



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE

BFE Forschungsprogramm Industrielle Prozesse

1. CH ORC-Symposium, HSLU , 21. Nov. 2014



Forschungsprogramm Management
Martin Pulfer Michael Spirig
Bundesamt für Energie Fomenta AG



**Abwärmeverstromung:
Sicht des Bundes, Forschung - Umsetzung**



Sicht des Bundes Post Fukushima

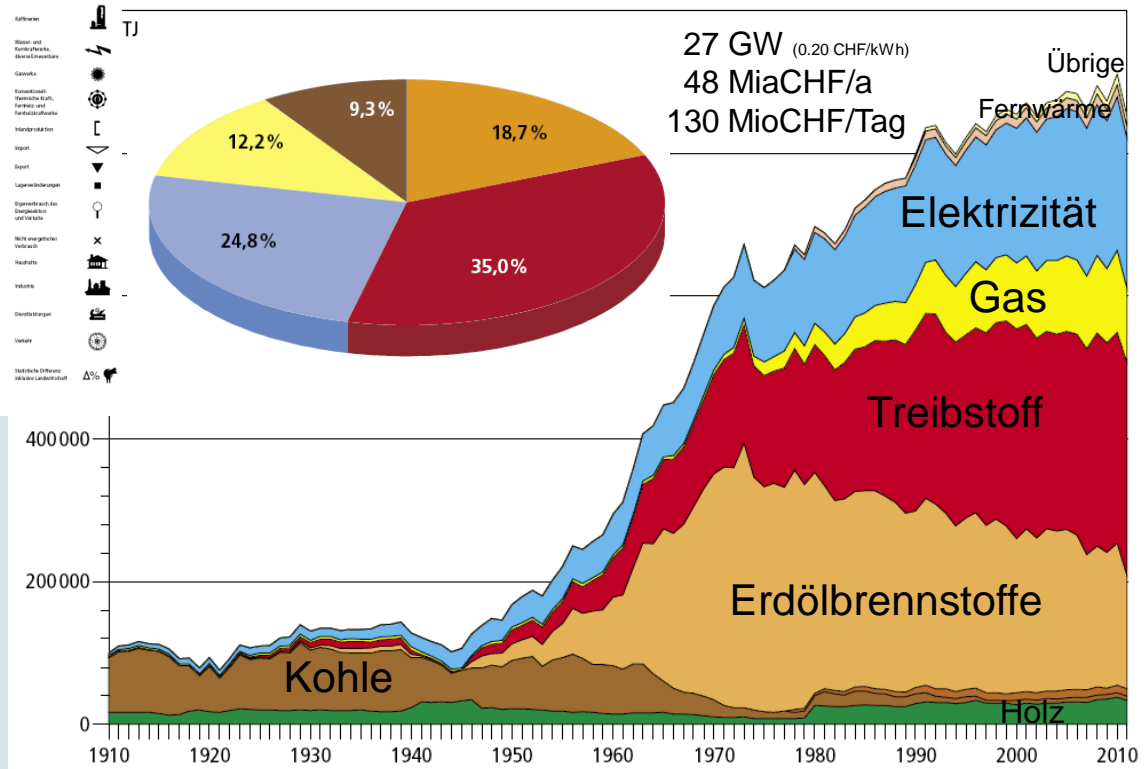
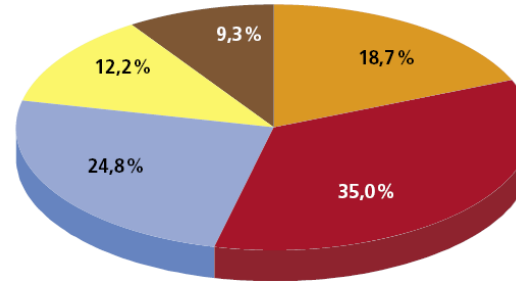
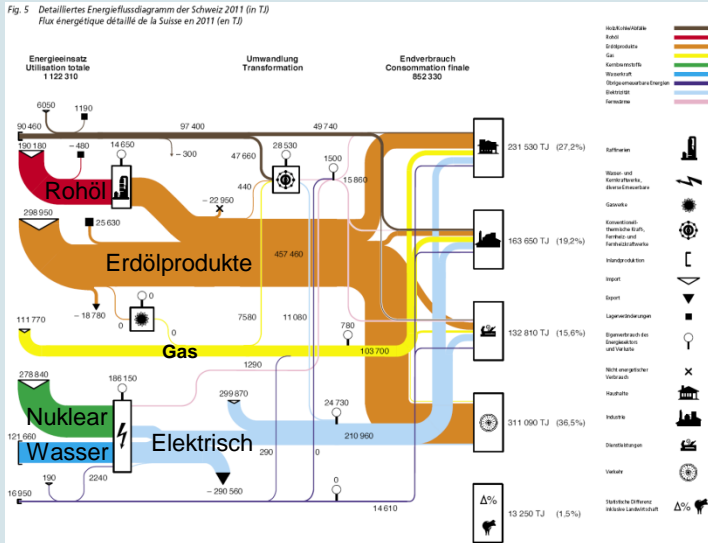


Nach (oder vor!) Fukushima stand einiges Kopf, was im Kopf ein Wende auslöste.



