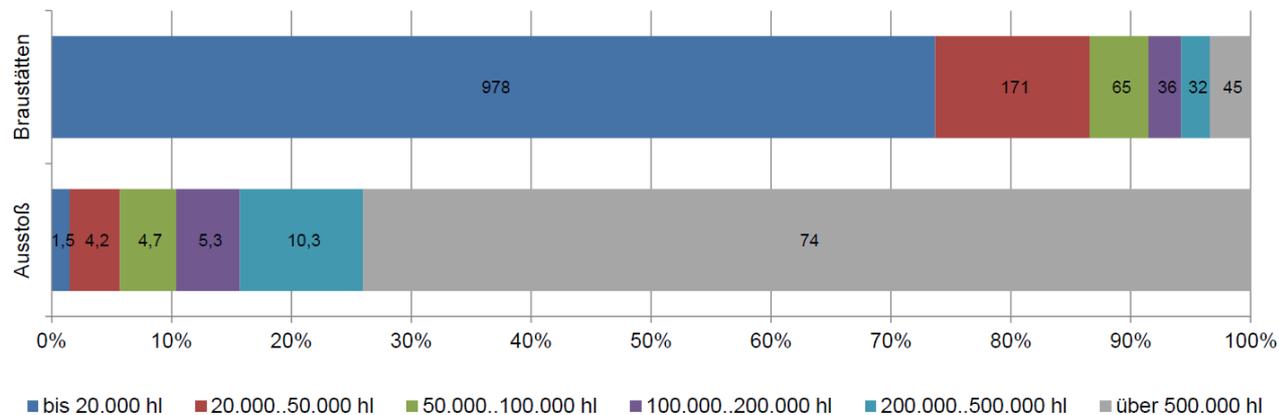


Quelle: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/175445/umfrage/bierproduktion-in-europa-nach-laendern/>

# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

## Charakteristik der Branchen (Bsp.: Brauereien)

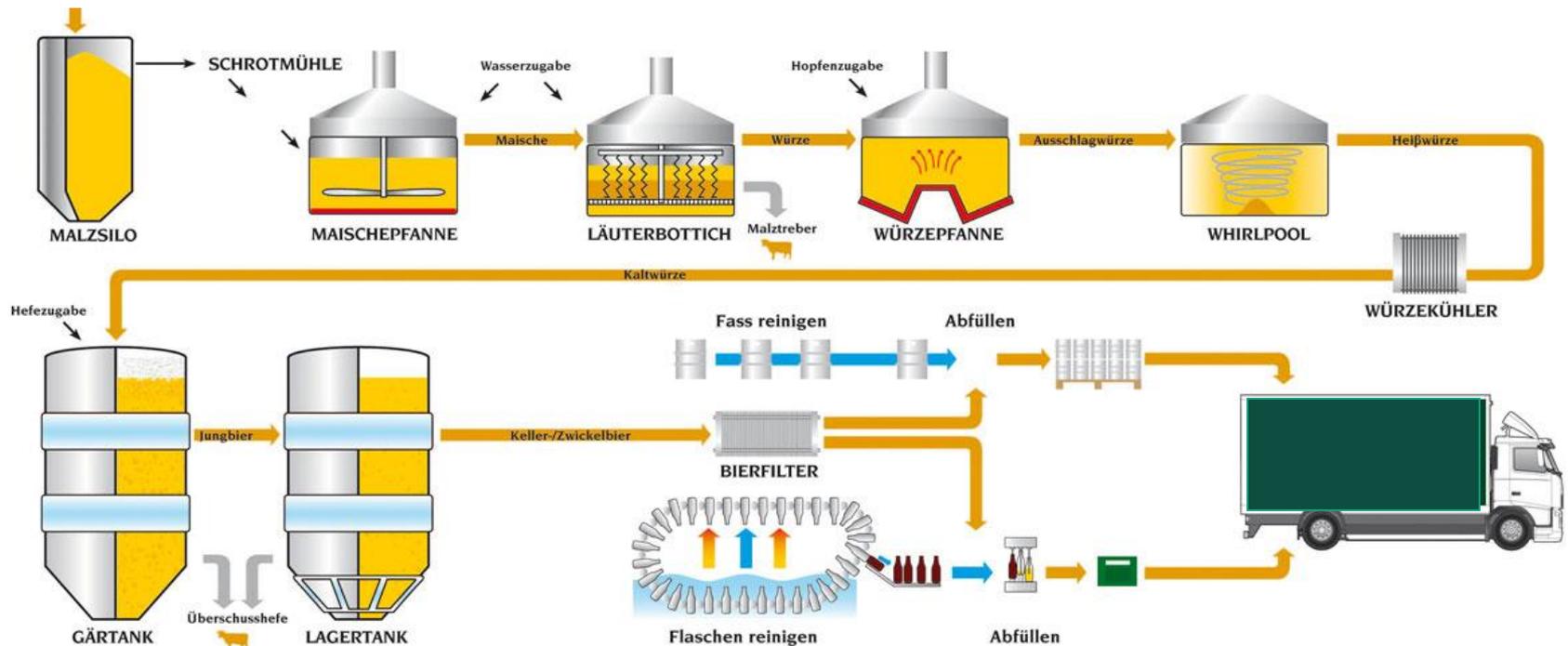
- Kleinst-/Gasthausbrauereien (< 20.000 hl/a) dominieren, sie produzieren aber nur 1,5 % der Gesamtjahreserzeugung in Deutschland.
- Ein Viertel der Jahresproduktion wird in typischen mittelständischen Brauereien (20.000 ... 500.000 hl/a) realisiert.
- 5 % aller Betriebe sind Großbrauereien (>500.000 hl/a). Sie produzieren 74 % der Gesamtjahreserzeugung in Deutschland.



Quelle: Gravierende Veränderungen der betriebenen Braustätten von 1987 bis 2009. Brauwelt 15-16, S. 446-447

# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

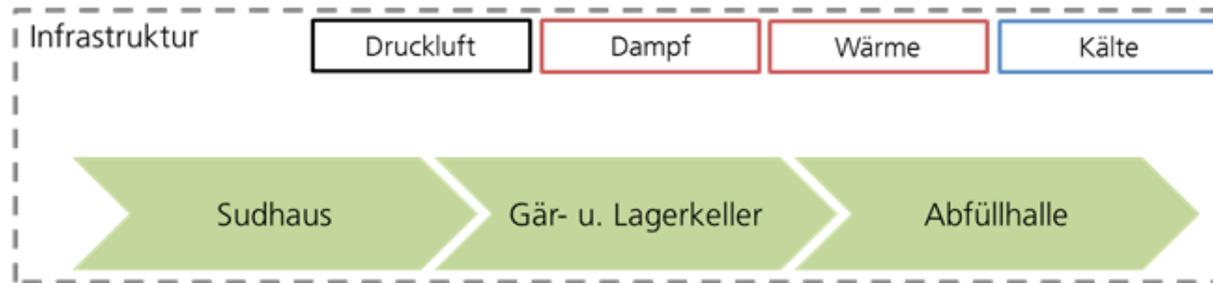
## Charakteristik der Branchen (Bsp.: Brauereien)



Quelle: [http://www.fohrenburg.com/images/wissenswertes/brauvorgang\\_ueberblick.jpg](http://www.fohrenburg.com/images/wissenswertes/brauvorgang_ueberblick.jpg)

# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

## Charakteristik der Branchen (Bsp.: Brauereien)



### Bereiche

### Zugeordnete Prozesse

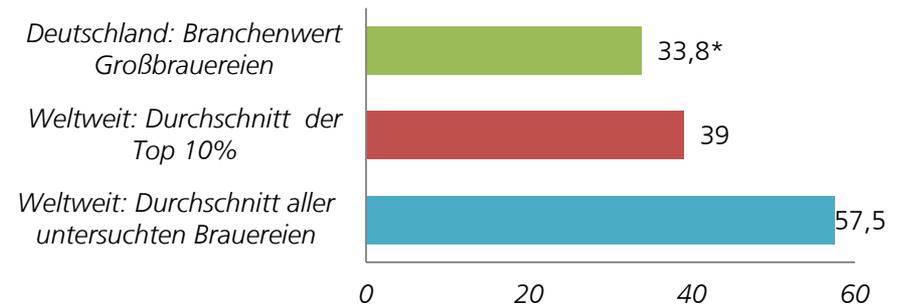
Sudhaus	Maischen, Läutern, Kochen, Ausschlagen, Kühlen
Gär- u. Lagerkeller	Gären, Lagern, Filtrieren, Entalkoholisieren (optional), Haltbarmachen (optional)
Abfüllhalle	Gebindereinigen, Abfüllen, Haltbarmachen (optional), Lagern
Infrastruktur	Kälte- und Kühltechnik; Kesselhaus und Warmwasseraufbereitung, Druckluftherzeugung

# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

## Charakteristik der Branchen (Bsp.: Brauereien)

- Im Jahr 2009 betrug der Energieverbrauch aller Brauereien in Deutschland ca. 3,8 TWh/a
- Der mittlere Energieverbrauch (Strom, Wärme, Kälte) verbesserte sich von 2008 zu 2012 um ca. 10%
- Vielzahl der deutschen Brauereien ist in den Top 10 % der effizientesten Brauereien weltweit vertreten
- Branchenwert der deutschen Großbrauereien liegt deutlich unter dem Durchschnitt der Top-10-Percent weltweit.

**Energieverbrauch in kWh pro Hektoliter**

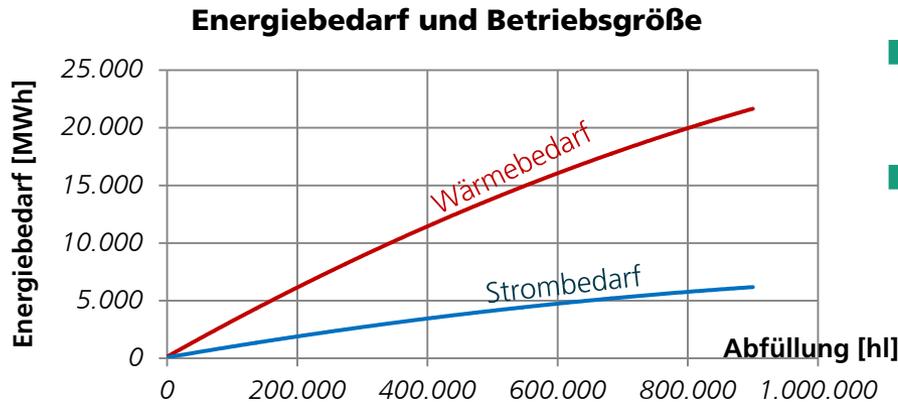


Quelle: Campden BRI/ Warsteiner Brauerei

\*Quelle: Betriebsvergleich 2011, IGS Energieberatung Dr. Schu

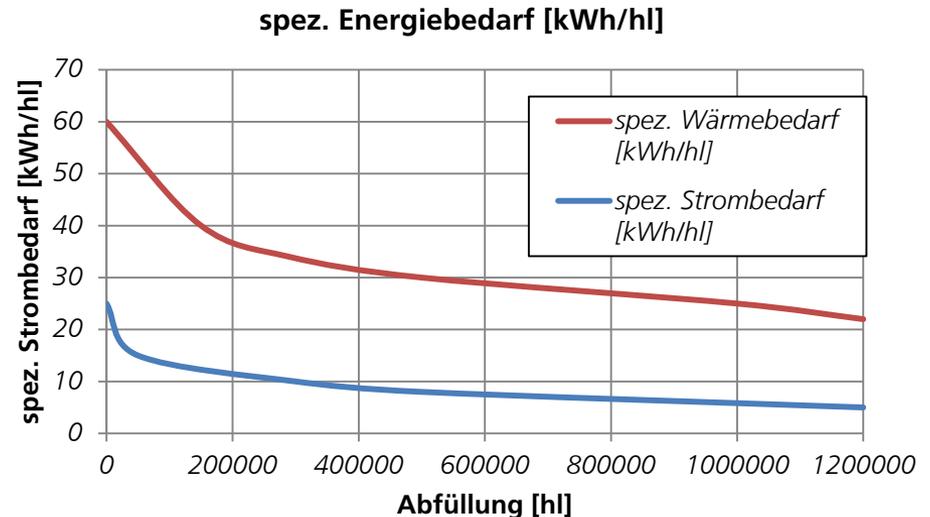
# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

## Charakteristik der Branchen (Bsp.: Brauereien)



- Der absolute Energiebedarf hängt v.a. von der Brauereigröße ab.
- Im Verhältnis zum Ausstoß steigt der Energiebedarf degressiv an.

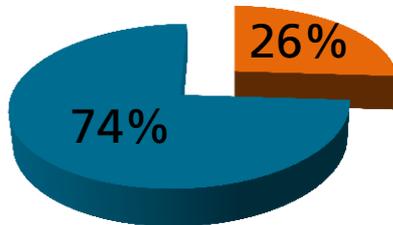
- Kleine Brauereien haben generell einen höheren spezif. Energiebedarf
- In sehr großen Brauereien wird durchschnittlich nur halb so viel Energie pro Hektoliter benötigt
- Verantwortlich sind die bessere Auslastung der Anlagen und der kontinuierliche Betrieb



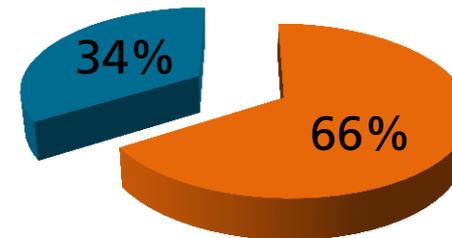
# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

## Charakteristik der Branchen (Bsp.: Brauereien)

### Energiebedarf



### Energiekosten



■ Elektrische Energie ■ Wärmeenergie

- Nicht EEG-befreite Branche, trotz des sehr hohen Energieverbrauchs
- Bei einer jährlichen Abfüllmenge von 500.000 Hektoliter:
  - ca. 14.000 MWh\* Wärmeenergie
  - ca. 4.500 MWh elektrische Energie

\*1 kWh = 3.6 MJ

# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

## Charakteristik der Branchen (Bsp.: Brauereien)

	Gas, Öl,...		Wasser	Strom			
	Wärme	Abwärme		Kälte	Antriebe	Druckluft	CO <sub>2</sub>
Maischen	x	x	x		x		
Läutern	x	x			x		
Kochen	x	x			x		
Ausschlagen		x			x		
Kühlung		x	x	x	x		
Gärung		x		x	x	x	x
Lagerung		x		x	x		x
Filtration		x	x	x	x		
Haltbar- machung	x	x					
Gebinde- reinigung	x	x	x		x		
Abfüllung	x	x	x	x	x	x	x

