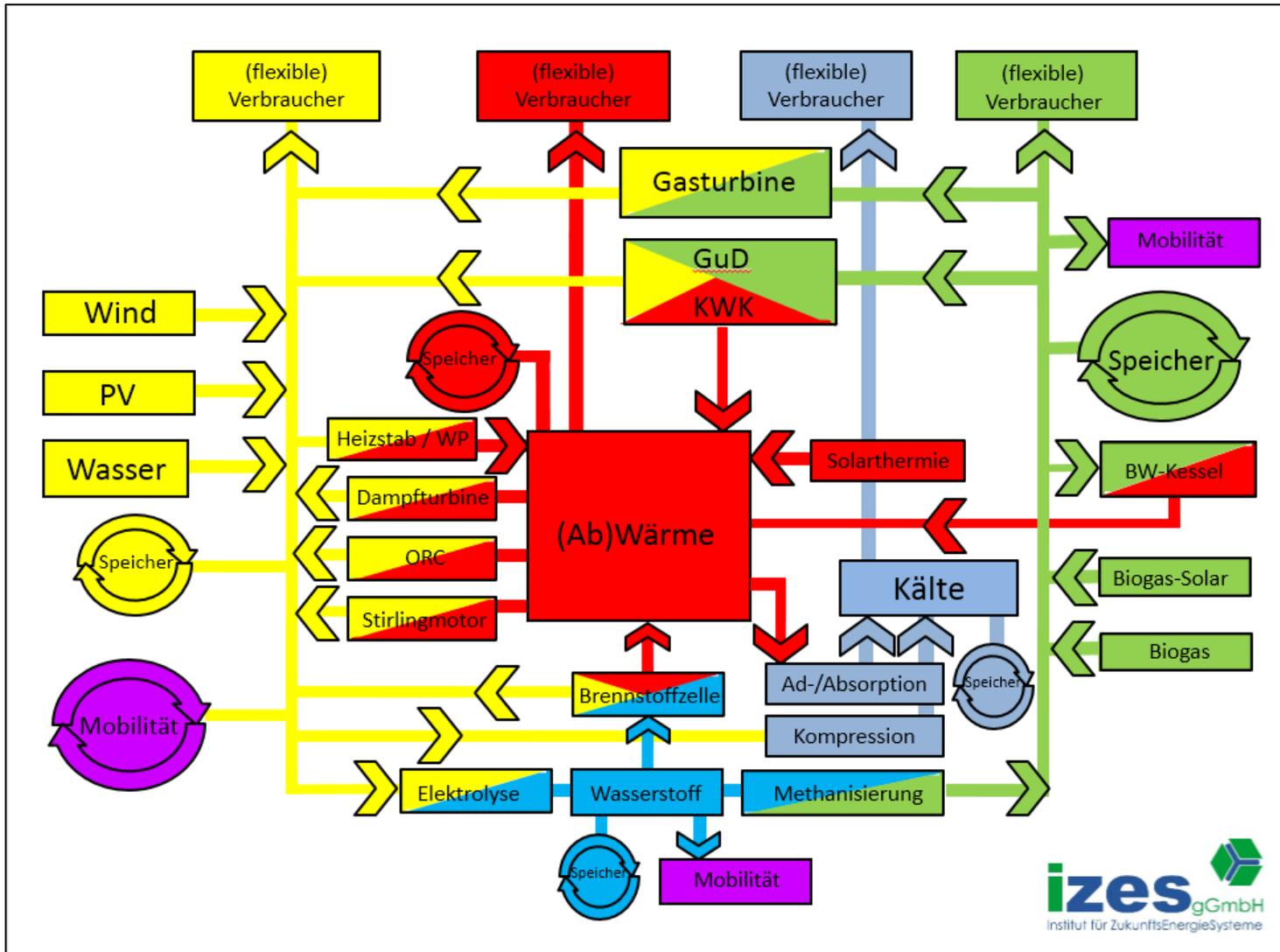


Abwärme in energieintensiven Branchen: Erste Ergebnisse des Forschungsverbundprojekts „Abwärmeatlas“

Berlin, den 03. November 2016

Guillem Tänzer (taenzer@izes.de)