Energiefluss und -Verbrauch (nach Energieträger) Schweiz 2011

Fig. 5 Detailliertes Energieflussdiagramm der Schweiz 2011 (in TJ)
Flux énergétique détaillé de la Suisse en 2011 (en TJ)



Verbrauch pro Kopf um 6kW, 75% C-lastige Energieträger - AKW-Strom im Fokus



Haltung des Bundesrates Zur künftigen Stromversorgung

- Der Bundesrat will eine saubere, sichere, weitgehend autonome und wirtschaftliche Stromversorgung
- Die bestehenden Kernkraftwerke werden am Ende ihrer sicherheitstechnischen Betriebszeit vom Netz genommen
- Es werden keine neuen Kernkraftwerke gebaut
- Die Energiestrategie wird neu ausgerichtet
- **Die heutigen Klimaziele werden weiterverfolgt. Eine allfällige zusätzliche fossile Stromproduktion muss auf ein absolutes Minimum reduziert werden.**

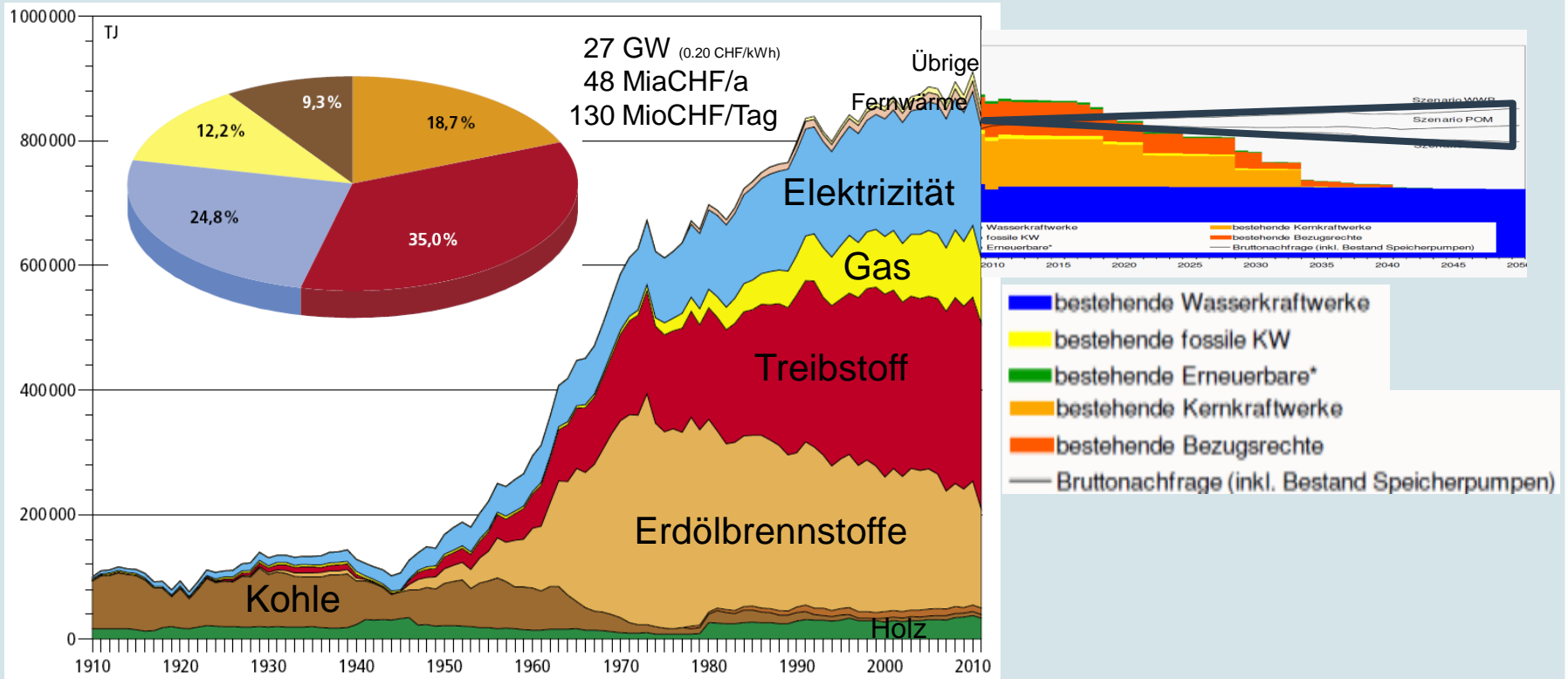
BRB vom 25. Mai 2011

Wunsch → Realisierung ist ein Lern-Prozess



Energie Träger ...Strom

Vergangenheit (seit 1910) und Zukunft (bis 2050)