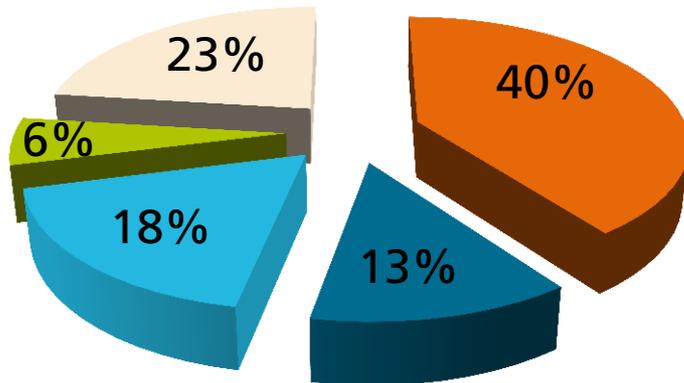
Quelle: WINenergy!, 2000. Branchenkonzept „Energiekennzahlen und -sparpotenziale in Brauereien“

# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

## Charakteristik der Branchen (Bsp.: Brauereien)

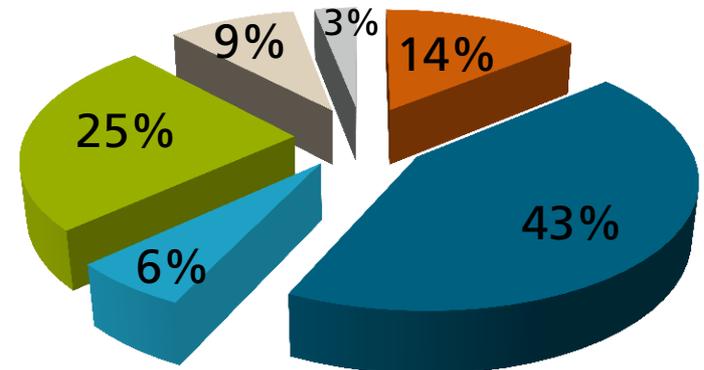
### Aufteilung elektrische Energie

- Kälte
- Sudhaus
- Abfüllung
- Luft
- Allgemein



### Aufteilung Wärmeenergie

- Sonstige
- Sudhaus
- Faßabfüllung
- Flaschenabfüllung
- Gär und Lagerkeller
- Filtration



Quelle: WINenergy!, 2000. Branchenkonzept „Energiekennzahlen und -sparpotenziale in Brauereien“

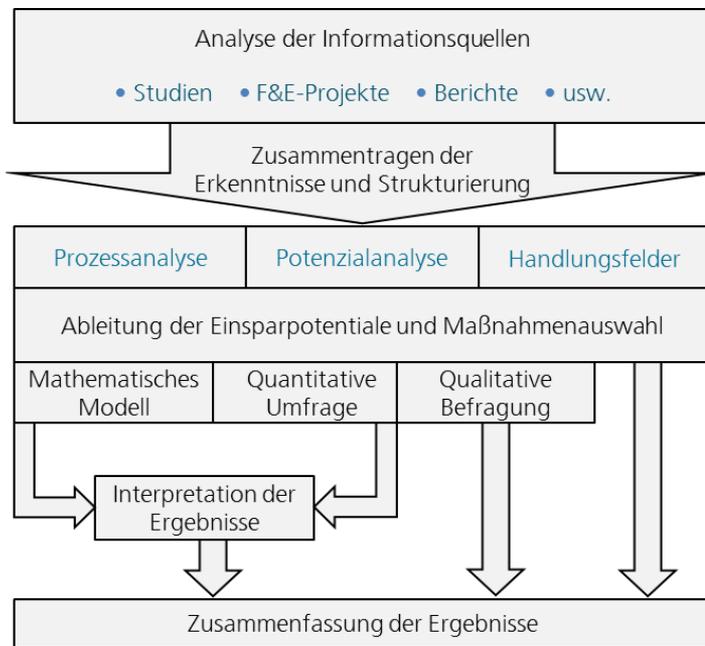
# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

## Aufstellung der Hypothesen

Hypothese I	Veränderungen im Unternehmen auf Basis einer genehmigungsbedürftigen Planung erzielen größere Einsparungen als einzelne Maßnahmen, die ausschließlich im Betrieb durchgeführt werden.	
Hypothese II	Energieeffizienz findet unterschiedliche Bedeutung in großen und kleinen Unternehmen.	
	Hypothese III	Große Gießereien stehen der Erarbeitung und Umsetzung von Einsparmöglichkeiten meist offener gegenüber.
	Hypothese IV	Das Wissen für eine energieoptimierte Produktion ist in den Unternehmen nur begrenzt vorhanden.
	Hypothese III	Durch die Nutzung von Speichern können Energieeffizienzpotenziale erschlossen werden
	Hypothese IV	Es besteht eine Korrelation zwischen Wasserverbrauch und Energieverbrauch.
	Hypothese III	Durch die Nutzung von Speichern und Kreislaufsystemen können Energieeffizienzpotenziale erschlossen werden.
	Hypothese IV	Der Anteil des Energieeinsatzes (Strom und Wärme) ist stark abhängig vom produzierten Papier und von der Anlagentechnik.

# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

## Methodisches Vorgehen



### Literaturrecherche:

- Auswertung von Studien und FuE-Berichten im Themenkreis Energieeffizienz / Planung
- Ableitung der Einsparpotentiale

### Mathematisches Modell:

- Berechnung des Gesamteinsparpotentials
- Bewertung des Umsetzungsgrades der Maßnahmen

### Umfrage der Unternehmen:

- Allgemeine Teil zu Unternehmen
- Ermittlung der Aktualität der Einsparpotentiale
- Ziel: Musterprozess/Referenzfabrik

### Befragung der Unternehmen:

- Abschätzung möglicher Entwicklungen

# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

## Metaanalyse / Literaturauswertung

Quellen		Inhalt	
Foundry Bench (2009 – 2011)		– EU-Projekt: europaweites Energie-Effizienz Benchmarking	
		– Ziel: Identifizieren von Maßnahmen zur effizienten Energienutzung in der Gießereindustrie	
Energieeffizienter Gießereibetrieb 1.0 (2009)		– Leitfaden im Auftrag des Bundesverbands der Deutschen	
	<b>Quellen</b>	<b>Kernaussagen / Verwertung im Rahmen der Studie</b>	
Energieeffizienter Gießereibetrieb 1.0 (2009)	Branchenkonzept-Solare Prozesswärme für Brauereien (DE)	– Informationen zu den Prozessverbräuchen, Temperaturgefällen und Wärmerückgewinnungsprozessen	
Energieeffizienter Gießereibetrieb 1.0 (2009)	Energiekennzahlen und -sarpotenziale	– Informationen zur Energieverteilung und dem Zusammenwirken	
	<b>Quellen</b>	<b>Kernaussagen / Verwertung im Rahmen der Studie</b>	
REEMAIN (2014 - 2015)	Green Brew der Brauindustrie	Energy Bandwidth Study – Pulp and Paper Industry	– Schätzungen des gegenwärtigen Energieverbrauchs und Einsatz von Best Practices und deren Wirkungen
Berichte des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie	Guide to energy efficiency opportunities in the Industry (CA)	Energieeffizienz in der Industrie	– Energieeinsatz ausgewählter Branchen und Beispiele zur Energieeinsparung
	Energy Efficiency Cost Saving Breweries (UK)	Energieverbrauch und CO2-Emissionen industrieller Prozesstechnologien	– Zielt auf mögliche politische Maßnahmen zur Realisierung von Potenzialen energieintensiver Grundstoffproduktion vorzuschlagen
	Energy Usage Efficiency and Manual (USA)	Effiziente Energienutzung in der Papierindustrie	– Optimierungsansätze für den Energieeinsatz
	Energieeffizienz in der Papierindustrie (Sächsischen)	Papierherstellung in Deutschland	– Branchenanalyse, Trends und Herausforderungen
		Leitfaden Energieeffizienz für die Papierindustrie	– Hilfestellung zur Identifizierung und Reduzierung von Energieverbräuchen

# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

## Mathematisches Modell



Schaffung einer einheitlich definierten und anwendbaren **Bezugsgröße zur Beurteilung** der Energiebedarfe und der Energieeffizienzpotenziale.

# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

## Mathematisches Modell

Bei der Umfrage werden folgende Umsetzungsgrade der Maßnahmen vorgegeben:

Umsetzungsgrade	Beschreibung
UG1	Die Maßnahme wurde bis dato nicht betrachtet bzw. war bisher unbekannt.
UG2	Die Maßnahme wurde als möglicher Ansatz zur Steigerung der Energieeffizienz identifiziert. Derzeit ist eine Umsetzung allerdings nicht geplant
UG3	Die Umsetzung der Maßnahme wurde entschieden, d.h. eine Realisierung ist mittelfristig geplant
UG4	Die Maßnahme befindet sich momentan in der Umsetzung bzw. wurde bereits umgesetzt / Maßnahme nicht anwendbar

beispielhafte Antwortmatrizen nach der Umfrage:

Papierfabrik 1 (P <sub>1</sub> )				
Maßnahme	UG1	UG2	UG3	UG4
M1	X			
M2		X		
M3		X		
M4			X	

Papierfabrik 2 (P <sub>2</sub> )				
Maßnahme	UG1	UG2	UG3	UG4
M1			X	
M2			X	
M3		X		
M4				X

Papierfabrik 3 (P <sub>3</sub> )				
Maßnahme	UG1	UG2	UG3	UG4
M1	X			
M2	X			
M3		X		
M4				X

# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

## Mathematisches Modell

Ergebnis für die Maßnahmen auf Basis der Antwortmatrizen:

$$\emptyset UG(M_i) = \frac{1}{n} * \sum_{j=1}^n UG(M_{ij})$$

Maßnahme	$\emptyset UG(M_i)$	$\triangle UG$
<b>M1</b>	1,66	<b>UG2</b>
<b>M2</b>	2	<b>UG2</b>
<b>M3</b>	2	<b>UG2</b>
<b>M4</b>	3,66	<b>UG4</b>

Ermittlung des Gewichtungsfaktors einer Papierfabrik:

$$g(P_i) = 1 + \frac{spezELT(P_i) - \emptyset ELT}{\emptyset ELT} + \frac{spezW(P_i) - \emptyset W}{\emptyset W}$$

Papierfabrik	$\emptyset ELT$ kWh/t	$\emptyset W$ kWh/t	spezELT (P <sub>i</sub> ) kWh/t	spezW(P <sub>i</sub> ) kWh/t	g(P <sub>i</sub> )
<b>P<sub>1</sub></b>	698	1720	780	1500	<b>0,99</b>
<b>P<sub>2</sub></b>	698	1720	320	1425	<b>0,29</b>
<b>P<sub>3</sub></b>	698	1720	950	1300	<b>1,11</b>

Berechnung eines gewichteten Umsetzungsgrads:

$$\emptyset_g UG(M_i) = \frac{1}{n} * \sum_{j=1}^n (UG(M_{ij}) * g(P_j))$$

Maßnahme	$\emptyset UG(M_i)$	$\triangle UG$	$\emptyset_g UG(M_i)$	$\triangle_g UG$
<b>M1</b>	1,66	<u>UG2</u>	0,99	<b>UG1</b>
<b>M2</b>	2	UG2	1,31	<b>UG2</b>
<b>M3</b>	2	UG2	1,59	<b>UG2</b>
<b>M4</b>	3,66	<u>UG4</u>	2,86	<b>UG3</b>

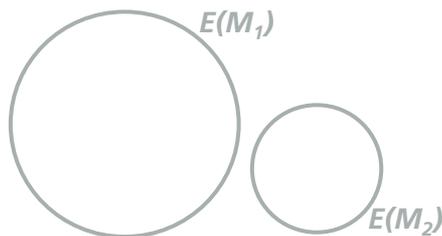
# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

## Mathematisches Modell

Klasse	Unterscheidungsmerkmale	
<b>P</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Erfordert technische Planung und Genehmigung</li> <li>– Stilllegung der Anlage bei Umbau erforderlich</li> <li>– Hohe Investitionskosten</li> </ul>	$E(P^{(i)}) = \text{Einsparpotenzial der Maßnahme } P^{(i)}$
<b>Q</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Erfordert keine Genehmigung</li> <li>– Kurze / keine Stilllegung der Anlage notwendig</li> <li>– Geringe Investitionskosten</li> </ul>	$E(Q^{(j)}) = \text{Einsparpotenzial der Maßnahme } Q^{(j)}$
<b>R</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Erfordert keine Genehmigung</li> <li>– Umsetzung im laufenden Betrieb</li> <li>– Keine Investitionskosten</li> </ul>	$E(R^{(k)}) = \text{Einsparpotenzial der Maßnahme } R^{(k)}$

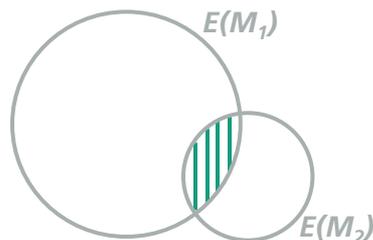
Fall 1:

Es liegt keine Überschneidung vor.  
Die Effekte beider Maßnahmen  
finden Beachtung.



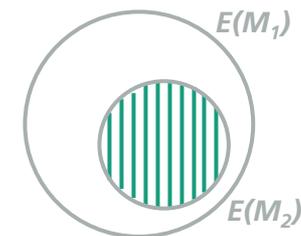
Fall 2:

Es liegt eine Überschneidung vor.  
Lediglich die Maßnahme, welche  
den größeren Einspareffekt  
aufweist, wird berücksichtigt.



Fall 3:

Eine Maßnahme ist Teilmenge der  
anderen. Die Maßnahme, welche  
den größeren Einspareffekt  
aufweist, wird berücksichtigt.



# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

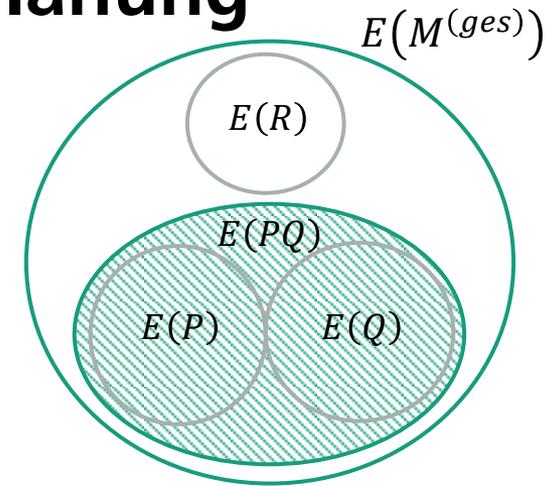
## Mathematisches Modell

$$\sum_{i=1}^n E(P^{(i)}) + \sum_{j=1}^m E(Q^{(j)})$$

= kumulierte Einsparpotenziale der Maßnahmen aus Betrieb und Planung

$$E(M^{(ges)}) = \sum_{i=1}^n E(P^{(i)}) + \sum_{j=1}^m E(Q^{(j)}) + \sum_{k=1}^o E(R^{(k)})$$

= kumulierte Einsparpotenziale der Maßnahmen aus Betrieb, operativem Betrieb und Planung



$$E(PQ_{\%}) = \frac{E(P^{(n)}) + E(Q^{(m)})}{E(M^{(ges)})} * 100\% \quad \text{mit } n, m \in \mathbb{N}$$

= das Energieeffizienzpotential, welches durch eine frühzeitige Berücksichtigung der entsprechenden Maßnahmen in der Planung theoretisch erreicht werden kann.

$$E(P_{\%}) = \frac{E(P^{(n)})}{E(M^{(ges)})} * 100\% \quad \text{mit } n \in \mathbb{N}$$

= das Energieeffizienzpotential, welches *nur durch planerische Maßnahmen* theoretisch erreicht werden kann.

# Energieeffizienzpotenziale in der Planung Industrienumfrage

## Teil I: Allgemeine Kenndatenermittlung

## Teil II: Spezifische Potenzialermittlung

**Energieeffizienzpotenziale in der Planung  
Papierherstellungsindustrie für Anlagentyp 6.2 (4. BImSchV)**

**Allgemeine Angaben zu Ihrem Unternehmen**  
Wie hoch ist Ihre Produktionskapazität pro Jahr in Tonnen?

Wie viel Prozent der Produktionsmenge entfielen (2017) in etwa auf die unterschiedlichen Papiersorten?

Grafische Papiere	Verpackungspapiere	Hygienepapiere	Spezialpapiere
_____ %	_____ %	_____ %	_____ %

Wird in Ihrem Unternehmen aktuell eine Software zur Energiedatenerfassung eingesetzt? \*

Ja  Nein  keine Aussage möglich

Welche Energie- oder Umweltnorm findet in Ihrem Unternehmen Anwendung? (Mehrfachnennung möglich) \*

<input type="checkbox"/> ISO 50001 (EnergieManagementsystem)	<input type="checkbox"/> EMAS (Umweltmanagementsystem)
<input type="checkbox"/> ISO 14001 (Umweltmanagementsystem)	<input type="checkbox"/> Andere Auditing (z.B. Sachs. Gewerbeenergiepass):
<input type="checkbox"/> DIN EN 16247-1 (Energieaudt)	_____
<input type="checkbox"/> keine	

**Angaben zum Strom- und Wärmeverbrauch**  
Wie hoch war ihr spezifischer Wärmeverbrauch(kWh/t), Strombedarf(kWh/t), sowie Wasserverbrauch(m³/t) im Jahr 2017, jeweils pro Tonne produziertem Papier?

spez. Wärmebedarf	spez. Stromverbrauch	spez. Wasserverbrauch
_____ kWh/t	_____ kWh/t	_____ m³/t

Sollten Ihre Eingaben nicht zu den angegebenen Einheiten passen, schreiben Sie die verfügbare Einheit dazu.

Wie schätzen Sie die prozentuale Verteilung des Strom- und Wärmeverbrauchs in Ihrem Unternehmen bezogen auf die verschiedenen Produktionsbereiche ein?

	Stoffaufbereitung	Papiermaschine	Veredlung	Sonstige Bereiche
Wärmeverbrauch [in %]				
Stromverbrauch [in %]				

### 3. Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz

Wie schätzen Sie den Umsetzungsgrad der folgenden Maßnahmen ein?

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

- Unbekannt:** Die Maßnahme wurde bis dato nicht betrachtet bzw. war bisher im Kontext des Brauereiprozesses unbekannt.  
**Bekannt:** Die Maßnahme wurde als möglicher Ansatz zur Steigerung der Energieeffizienz identifiziert. Derzeit ist eine Umsetzung allerdings nicht geplant.  
**Geplant:** Die Umsetzung der Maßnahme wurde entschieden, d.h. eine Realisierung ist mittelfristig geplant.  
**In Umsetzung/Umgesetzt:** Die Maßnahme befindet sich momentan in der Umsetzung.

#### SUDHAUS

Maßnahmenbeschreibung	Unbekannt	Bekannt	In Planung	In Umsetzung/Umgesetzt	Geschätztes Potenzial in kWh/t
Aufbau des Sudhauses entsprechend einer Kaskadenform	<input type="checkbox"/>				
Wärmerückgewinnung aus dem heißen Abwasser der Sudhaus-CP-Anlage	<input type="checkbox"/>				
Ausschieben der Füllerleitungen mit CO2 statt Wasser	<input type="checkbox"/>				
Umstieg von Plattenfilter auf Kompressionsfilter	<input type="checkbox"/>				
Einsatz eines Pfandendst-Kondensators zur Energierückgewinnung	<input type="checkbox"/>				
Einsatz eines Plattenwärmetauschers zur Kühlung der Würze und Erhitzung des kalten Nutzwassers	<input type="checkbox"/>				
Verwendung von Warmwasser aus dem Würzekühler für das Aufheizen beim Maischen	<input type="checkbox"/>				
Optimierung des Würzekühlers (Dimensionierung, Wassererwärmung)	<input type="checkbox"/>				
Verwendung der ablaufenden Würze zur Erwärmung des Frischwassers	<input type="checkbox"/>				
Vorheizen von Reinigungsmitteln der CP-Anlage mittels Würzekühlung	<input type="checkbox"/>				
Thermische Brüdenverdichtung für das Würzekochen	<input type="checkbox"/>				
Mechanische Brüdenverdichtung für das Würzekochen	<input type="checkbox"/>				
Einsatz des Würzekoch- und Strippingsystems "Merlin" (Stenecker)	<input type="checkbox"/>				
Einsatz des High-Gravity-Brewing-Systems	<input type="checkbox"/>				
Energierückgewinnung aus dem Würzekühler (2-stufiger Kühlkreislauf)	<input type="checkbox"/>				
Vakuumkochverfahren	<input type="checkbox"/>				
Niederdruckkochverfahren	<input type="checkbox"/>				
Rektifikationswürzekochung	<input type="checkbox"/>				
Einsatz des Würzestrippingsystems "Boreas"	<input type="checkbox"/>				
Einsatz des Würzestrippingsystems "Stromboli"	<input type="checkbox"/>				
Rückgewinnung der Abwärme aus der Whirpoolpfanne	<input type="checkbox"/>				
Wärmerückgewinnung aus der heißen Kochwürze zur Beheizung der Maischepfanne	<input type="checkbox"/>				
Verwendung eines isolierten Heißwassertanks zur Energiespeicherung	<input type="checkbox"/>				

Wie schätzen Sie den Umsetzungsgrad (Erläuterung<sup>1</sup> siehe unten) der folgenden Maßnahmen ein? Welches Potenzial in kWh pro Tonne Papier schätzen Sie, kann die jeweilige Maßnahme einsparen?