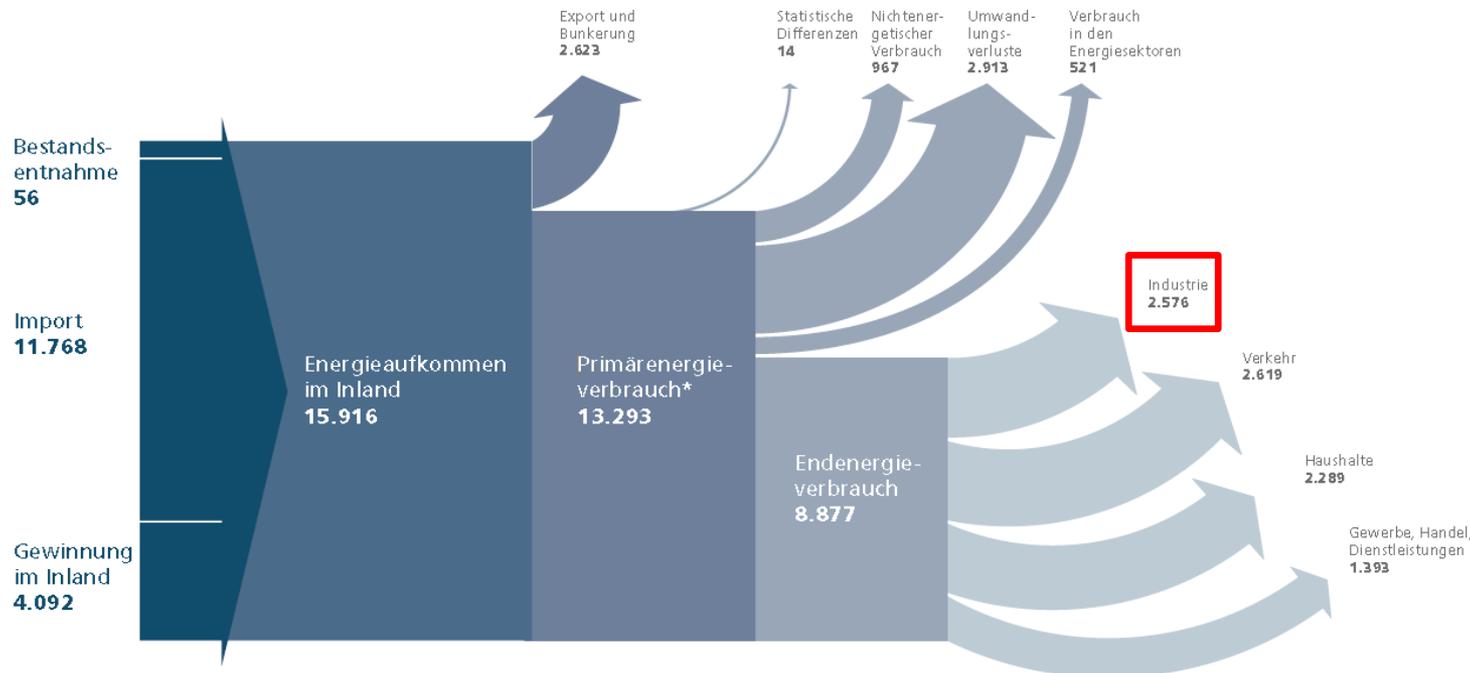
Regenerativwirtschaft mit (Ab)wärme?!



Energieflussbild 2015

für die Bundesrepublik Deutschland
in Petajoule (PJ)

Quelle: AG der Energiebilanzen



„Bis 2020 soll der Primärenergieverbrauch gegenüber 2008 um 20% und bis 2050 um 50% sinken. Das erfordert pro Jahr eine Steigerung der Energieproduktivität um durchschnittlich 2,1% bezogen auf den Endenergieverbrauch.“

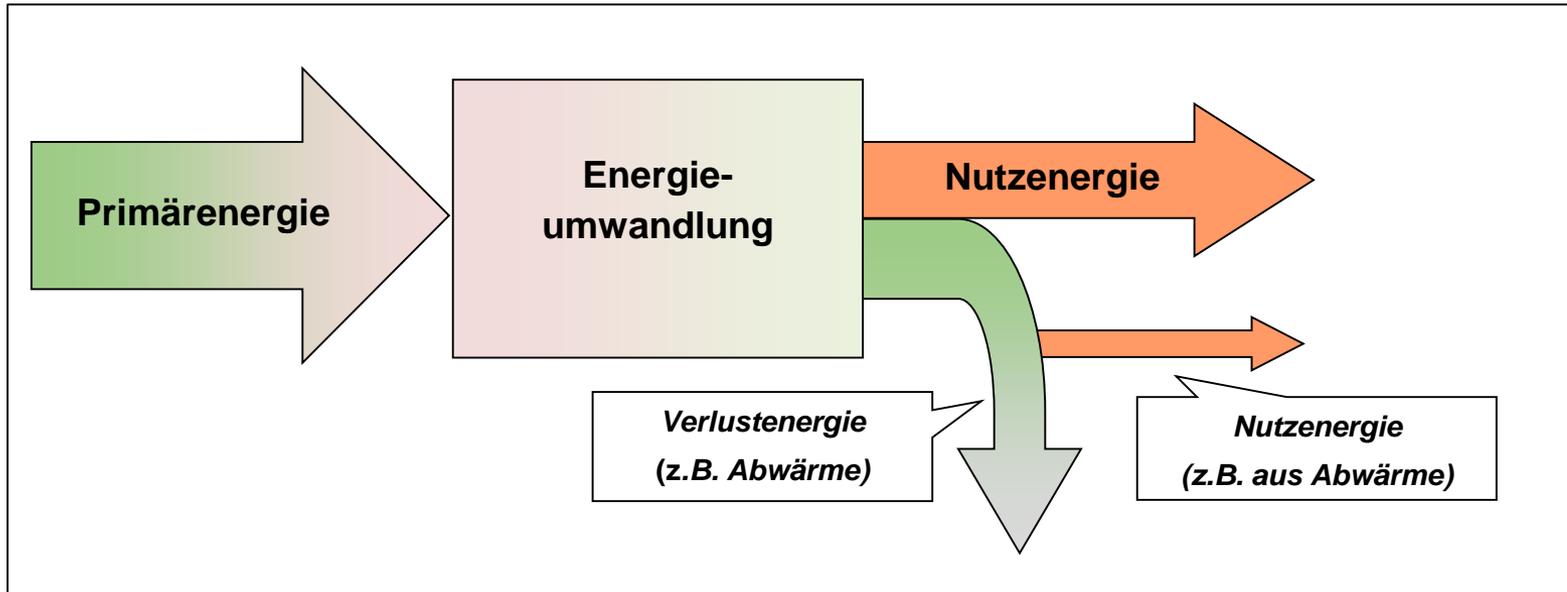
Quelle: Energiekonzept der Bundesregierung