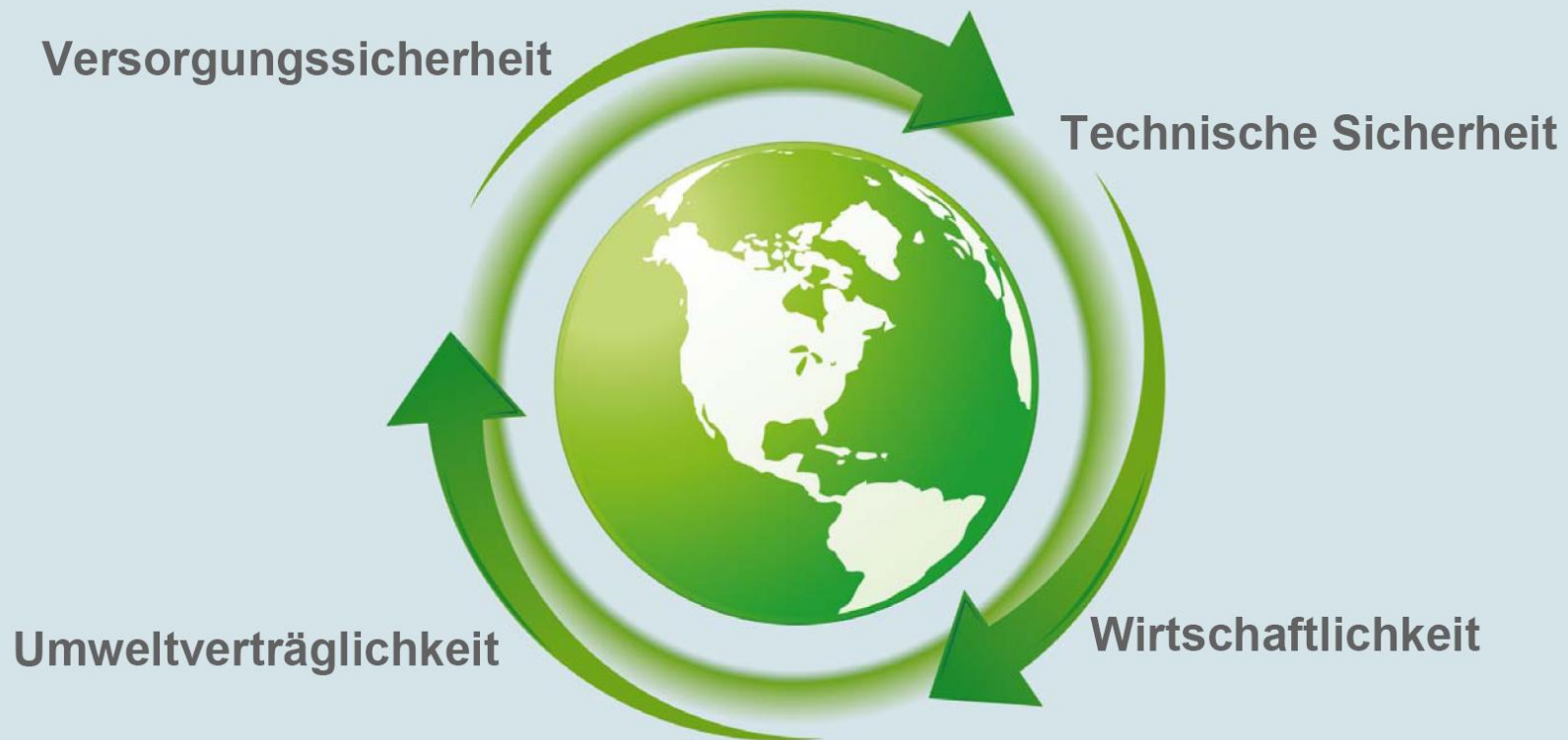


Von wo kommt der fehlende Strom nach 2020? Bis 2050 ca. 3-5GW (je nach Senario)



Energiepolitik

Um was dreht es sich?