#### Pulper – (Stoffaufbereitung)

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

Maßnahmenbeschreibung	Unbekannt	Bekannt	In Planung	In Umsetzung/Umgesetzt	Geschätztes Potenzial in kWh/t
Hochkonsistenzpulper mit hochdynamischer S-Wendel mit Spoiler und optimierte Drehzahl					
Optimierung der Büttengeometrie					
Optimierung des Rührwerks					
Erhöhung der Konsistenz im HC-Pulper					
Verbesserte Vertikalortierer mit Multifoil-Rotor und Stabsiebkorb					
Anpassung der Stoffdichte von Altpapier					
Fraktionierung der Recyclingpapierfasern					
HC-Aufschluss von Altpapier zur effizienten Weiterbearbeitung					
Nutzung von Axialgebläsen zur Wärmerückgewinnung für die Zuluft der Trockenhaube					
Wärmerückgewinnung aus heißem Bleichwasser					
Nutzung effizienter Siebkörbe und -Konzepte					
Minimiertes Reinigen und Sieben ohne Fraktionierung und weitere Faserbehandlung					
Schichtdesign (Nutzung verschiedener Fasernstoffe)					
Verwendung optimierter Refiner (z.B. Mehrsieben-, Doppelzylinderrefiner)					
Refiner mit höherem Nutzungsgrad optimal dimensionieren					
alternatives Säulendesign zur Rührkesselreaktion (Verzicht auf 1 Rührwerk)					
Hochzahnarnituren für Dispergierer					

<sup>1</sup> **Unbekannt:** Die Maßnahme wurde bis dato nicht betrachtet bzw. war bisher im Kontext des Papierherstellungsprozesses unbekannt.  
**Bekannt:** Die Maßnahme wurde als möglicher Ansatz zur Steigerung der Energieeffizienz identifiziert. Derzeit ist eine Umsetzung allerdings nicht geplant.  
**Geplant:** Die Umsetzung der Maßnahme wurde entschieden, d.h. eine Realisierung ist mittelfristig geplant.  
**In Umsetzung/Umgesetzt:** Die Maßnahme befindet sich momentan in der Umsetzung bzw. wurde bereits umgesetzt.

# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

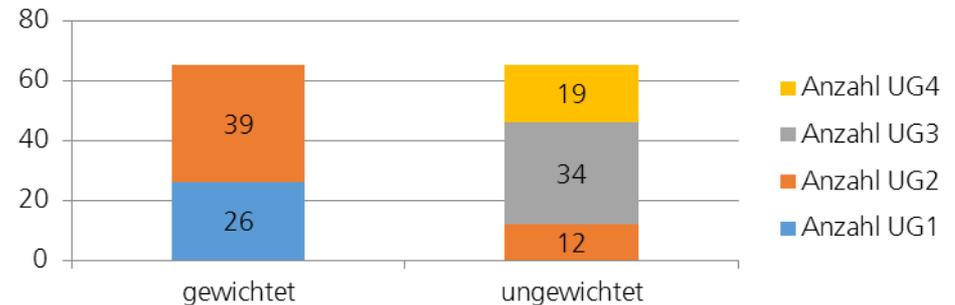
## Referenzfabrik und -prozesse

- Definition der Referenzfabrik anhand der Umsetzungsgrade von Effizienzmaßnahmen und Energieverbräuche der Betriebe

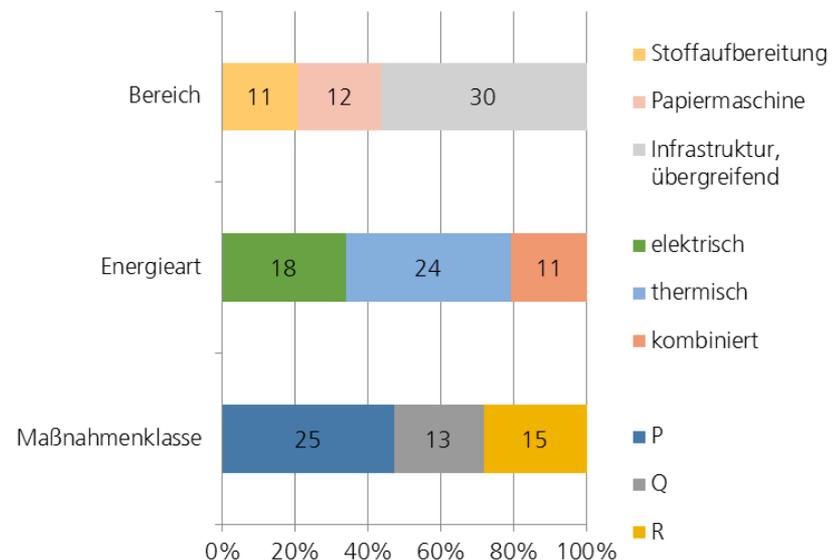
- Quantitative Verteilung der geplanten und der umgesetzten Maßnahmen aus dem Umfrageergebnis (ungewichtet):



Vergleich Umsetzungsgrade



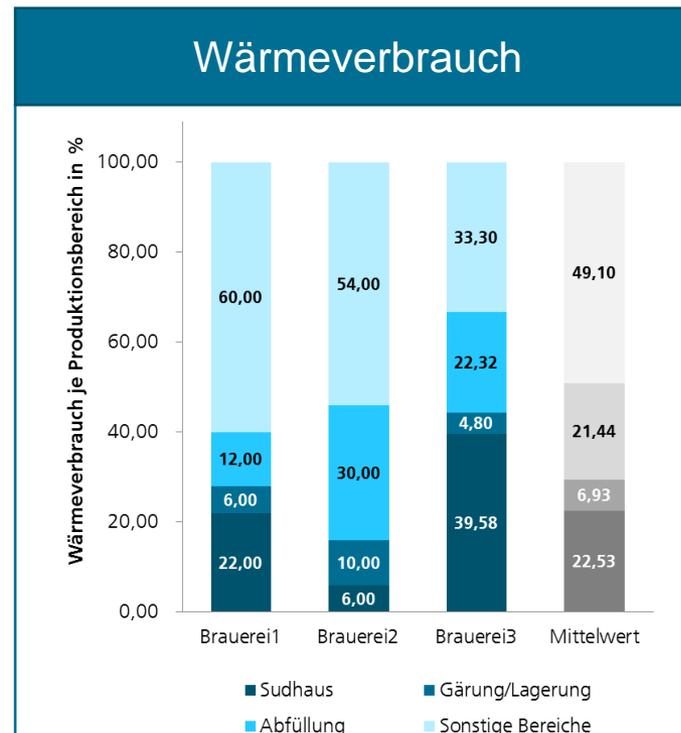
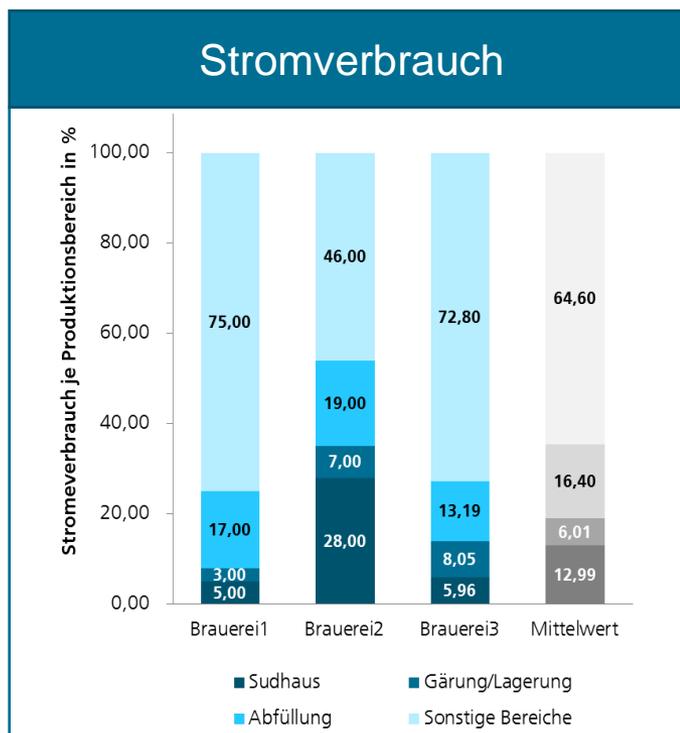
UG3 & UG4 ungewichtet



# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

## Referenzfabrik und -prozesse

	Branchenmittelwert	Musterbrauerei
<b>spezifischer Wärmebedarf [kWh/hl]</b>	24	25,44
<b>spezifischer Strombedarf [kWh/hl]</b>	9,8	9,52
<b>spezifischer Wasserbedarf [hl/hl]</b>	4,09	3,83



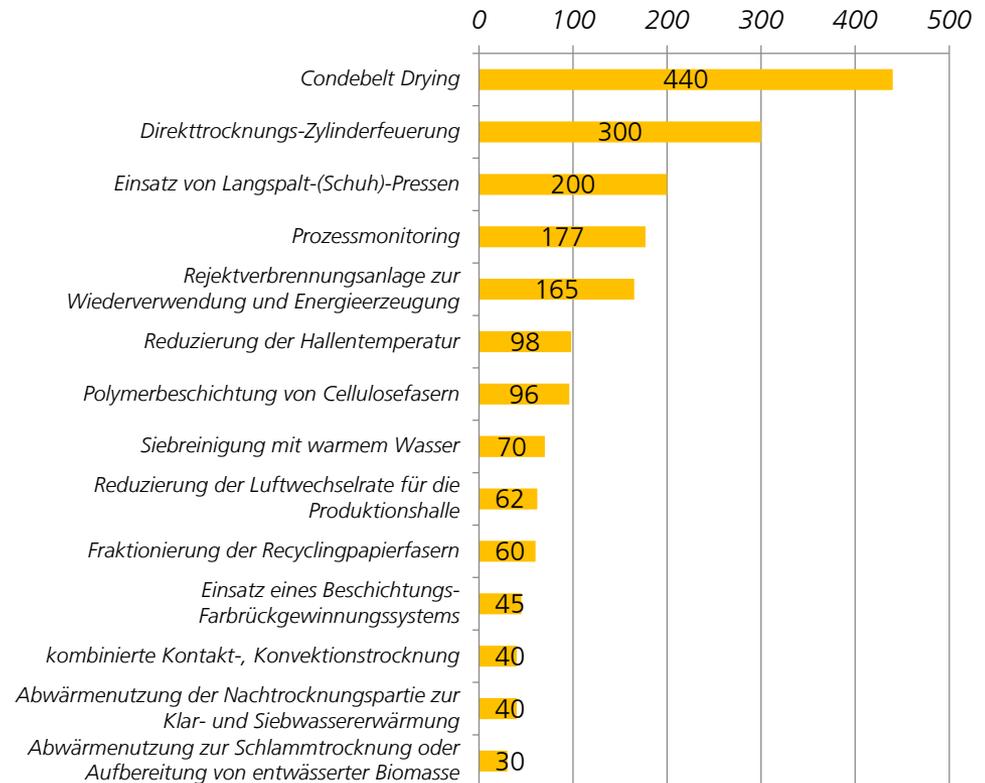
# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

## Einsparpotenziale

Gesamtergebnis

Bereich	P [kWh/t]	Q [kWh/t]	R [kWh/t]	Summe [kWh/t]
$\Sigma S_{\text{Elektro}}$	143	8	13	
$\Sigma S_{\text{Therm}}$	-	5	-	
$\Sigma S_{\text{Kombi}}$	65	-	-	
$\Sigma P_{\text{Elektro}}$	45	-	-	
$\Sigma P_{\text{Therm}}$	1070	31	10	
$\Sigma P_{\text{Kombi}}$	-	96	177	
$\Sigma I_{\text{Elektro}}$	20	22	1	
$\Sigma I_{\text{Therm}}$	20	42	169	
$\Sigma E_{\text{Kombi}}$	-	-	-	
<b>Summe Elektrisch</b>	<b>208</b>	<b>30</b>	<b>14</b>	$\Sigma$ <b>252</b>
<b>Summe Thermisch</b>	<b>1090</b>	<b>78</b>	<b>179</b>	$\Sigma$ <b>1347</b>
<b>Summe Kombi</b>	<b>65</b>	<b>96</b>	<b>177</b>	$\Sigma$ <b>338</b>
<b>Gesamtsumme</b>	<b>1363</b>	<b>204</b>	<b>370</b>	$\Sigma$ <b>1937</b>

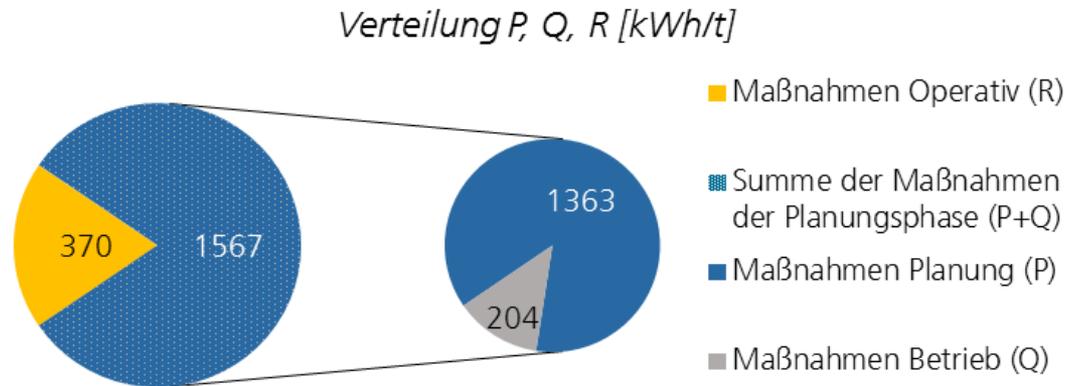
Energieeffizienzpotenzial [kWh/t]



S ... Stoffaufbereitung; P ... Papiermaschine; I ... Infrastruktur; E ... Alternative Energien

# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

## Einsparpotenziale



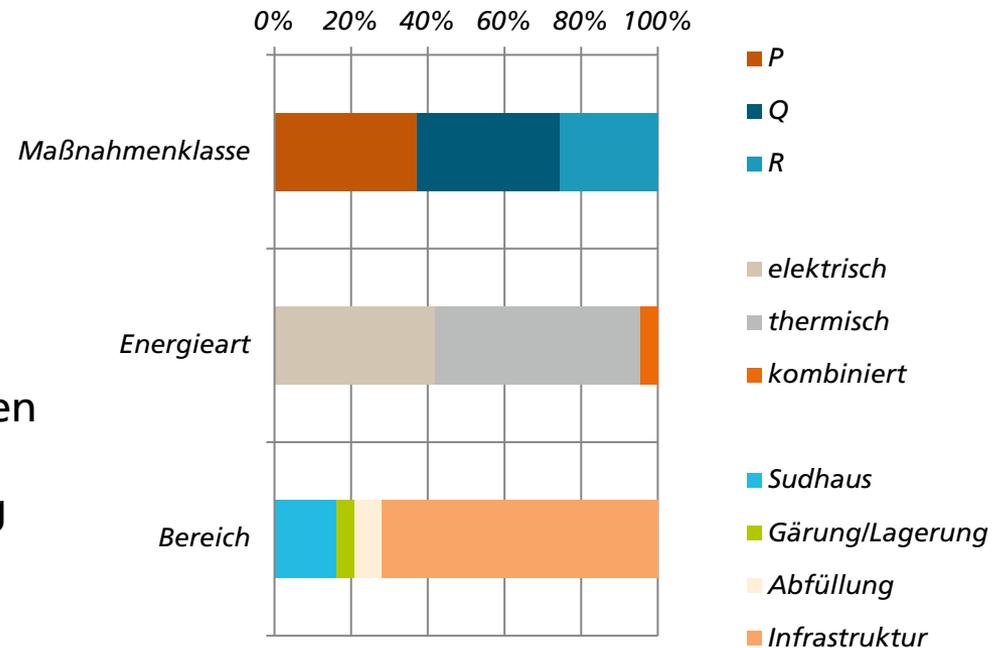
- 81 % Planung (P) und Betrieb (Q), 1567 kWh / t
- 70 % Planung (P), 1363 kWh / t
- 19 % Betriebsoptimierter Anlagenbetrieb (R), 370 kWh / t
  
- 70 % thermischer Bereich, 1347 kWh / t
- 13 % elektrischer Bereich, 252 kWh / t
- 17 % therm.-elektr. kombinierter Bereich, 338 kWh / t

# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

## Einsparpotenziale

- Kontinuierliches Energiedatenmonitoring (71 % der Befragten)
- Energiemanagementnorm ISO 50001 (100 % der Befragten)
- Umweltmanagementnorm ISO 14001 (71 % der Befragten)
- Von 89 identifizierten Maßnahmen zur Energieeffizienzverbesserung sind 43 umgesetzt / in Umsetzung
- I.d.R. waren alle 89 Maßnahmen den Unternehmen bekannt

Quantitative Verteilung der umgesetzten Maßnahmen



# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

## Einsparpotenziale

Nr.	Maßnahme	Planung (P) in kWh/t	Betrieb (B) in kWh/t	opt. Betrieb (B opt) in kWh/t	Anmerkungen
I1	Abwärme an Öfen und Kompressoren	345			
I2	Thermalölgewinnung	30			in I1
I3	Rekuperationssystem Kupolofen	250			
I4	Induktionsofen mit Wasserspeicher	34			in I7
I5	Rückgewinnung aus Abluft	63			
I6	Trockene Lagerung		250		
I7	Druckluftsystem Leckagen			14	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
I16	Energiegewinnung am Lichtbogenofen	74			I16
	Summe Infrastruktur	732	643	14	

# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

## Gesamtergebnisse

- Darstellung der **Einsparpotenziale**, die sich in der **Anlagenplanung** adressieren lassen: 
- Maßnahmen, die im **Betrieb** durchgeführt werden, können bereits in der **Planung** berücksichtigt werden, so ergibt sich das theoretische maximale **Gesamteinsparpotenzial** von
  - **Gießereien**                    **81%**     (entspricht 2634 kWh/t)
  - **Brauereien**                    **99%**     (entspricht 34,24 kWh/hl)
  - **Papierherstellung**   **89%**     (entspricht 2733 kWh/t)
- Maßnahmen, die **ausschließlich der Planung** zugeordnet werden, haben einen Anteil von
  - **Gießereien**                    **48%**     (entspricht 1564 kWh/t)
  - **Brauereien**                    **73%**     (entspricht 25,27 kWh/hl)
  - **Papierherstellung**   **70%**     (entspricht 1363 kWh/t)
- Aufgrund der Bandbreite der in der Realität erzielbaren Einspareffekte werden die maximal erreichbaren Effekte nur anteilig in die Betrachtungen einbezogen.

# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

## Gesamtergebnisse

Relativiert werden diese Daten in der Praxis durch:

- Rahmenbedingungen bei der Umsetzung der Maßnahme:
  - Vorhandene Produktionsstrukturen
  - Ausgangssituation bzgl. des spezifischen Energieverbrauchs
  - Unterschiedliche Produktionsmengen bzw. Betriebsgröße (theoretische Einsparpotenziale berücksichtigen keine Skaleneffekte)
  
- unterschiedliche Belastbarkeit der Effekte:
  - teilweise nur wenige Referenzwerte pro Maßnahme
  - große Abweichungen in Aktualität bzw. Zeitbezug der Maßnahmen

# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

## Gesamtergebnisse

Verschiedene Maßnahmen wurden nicht in die Potenzialermittlung einbezogen, z.B.:

- Biogaserzeugung
  - Hohe Investitionen und komplizierte Umsetzung → strategische Entscheidung von einem Unternehmen
  - Einsparung beruht auf Energieinput, der nicht zum ursprüngl. Energiebilanzkreis gehört
- Rektifikationswürzekochung
  - neuartige Technologie, welche aktuell noch keine Marktreife erlangt hat
  - Investitionen erfolgen strategisch aufgrund der langen Nutzungsdauer (ca. 20 Jahre)
  - Zeitpunkt zur Implementierung muss betriebswirtschaftlich passen
- Fernwärmeeinkopplung überschüssiger Abwärme
  - Hohe Anschlusskosten, Sicherstellung der Versorgung kritisch → Szenarien zur Wärmeeinspeisung und Speichernutzung .

# Energieeffizienzpotenziale in der Planung

## Zusammenfassung

Im Ergebnis der Metastudien, Unternehmens- und Expertenbefragungen sowie der Potenzialbestimmung auf Grundlage des abgestimmten mathematischen Modells konnten die Untersuchungshypothesen differenziert beantwortet werden.

Branchenbezogen wurden der Kenntnisstand von Energieeffizienzmaßnahmen und der Stand der Planung bzw. Umsetzung in den Unternehmen sowie Best Practices erfasst.

Abschließend wurden Handlungsempfehlungen zur Identifikation und Hebung konkreter betrieblicher Potenziale, zur Sensibilisierung der Mitarbeiter sowie zur Gestaltung der Genehmigungsprozesse und Energiegesetzgebung gegeben.

*Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!*