Abwärme: Allgemeines & Technologie

Theoretisches Abwärmepotential national

Erste Ergebnisse des Forschungsverbundprojekts
„Abwärmeatlas“

Fazit



Grafik: IZES

1. Direkte Energieeffizienz

- Prozessoptimierung (Verlustminimierung)
- Wärmeweiter- bzw. Rückführung zu Prozessen

2. Verwertung der Abwärme

- Verstromung von Abwärme bei hohem Exergiegehalt ($> 100\text{ °C}$)
- Nutzung der Abwärme in Wärme- und Kältesenken ($< 100\text{ °C}$)

Gefasste Abwärmeströme sind an Medienströme gebunden. Hierzu gehören vor allem Abluft- und Abgasströme, Kühlflüssigkeiten sowie der Wärmeinhalt des aus einem Prozess austretenden Gutes.

Eine Abwärmennutzung ist hier in den meisten Fällen technisch möglich.

Diffuse Abwärme entsteht großflächig vorwiegend durch Strahlung und Konvektion wie bspw. Oberflächenverluste von Anlagen oder Transmissionsverluste von beheizten Gebäuden.

Die technische Nutzbarkeit der Abwärme ist hier als Herausforderung zu sehen (Wärmetauscher?)!

Vergleich von Abwärmetechnologien:

Kriterien Abwärmenutzungstechnologien	Technologien zur Nutzung von Abwärme									
	Thermoelektrische Generatoren	Dampfkraftprozess	Kalina Cycle	Organic Rankine Cycle (Turbine)	Stirlingmotoren	Wärmepumpen	Fern- und Nahwärmenetze	Kältenetze	Kälteanlagen (Absorption)	Kälteanlagen (Adsorption)
Stand der Technik	↓	↑	↓	→	↓	↑	↑	↑	→	→
Nutzbare Abwärmemetemperaturniveaus (T bis 100°C)	-	-	→	→	-	↑	↑	↑	↓	↓
Nutzbare Abwärmemetemperaturniveaus (T >100°C bis 350°C)	↑	→	↑	↑	↑	-	-	-	↑	↑
Nutzbare Abwärmemetemperaturniveaus (T >350°C)	↑	↑	-	-	↑	-	-	-	-	-
Stabilität/ Degradationsverhalten	→	↑	↓	→	→	↑	↑	↑	→	↑
Kosten	↑	↑	↑	→	→	-	→	↑	→	↑
F&E Bedarf	↑	→	↑	→	↑	↓	↓	→	→	→
<u>Legende:</u>	↑ hoch gut → mittel verbesserungswürdig ↓ gering deutlich verbesserungswürdig									

Tabelle: IZES & FH IPM im Rahmen des Forschungsprojekts „Abwärmeatlas“

WZ Schlüssel	Bezeichnung (Verarbeitendes Gewerbe)	Betriebe	(End-) Energieverbrauch insgesamt (Kohle, Heizöl, Erdgas, Strom)	Anteil in %	(End-) Energieverbrauch pro Betrieb	Mögliche th. Wärmenutzung W_{th}	Mögliche th. Stromnutzung W_{el}
		Anzahl	GJ	%	GJ/Betrieb	GWh	GWh
WZ08-24	Metallerzeugung und -bearbeitung	1.096	640.415.633	28,45%	584.321	64.170	10.695
WZ08-20	Herstellung von chemischen Erzeugnissen	1.559	505.618.167	22,46%	324.322	50.663	8.444
WZ08-23	H.v.Glas,-waren,Keramik, Verarb. v.Steinen u.Erden	3.236	198.700.598	8,83%	61.403	19.910	3.318
WZ08-17	Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus	974	162.223.465	7,21%	166.554	16.255	2.709
WZ08-05	Kohlenbergbau	42	143.702.389	6,38%	3.421.485	14.399	2.400
WZ08-10	Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln	5.175	136.350.314	6,06%	26.348	13.662	2.277
WZ08-19	Kokerei und Mineralölverarbeitung	66	64.628.778	2,87%	979.224	6.476	1.079
WZ08-29	Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen	1.369	62.190.444	2,76%	45.428	6.231	1.039
WZ08-25	Herstellung von Metallerzeugnissen	7.109	58.639.877	2,60%	8.249	5.876	979
WZ08-28	Maschinenbau	6.027	51.900.238	2,31%	8.611	5.200	867
WZ08-22	Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	3.144	46.621.008	2,07%	14.829	4.671	779
WZ08-11	Getränkeherstellung	621	21.051.605	0,94%	33.900	2.109	352
WZ08-27	Herstellung von elektrischen Ausrüstungen	2.210	19.561.097	0,87%	8.851	1.960	327
WZ08-26	H.v. DV-Geräten, elektron. u. opt. Erzeugnissen	1.780	18.876.910	0,84%	10.605	1.891	315
WZ08-08	Gewinnung von Steinen und Erden, sonstiger Bergbau	1.053	18.577.628	0,83%	17.643	1.861	310
WZ08-16	H.v. Holz-, Flecht-, Korb-u.Korkwaren (ohne Möbel)	1.270	16.053.613	0,71%	12.641	1.609	268
WZ08-13	Herstellung von Textilien	794	15.523.495	0,69%	19.551	1.555	259
WZ08-18	H.v. Druckerz., Vervielf.v.Ton-,Bild-,Datenträgern	1.643	13.442.415	0,60%	8.182	1.347	224
WZ08-21	Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen	305	11.767.102	0,52%	38.581	1.179	197
WZ08-32	Herstellung von sonstigen Waren	1.577	11.041.675	0,49%	7.002	1.106	184
WZ08-31	Herstellung von Möbeln	1.056	10.812.192	0,48%	10.239	1.083	181
WZ08-06	Gewinnung von Erdöl und Erdgas	29	9.099.438	0,40%	313.774	912	152
WZ08-30	Sonstiger Fahrzeugbau	290	6.423.739	0,29%	22.151	644	107
WZ08-33	Reparatur u.Installation von Masch.u.Ausrüstungen	2.178	4.139.334	0,18%	1.901	415	69
WZ08-12	Tabakverarbeitung	27	1.558.065	0,07%	57.706	156	26
WZ08-14	Herstellung von Bekleidung	381	1.424.174	0,06%	3.738	143	24
WZ08-15	Herstellung von Leder, Lederwaren und Schuhen	168	906.286	0,04%	5.395	91	15
WZ08-09	Dienstleistungen f.d.Bergbau u.Gewinnung v.Steinen	13	64.953	0,00%	4.996	7	1
Summe		45.192	2.251.314.631	1 €	49.817	225.582	37.597