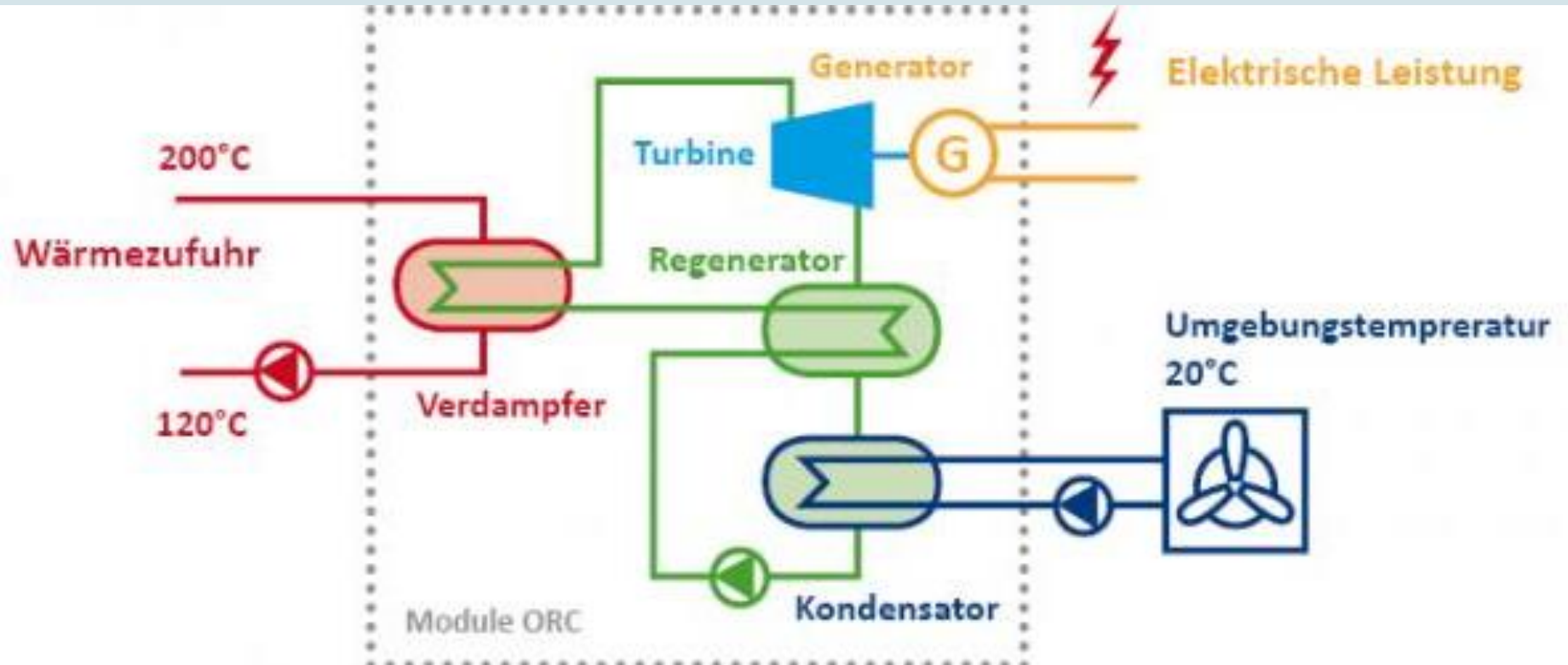
Energiestrategie Randbedingungen





Sicht des Bundes

Abwärme - ORC





Energieperspektiven (Basis für Energiestrategie 2050)

Abwärme – Stromproduktion (ORC)

Abwärme

Previous

No matches were found.

Tabelle 1: Annahmen zu den Szenarien „Weiter wie bisher“, „Massnahmen Bundesrat“ und „Neue Energiepolitik“

Weiter wie bisher	Politische Massnahmen des Bundesrates	Neue Energiepolitik
Private Haushalte, Gebäude		
<ul style="list-style-type: none"> • moderate Fortschreibung MuKEN • Gebäudeprogramm 200 Mio. Fr. • Förderung Erneuerbare aus Gebäudeprogramm • moderate Fortschreibung Standards 	<ul style="list-style-type: none"> • Verschärfung MuKEN • Ersatz Widerstandsheizungen • Gebäudeprogramm 300 Mio. Fr ab 2014 600 Mio. Fr. ab 2015 • Standardverschärfungen Geräte, Haustechnik • Ersatzneubauten • SIA 380/4 in Mehrfamilienhäusern und gemischten Wohngebäuden verbindlich 	<p>strategische Oberziele:</p> <ul style="list-style-type: none"> • CO₂-Emissionen bis 2050 1-1.5 t pro Kopf. • begrenzte nachhaltige Biomassepotenziale <p>abgeleitete strategische Voraussetzungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Effizienz vor Erneuerbaren • Raumwärme wegsparen
Industrie und Dienstleistungen		
<ul style="list-style-type: none"> • wettbewerbliche Ausschreibungen 16 - 27 Mio. CHF/a • freiwillige Selbstverpflichtungen 	<ul style="list-style-type: none"> • wettbewerbliche Ausschreibungen 100 Mio. Fr. pro Jahr • Effizienzboni bzw. auf CO₂-Abgabe und KEV-Umlage • Optimierung Gebäudebetrieb • Förderung ORC-Anlagen 	<ul style="list-style-type: none"> • Stromeffizienz wesentlich (u.a. Kühlung) • Elektromobilität notwendig • Leichte Veränderungen in Verkehrsmengen und modal split • Biomassen prioritär in Güterverkehr und WKK - Stromproduktion
Verkehr		
<ul style="list-style-type: none"> • Emissionsgrenzwerte EU-Richtlinie (130 bzw. 95 g CO₂/km) in 2030 erreicht • Effizienzverbesserung Verkehrsgestaltung 	<ul style="list-style-type: none"> • verschärfte Flottengrenzwerte Emissionsgrenzwerte EU-Richtlinie (130 bzw. 95 g CO₂/km) in 2020 erreicht, (35 g CO₂/km in 2050) • Verkehrsorganisation 	

Quellen: BFE, Prognos 2012

**Das Wort “Abwärme” kommt in den Energieperspektiven nicht vor!
 “ORC Förderung” ist eine Annahme im Szenario “Politische Massnahmen des BR”**



Energiestrategie 2050

Stossrichtungen – Ansatzpunkte für ORC

1. Energieeffizienz erhöhen; Energieverbrauch senken; Stromverbrauch stabilisieren
2. Anteil der erneuerbare Energien erhöhen; soweit erforderlich: Restbedarf durch fossile Stromproduktion und Importe decken
3. Zugang zu internationalen E-märkten sicherstellen
4. Um- und Ausbau der elektrischen Netze und Energiespeicherung vorantreiben
5. Energieforschung verstärken
6. Vorbildfunktion der öffentlichen Hand wahrnehmen
7. Internationale Zusammenarbeit im Energiebereich intensivieren

Abwärmenutzung ist keine explizite Stossrichtung – Keine direkten Ansatzpunkte für ORC Einsatz – Dennoch positive Sicht Dank indirekter Ansatzpunkte.



Erstes Massnahmenpaket der Energiestrategie 2050

BR Botschaft (Revision des Energierechts, 4. Sept 2013) I

Bund und Kantone verfolgen im Gebäudebereich eine gesamtheitliche Strategie zur möglichst weitgehenden Ausschöpfung der Potenziale in den Bereichen Energieeffizienz, erneuerbare Energien sowie Abwärme im Strom- und Wärmebereich. Langfristig soll der Gebäudepark CO₂-frei werden. Konkret werden folgende Ziele verfolgt:

Die Massnahmen, für die Globalbeiträge gewährt werden können, werden auf die Fördertatbestände im Rahmen der Artikel 53 (Information und Beratung), 54 (Aus- und Weiterbildung) und 56 EnG (Energie- und Abwärmenutzung) ausgeweitet. Die Kantone können künftig – unterstützt durch Globalbeiträge des Bundes – Massnahmen in den Bereichen Gebäudehülle, vermehrte Nutzung erneuerbarer Energien und Abwärme, Ersatz ortsfester elektrischer Widerstandsheizungen, Stromeffizienzmassnahmen, Aus- und Weiterbildungs- sowie Informations- und Beratungsmassnahmen für Architekten, Planer, Installateure sowie Gebäudebesitzer fördern. Es

Energieeffizienz im Bereich Industrie und Dienstleistung

Nun werden folgende Ziele verfolgt: Effizienzpotenziale und vorhandene Abwärme in Industrie- und Dienstleistungsunternehmen werden so weit als möglich ausgeschöpft. Die wirtschaftlichen Potenziale stehen im Vordergrund.

Ausbau der wettbewerblichen Ausschreibungen

Zusätzlich wird die Möglichkeit geschaffen, in ausgewählten Fällen künftig auch Effizienzmassnahmen in der bisher explizit ausgeschlossenen *Elektrizitätsproduktion und -verteilung* zu unterstützen (inklusive Förderung von Produktion von Strom aus nicht anders verwertbarer Abwärme). Diese Vorhaben fanden in der Vernehmlassung mehrheitlich Unterstützung.

Abwärme im Gebäudebereich sowie Industrie und DL soweit als möglich nutzen. Wettbewerbliche Ausschreibung, explizit auch für Strom aus verwertbarer Abwärme.



Erstes Massnahmenpaket der Energiestrategie 2050

BR Botschaft (Revision des Energierechts, 4. Sept 2013) II

Unterstützende Massnahmen

Im Rahmen des **Ausbaus von EnergieSchweiz** (vgl. Ziff. 4.2.12) sind flankierend folgende Massnahmen zur Unterstützung der Unternehmen mittels **Information, Beratung und Ausbildung** vorgesehen:

- Das Förderprogramm **Energetische Prozessintegration/Abwärmenutzung** soll **in energieintensiven Betrieben die Umsetzung der knapp nicht wirtschaftlichen Effizienzmassnahmen unterstützen**. Die finanzielle Förderung wird an die Energieeinsparung gekoppelt und in Abhängigkeit der Wirkung der Massnahmen bemessen.

schen Anlagen. **Andererseits sollen auch Massnahmen zur Produktion von Strom aus nicht anders verwertbarer Abwärme unterstützt werden**. Das Schwergewicht der Förderung soll aber auch künftig bei den **verbrauchsseitigen Massnahmen** einschliesslich Effizienzmassnahmen im Bereich der Elektromobilität liegen (Abs. 1 Bst. a).

Die Förderung wird vereinfacht und Überschneidungen zwischen CO₂- und Energiegesetz werden aufgehoben. Damit kann der gesamte teilzweckgebundene Ertrag der **CO₂-Abgabe für Massnahmen im Bereich der Energie- und Abwärmenutzung bei Gebäuden im Rahmen der Artikel 53, 54 und 56 EnG** verwendet werden. Darun-

**Unterstützende Massnahmen (Info, Beratung, Ausbildung) energieintensive Firmen.
Ertrag CO₂-Abgabe für Massnahmen u.a. im Bereich Abwärmenutzung**



Abwärme

Energie-Gesetz vom 26. Juni 1998 (Stand am 1. Mai 2014) I

Art. 3 Grundsätze

² Eine sparsame und rationelle Energienutzung bedeutet vor allem:

- d. verwendbare Abwärme zu nutzen.

Art. 6 Mit fossilen Brennstoffen betriebene Elektrizitätserzeugungsanlagen

Bevor die nach kantonalem Recht zuständige Behörde über den Bau neuer oder die Änderung bestehender, mit fossilen Brennstoffen betriebener Elektrizitätserzeugungsanlagen entscheidet, prüft sie:

- a. ob der Energiebedarf mittels erneuerbarer Energien sinnvoll gedeckt werden kann;
- b. wie die erzeugte Abwärme sinnvoll genutzt werden kann.