(Durchschnitt)

Tabelle: Darstellung des verarb. Gewerbes (WZ 2008 ; 2-Stellen) sortiert nach Endenergieverbrauch und den möglichen theoretischen Potentialen für eine Abwärmenutzung, IZES gGmbH (Datenquelle: Stat. Bundesamt)

Ergebnis:

225 TWh/a theoretisch nutzbare (Ab)Wärme ; ~ 60 Mio. tCO2/a

(mit 270 g/kWh CO2 für den Wärmemix)

37 TWh/a theoretisch nutzbarer Strom aus Abwärme ; ~ 22 Mio. tCO2/a

(mit 601 g/kWh CO2 für den Strommix)

Abwärmeatlas

Erhebung, Abschätzung und Evaluierung von industrieller Abwärme in Deutschland - Potentiale und Forschungsbedarf

FKZ: 03ET1208

Laufzeit: 2015 - 2018 (3 Jahre)

Projektkoordinator:

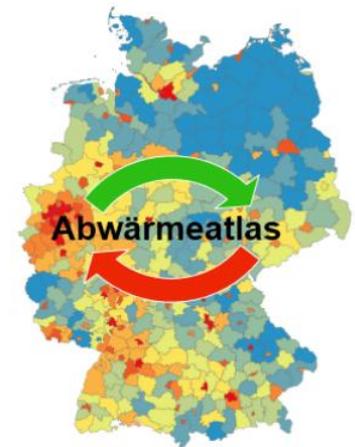
Fraunhofer Institut für Physikalische Messtechnik (IPM)

Projektpartner:

Institut für Demoskopie Allensbach (IfD)

IZES gGmbH (Institut für ZukunftsEnergieSysteme)