Art. 13 Energie- und Abwärmenutzung



Art. 56

Der Bund kann Massnahmen unterstützen:

- c. zur Nutzung der Abwärme, die insbesondere beim Betrieb von Kraftwerken sowie von Abfallverbrennungs-, Abwasserreinigungs-, Dienstleistungs- und Industrieanlagen anfällt.

Abwärme soll per EnG genutzt werden und es können Massnahmen dazu unterstützt werden.



Abwärme

Energie-Gesetz vom 26. Juni 1998 (Stand am 1. Mai 2014) II

Art. 15 Globalbeiträge an Programme nach Artikel 13²⁷

¹ Der Bund kann zur Förderung der Energie- und Abwärmenutzung (Art. 13) jährliche Globalbeiträge an die Kantone ausrichten. Er unterstützt Einzelprojekte in diesem Bereich nur in Ausnahmefällen.

² Globalbeiträge erhalten Kantone mit eigenen Programmen zur Förderung von Massnahmen zur sparsamen und rationellen Energienutzung sowie zur Nutzung von erneuerbaren Energien und Abwärme. Mindestens 50 Prozent des einem Kanton zugesprochenen Globalbeitrages sind zur Förderung von Massnahmen Privater reserviert.

Einzelprojekte fördern. Für Einzelprojekte zur Umsetzung der Massnahmen nach Artikel 56 gewährt er nur in Ausnahmefällen Finanzhilfen, insbesondere wenn:

- a. das Projekt von exemplarischer Bedeutung ist; oder
- b. das Einzelprojekt Teil eines Subventionsprogramms des Bundes ist, mit dem die Markteinführung neuer Technologien finanziell gefördert werden soll.

BR Botschaft zu Massnahmen Energiestrategie 2050 (4. Sept 2013)

→ Energie Schweiz, ProKilowatt

Art. 27 Enteignung

¹ Für das Erstellen von Anlagen zur Gewinnung von Geothermie und Kohlenwasserstoffen oder zur Nutzung von Abwärme, welche im öffentlichen Interesse stehen, können die Kantone enteignen oder dieses Recht Dritten übertragen.

**Beiträge an Kantone mit eigenem Programm sind möglich. → Welche Kt??
Bei nachgewiesenem öffentlichem Interesse könnten diese sogar enteignen!**



Abwärme

Energie-Gesetz (bisher nicht amtlich publizierte Fassung)

6. Kapitel:

Wettbewerbliche Ausschreibungen, Geothermie-Garantien und Entschädigung bei Wasserkraftwerken

Art. 34 Wettbewerbliche Ausschreibungen für Effizienzmassnahmen

Der Bundesrat kann wettbewerbliche Ausschreibungen für Effizienzmassnahmen vorsehen, insbesondere für Massnahmen:

- a. zur Förderung des sparsamen und rationellen Umgangs mit Elektrizität in Gebäuden, Unternehmen und Fahrzeugen;
- b. zur Reduktion von Umwandlungsverlusten bei elektrischen Anlagen zur Elektrizitätsproduktion- und -verteilung;
- c. zur Nutzung nicht anders nutzbarer Abwärme für die Elektrizitätsproduktion.

Wettbewerbliche Ausschreibungen zur Elektrizitätsproduktion aus Abwärme können vorgesehen werden (umgesetzt → ProKilowatt).