Gefördert von Seiten des BMWi/PtJ



Abwärmeatlas - Arbeitspakete

AP1: Branchenanalyse-Fragebogen, abgeschlossen

AP2: Durchführung Erhebung, Juli16' abgeschlossen

AP3: Auswertung Erhebung, aktuell in Arbeit

AP4: Vorort-Untersuchungen, in Arbeit

AP5: Technologiebewertung, in Arbeit

AP6: Abschlussbericht

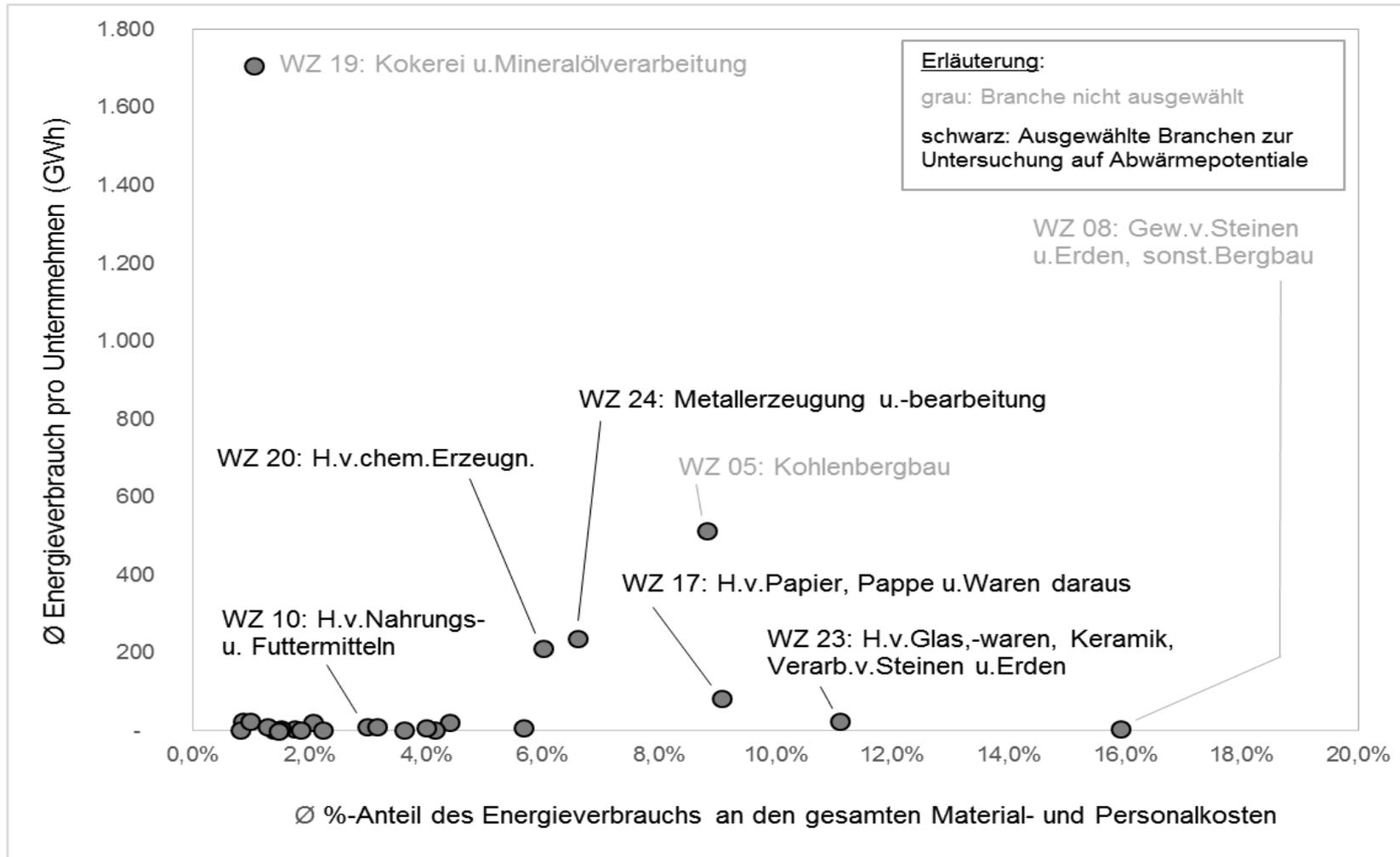
AP7: Projektkoordination

Abwärmeatlas – AP1: Branchenanalyse-Fragebogen

→ Methodik zur Auswahl geeigneter Branchen

Anhand der verfügbaren Daten, erscheinen die Branchen vielversprechend, die

- einen hohen, absoluten Energieverbrauch haben (u.a. abhängig von der durchschnittlichen Unternehmensgröße)
- einen hohen Anteil der Energiekosten an den Herstellungskosten haben um auch solche Branchen zu erfassen, die u.U. durch eine tendenziell kleinere Unternehmensgröße gekennzeichnet sind.
- Diese Werte lassen sich in ein **Scatterplot** übertragen und solche Branchen, die über einer definierten Grenze liegen erscheinen als vielversprechend hinsichtlich der verfügbaren Abwärmepotentiale
- Die Liste ist um die Eigenheiten der jeweiligen (Grund-)Prozesse zu bereinigen (Temperaturniveau, Art der Abwärme (Strahlungswärme vs. Abgas))



Grafik: IZES

→ Bereinigter Scatterplot mit den ausgewählten fünf Branchen (2-Steller)

Abwärmeatlas – AP1: Branchenanalyse-Fragebogen

→ Gemeinsam im Konsortium entwickelt inkl. Pretests

Fragebogen:

- Energieverbräuche/Energieträger
- Großverbraucher
- Produktionsanlagen:
 - Prozesswarmwasser
 - Prozesswärme
 - Kälte/Kühlung
 - Druckluft
- Statistika (Schichtmodelle, QM-Systeme, etc.)

Berechnung von
Abwärmepotentialen

Wärmeträgermedium, Volumestrom, Temperatur, Laufzeit

INSTITUT FÜR DEMOSKOPIE ALLENSBACH

Für Formulierung und Anordnung
alle Rechte beim IHD!

Erhebung, Abschätzung und Evaluierung
von industrieller Abwärme
12/2014
November 2015

Bitte kreuzen Sie die jeweils zutreffenden Kästchen an. Die Meinen Zahlen neben den Kästchen
werden nur für die Auswertung gebraucht. Für Sie sind diese Zahlen ohne Bedeutung!