Abwärme

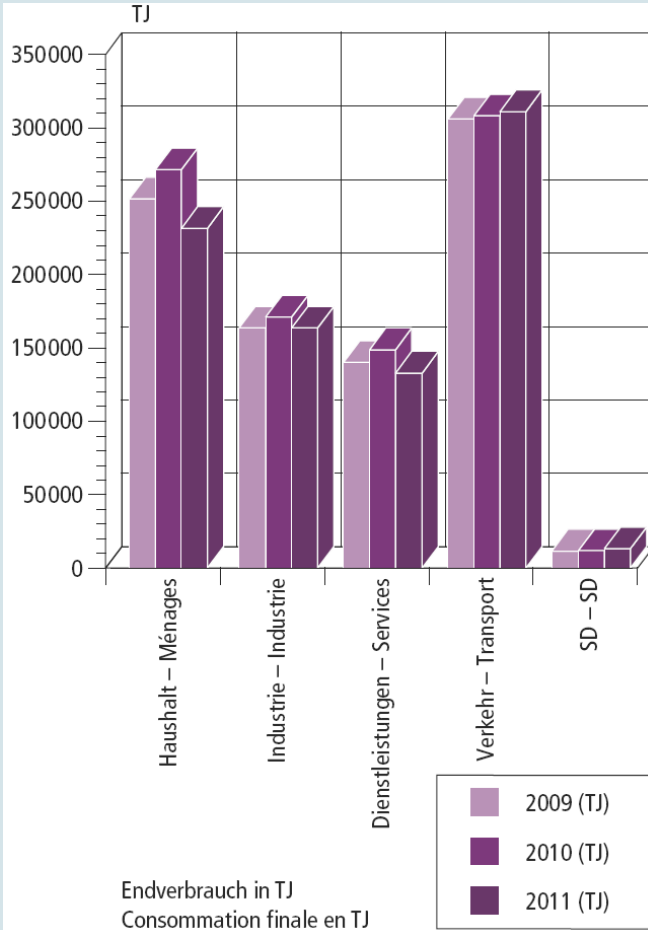
Fazit Sicht des Bundes

- Ziel: saubere, sichere, weitgehend autonome und wirtschaftliche Stromversorgung
- Das Thema Abwärme und Stromerzeugung aus Abwärme ist in den Energieperspektiven quasi nicht zu finden und in der Energiestrategie 2050 ist es keine explizite Stossrichtung es gibt aber Ansatzpunkte.
- Im Energiegesetz und dessen Umsetzung ist Abwärmenutzung ein Thema, aber nicht an erster Stelle.
- Es gibt Angebote der Innovationsförderung Von der Forschung bis zur Umsetzung

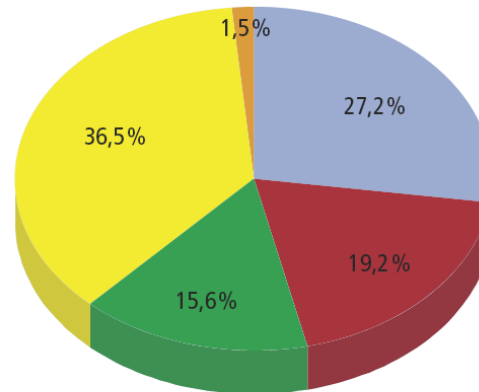
Es folgt die Frage: Wo ist die Abwärme und wer kann sie nutzen?



End-Energieverbrauch nach Sektoren Schweiz



Anteil 2011 der vier Sektoren in %
Parts en 2011 des quatre secteurs en %



- Haushalte – Ménages
- Industrie – Industrie
- Dienstleistungen – Services
- Verkehr – Transport
- SD – DS

SD Statistische Differenz inklusive Landwirtschaft
DS Différence statistique y compris l'agriculture

End-Energieverbrauch

Gesamt 852 PJ = 100%

Industrie 164 PJ = 19%

Prozesse 131 PJ = 15%

2000-2011 relativ konstant $\pm 4\%$, vor allem abhängig von der Wirtschaftsentwicklung

Energie 852 PJ=	= 237'000 GWh 2.37 10^{11} kWh
Kosten bei 0.20 CHF/kWh	ca. 48 MiaCHF/a 130 MioCHF/Tag
Leistung 852 PJ / 8760 h/a=	27 GW
Industrie 19.2% →	5 GW
Prozesse 15% →	4 GW

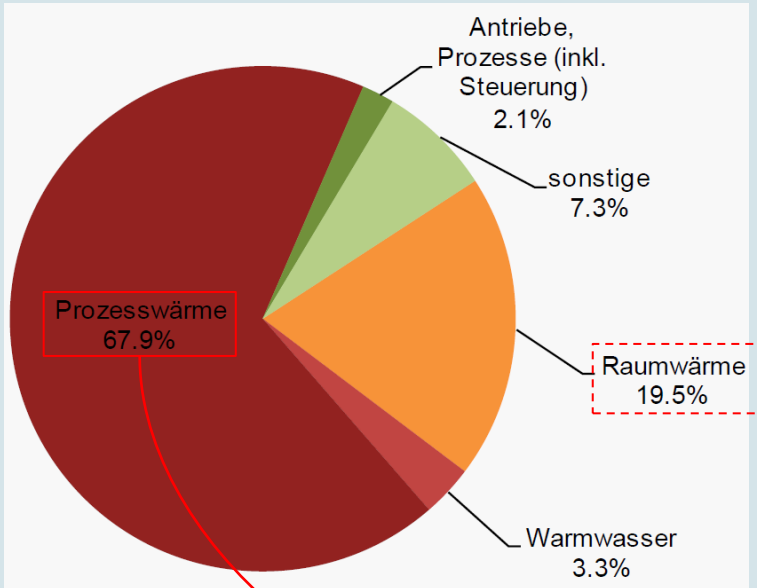
3'600 kJ = 3.6 MJ =	1.00 kWh
1'000 kJ = 1 MJ =	0.28 kWh
1 PJ= 10^{15} J	
= 10^{12} kJ =	$2.8 \cdot 10^8$ kWh
	= 280'000 MWh
1 PJ=	= 280 GWh (=32MW)
bei 0.20 CHF/kWh →	56 MioCHF

IP verbrauchen 15% der gesamten CH End-Energie – Einsparpotential ca. 30-50%.