1. Betriebszeiten

1. Zunächst einige Angaben zu den Betriebslaufzeiten:

a) Schichtmodell im Betrieb: 1. Schichtbetrieb 1
2. Schichtbetrieb 2
3. Schichtbetrieb 3

b) Modi an Betriebstagen
An wie vielen Tagen einer normalen Arbeitswoche läuft der Produktionsbetrieb? Tage/Woche

c) Jahresbetriebszeiten
Läuft die Produktion das ganze Jahr durchgängig, oder gibt es in Ihrem Betrieb längere Ruhezeiten,
also kompletten Stillstand aller Produktionsprozesse? 1 → Weiter mit Frage 2!
Längere Ruhezeiten 2

d) Wie lange dauert die Betriebsruhe im Jahr insgesamt? Tage
..... Wochen
..... Monate

2. Energieverbrauch

2. Bitte teilen Sie uns nachfolgend mit, welche Energieträger in Ihrem Betrieb genutzt werden und für jeden
dieser Energieträger den Jahresverbrauch in Ihrem Betrieb sowie den maximalen Leistungsbedarf bzw.
die installierte Leistung der einzelnen Energieträger:

Strom	Jahresverbrauch	MWh/Jahr
	Max. Leistungsbedarf (Jahresspitzenleistung)	kW
	Installierte Leistung	kW

Erdgas

Jahresverbrauch	m ³ /Jahr
-----------------	----------------------

Bild: Allensbach

Abwärmeatlas – AP2: Durchführung Erhebung

- Versand von insgesamt rund 7.400 Motivationsschreiben
- Versand von insgesamt 2.968 Fragebögen an auskunftswillige Unternehmen
- Telefonische Nachfassaktion bei knapp 2.000 Unternehmen
- Nachversand von zusätzlich 625 Fragebögen
- Rücklauf von **570 ausgefüllten** Fragebögen (Stand: 13. Juni)
- Ausschöpfungsquote:
 - Insgesamt rund 20 Prozent
 - Rund 11 Prozent der Fragebögen kamen spontan ausgefüllt zurück

→ **Durchführung der Erhebung: Dezember 2015 - Juli 2016** Quelle: Allensbach

Abwärmeatlas – AP2: Durchführung Erhebung

WZ	Branche	Größenklassen			Summe
		< 50	51-200	201+	
10	Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln	39	36	30	105
17	Herstellung von Papier, Pappe und Waren daraus	33	47	21	101
20	Herstellung von chemischen Erzeugnissen	30	59	35	124
23	Herstellung von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	27	47	23	97
24	Metallerzeugung und -bearbeitung	33	56	54	143
		162	245	163	570

Tabelle: Allensbach

→ **Repräsentativität ist gegeben!**

Abwärmeatlas – AP3: Auswertung Erhebung

- Programmierung eines spezifischen Eingabeprogramms
- Erfassung bzw. Eingabe der Fragebögen
- Übertragung der (vorläufigen) Daten in einen Excel-Datensatz
- Plausibilitätsprüfungen und Cleaning des Datensatzes
- Übertragung der Daten auf das Auswertungsprogramm des IfD Allensbach
- Erstellung eines Tabellenbandes mit vorläufigen Analysegruppen
- **Erste Analysen und Auswertungen auf Basis von 481 eingegebenen Fragebögen**

Quelle: Allensbach

Managementsysteme werden vor allem in größeren Betrieben genutzt

Frage: "Nutzen Sie in Ihrem Unternehmen Systeme zum Qualitäts-, Umwelt- oder Energiemanagement?"

Es nutzen im Unternehmen Systeme zum –	Betriebe insgesamt %	Unternehmensgröße		
		Klein %	Mittel %	Groß %
Qualitätsmanagement (z.B. ISO 9000)	65	39	69	84
Umweltmanagement (z.B. ISO 14001)	35	10	33	62
Energiemanagement (z.B. ISO 50002)	52	16	55	83
Es nutzen keine Managementsysteme	17	40	12	2

Basis: Bundesrepublik Deutschland, Unternehmen aus energieintensiven Branchen des verarbeitenden Gewerbes
Quelle: Allensbacher Archiv, IfD-Umfrage 7215

© IfD-Allensbach

Quelle: Allensbach

Gibt es im eigenen Betrieb Untersuchungen zur Abwärmenutzung?

Frage: "Während des Produktionsprozesses oder beim Betrieb von Gebäuden entsteht Abwärme, die durch bestimmte Verfahren energieeffizient in den Produktionsprozess zurückgeführt bzw. für den Gebäudebetrieb genutzt werden kann. Gibt es in Ihrem Betrieb Untersuchungen über Möglichkeiten zur Abwärmenutzung?"



Ja, es gibt im Betrieb Untersuchungen über Möglichkeiten der Abwärmenutzung –

Branche

Nahrungsmittel-industrie	61 %
Papierindustrie	63
Chemische Industrie	66
Glas, Keramik, Steine	57
Metallerzeugung	67

Unternehmensgröße

Klein	30
Mittel	68
Groß	87

Basis: Bundesrepublik Deutschland, Unternehmen aus energieintensiven Branchen des verarbeitenden Gewerbes

Quelle: Allensbacher Archiv, IfD-Umfrage 7215

© IfD-Allensbach

Quelle: Allensbach

Gut jedes zweite Unternehmen nutzt bereits eigene Abwärme

Frage: "Wird in Ihrem Betrieb bereits Abwärme genutzt bzw. planen Sie die Nutzung?"

	Betriebe insgesamt	Branchen					Unternehmensgröße		
		Nahrungsmittel-industrie	Papier-industrie	Chemische Industrie	Glas, Keramik, Steine	Metall-erzeugung	Klein	Mittel	Groß
	%	%	%	%	%	%	%	%	
Ja, bereits genutzt	54	63	51	52	55	55	29	56	77
Ja, Nutzung geplant	11	10	14	11	4	14	8	13	10
Nein, bisher kein Thema	28	20	29	33	28	25	52	25	8
Keine Angabe	7	7	6	4	13	6	11	6	5
	100	100	100	100	100	100	100	100	100

87 Prozent der Betriebe können nicht abschätzen, wie viel Abwärme bei ihnen im Betrieb pro Jahr entsteht !

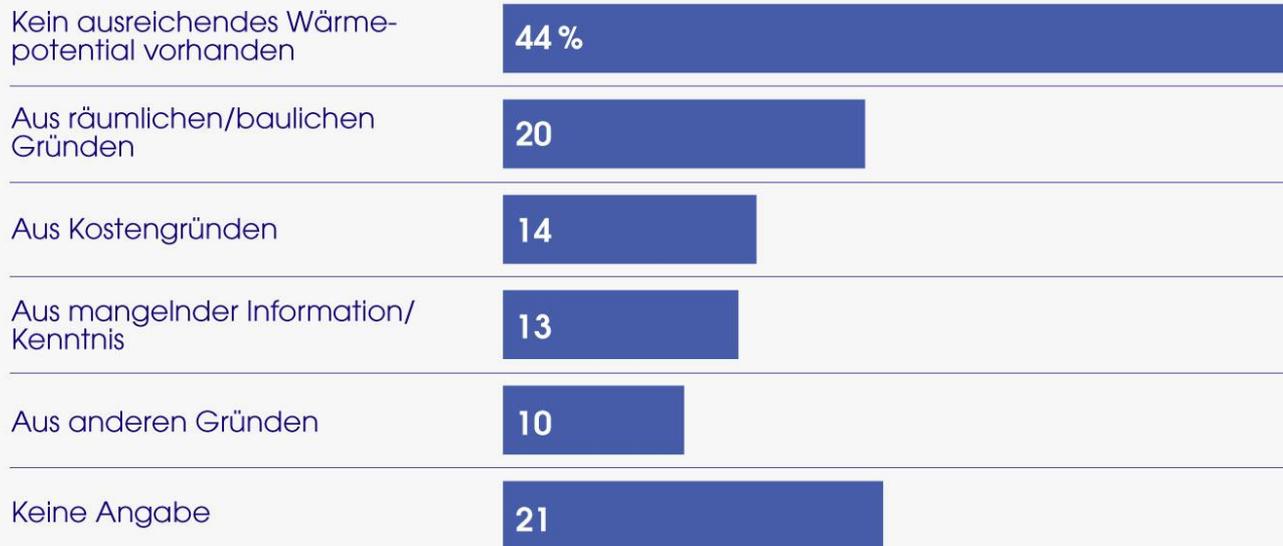
Basis: Bundesrepublik Deutschland, Unternehmen aus energieintensiven Branchen des verarbeitenden Gewerbes
Quelle: Allensbacher Archiv, IfD-Umfrage 7215

© IfD-Allensbach

Quelle: Allensbach

Gründe, die gegen eine Nutzung sprechen

Frage an Betriebe, die bisher keine Abwärme nutzen und auch keine Nutzung planen:
"Warum nutzen Sie bislang keine Abwärme in Ihrem Betrieb?"



Basis: Bundesrepublik Deutschland, Unternehmen aus energieintensiven Branchen des verarbeitenden Gewerbes, die bislang keine Abwärme nutzen
Quelle: Allensbacher Archiv, IfD-Umfrage 7215

© IfD-Allensbach

Quelle: Allensbach

Der Anteil der Energiekosten an den Gesamtkosten des Betriebs

Frage: "Wie hoch ist der Anteil der Energiekosten an den Gesamtkosten Ihres Betriebs?"

	Betriebe insgesamt	Unternehmensgröße			Branchen				
		Klein	Mittel	Groß	Nahrungsmittel-industrie	Papier-industrie	Chemische Industrie	Glas, Keramik, Steine	Metall-erzeugung
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Unter 5 Prozent	29	31	29	28	30	34	33	16	31
5 – unter 10 Prozent	17	24	14	15	18	13	15	20	19
10 – unter 20 Prozent	14	12	14	14	12	19	9	13	15
20 Prozent und mehr	8	6	10	8	8	3	6	21	6
Keine Angabe	32	27	33	35	32	31	37	30	29
	100	100	100	100	100	100	100	100	100

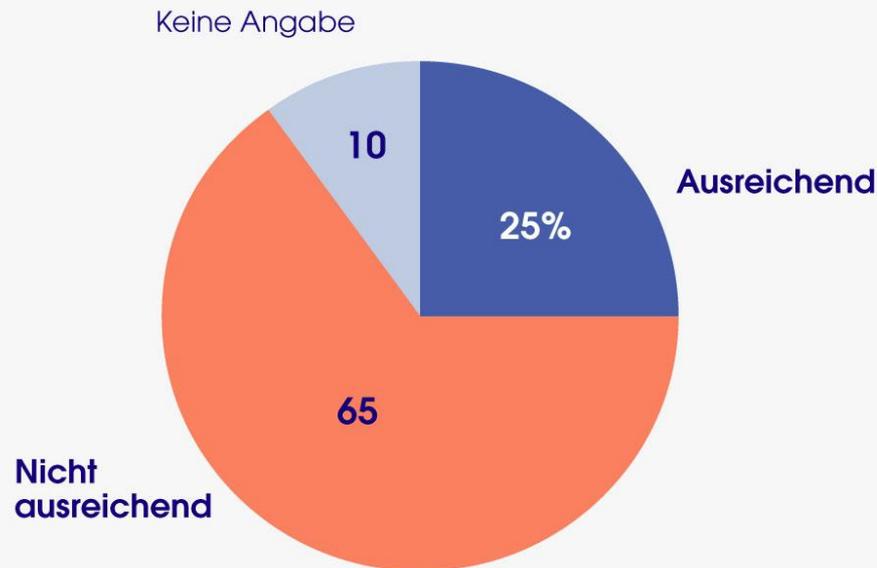
Basis: Bundesrepublik Deutschland, Unternehmen aus energieintensiven Branchen des verarbeitenden Gewerbes
Quelle: Allensbacher Archiv, IfD-Umfrage 7215

© IfD-Allensbach

Quelle: Allensbach

Die große Mehrheit der Unternehmen hält die staatliche Unterstützung für nicht ausreichend

Frage: "Wenn Sie daran denken, was der Staat tun kann, um Unternehmen bei der Abwärmee-nutzung zu unterstützen: Ist das aus Ihrer Sicht ausreichend, oder nicht ausreichend?"



Basis: Bundesrepublik Deutschland, Unternehmen aus energieintensiven Branchen des verarbeitenden Gewerbes
Quelle: Allensbacher Archiv, IfD-Umfrage 7215

© IfD-Allensbach

Quelle: Allensbach

Auszug (Frage 10): Abwärme aus Prozessen, berechnet.

Branche	Abwärmemedium	Min. Temp. °C	Max. Temp. °C	Mittelwert Temp. °C	Abwärmepotential in MWh/a
Papierindustrie, Herstellung von Papier	Abluft	32	300	114	55.192
Papierindustrie, Herstellung von Papier	Dampf	105	510	184	252.460
Papierindustrie, Herstellung von Papier	Dampf	105	510	184	128.826
Nahrung- und Futtermittelverarbeitung	Abluft	32	300	114	14.797
Nahrung- und Futtermittelverarbeitung	Abluft	32	300	114	56.422
Nahrung- und Futtermittelverarbeitung	Abluft	32	300	114	29.932
Metallerzeugung und -bearbeitung	Abluft	32	300	114	64.475
Metallerzeugung und -bearbeitung	Abluft	32	300	114	24.707
Metallerzeugung und -bearbeitung	Abluft	32	300	114	8.689
Metallerzeugung und -bearbeitung	Abluft	32	300	114	64.289
Herstellung von Gummi, Kunststoffen und anderen anorganischen Grundstoffen	Abluft	32	300	114	83.543
Herstellung von Gummi, Kunststoffen und anderen anorganischen Grundstoffen	Abluft	32	300	114	187.236
Herstellung von Gummi, Kunststoffen und anderen anorganischen Grundstoffen	Abluft	32	300	114	1.735
Chemische Industrie	Abluft	32	300	114	56.315
Chemische Industrie	Dampf	70	330	175	99.453
Chemische Industrie	Rauchgas	115	115	115	455
Chemische Industrie	Thermoöl	200	200	200	9.024
Chemische Industrie	Wasser	38	200	93	7.230
					1.144.779
					> 1 TWh/a

Weitere Ergebnisse in Arbeit

Tabelle: IZES & FH IPM

→ Für 481 ausgewertete Fragebögen: ~ 1 TWh berechnetes Abwärmepotential

Aktuelle Hemmnisse sind (nach wie vor) von informeller, technischer- und ökonomischer Natur:

- Vielen Betrieben ist unklar, wieviel Abwärme aus ihrer Produktion an die Umgebung abgegeben wird und dass diese in bestimmten Fällen genutzt werden kann.
- Technisch müssen sich Abwärmetechnologien weiterentwickeln (**Wärmeübertrager**, Erzeugungsanlagen) um die aktuellen Potentiale und neue Potentiale besser heben zu können
 - **Entwicklung modulare & maßgeschneiderte Lösungen**
 - **Verstromung: ORC & Thermoelektrik**
 - **Kälte aus Wärme**
- Die ökonomischen Rahmenbedingungen für Investitionen in Betrieben unterliegen strengen wirtschaftlichen Kriterien (ROI). In vielen Fällen können Abwärmetechnologien diese nicht ohne entsprechende Anreize erfüllen!

Guillem Tänzer
Wiss. Mitarbeiter AF EM
Tel.: +49 (0)681 9762-855
E-Mail: taenzer@izes.de

Patrick Hoffmann
Wiss. Mitarbeiter AF EM
Tel.: +49 (0)681 9762-839
E-Mail: hoffmann@izes.de

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Adresse:

IZES gGmbH
Altenkesseler Str. 17, Gebäude A1
D-66115 Saarbrücken

Sekretariat
Tel.: +49 (0)681 9762-840, -170
Fax: +49 (0)681 9762-850
E-Mail: izes@izes.de