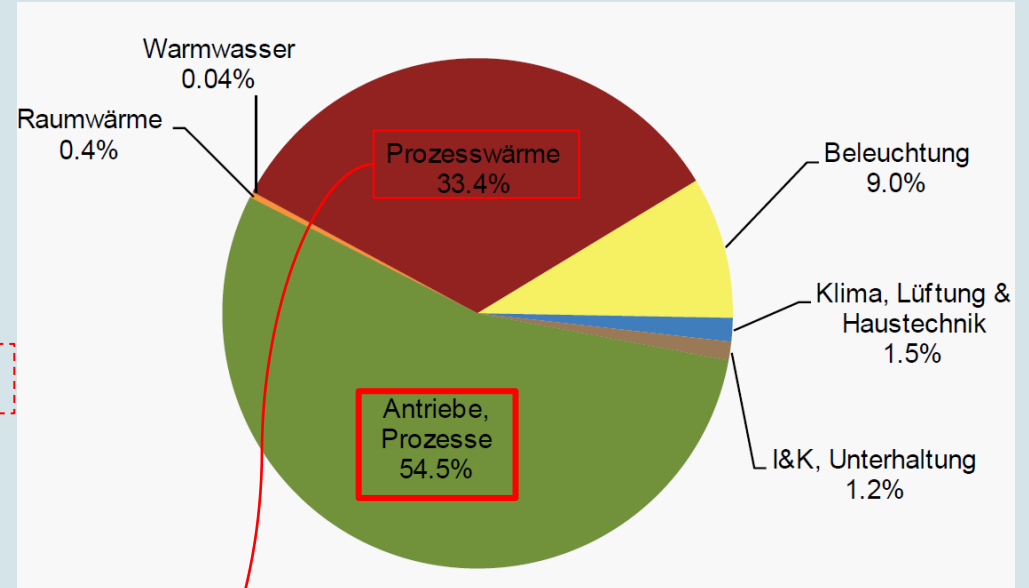


End-Energieverbrauch nach Anwendungsarten Industrie Schweiz (End-Energieverbrauch: 164 PJ = 19% CH)

60%* Fossil (95PJ)



40%* Elektrisch (69PJ)



* Im Mittel von 2000-2011, ±5%

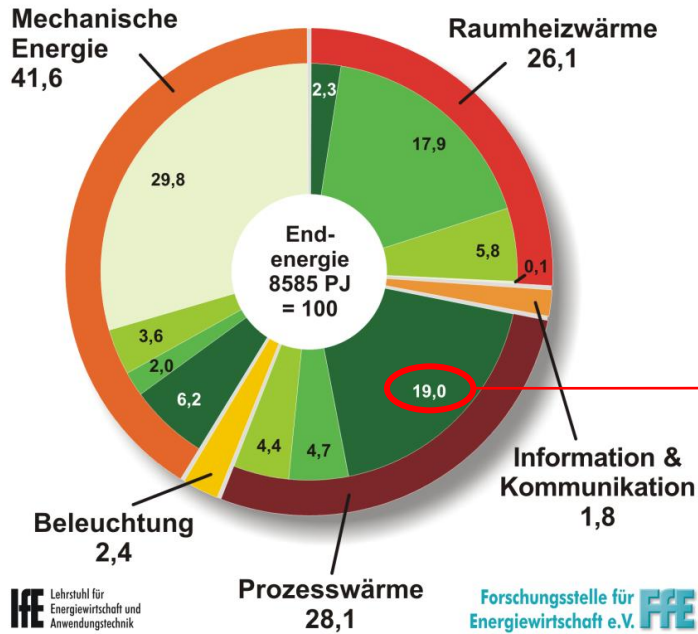
53%
= 10% CH

53% End-Energie für Prozesswärme; Die Industrie ist der grösste CH Stromverbraucher.



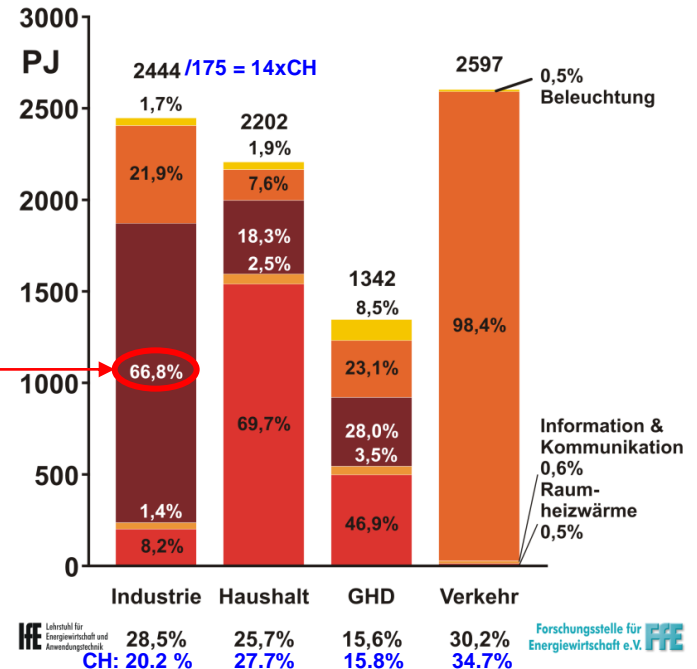
End-Energiebedarf nach Sektoren & Anwendungsarten Deutschland 2007 (8585PJ / 870PJ ≈ 10xCH)

Haushalte GHD Industrie Verkehr



1633PJ
/96PJ = 17xCH

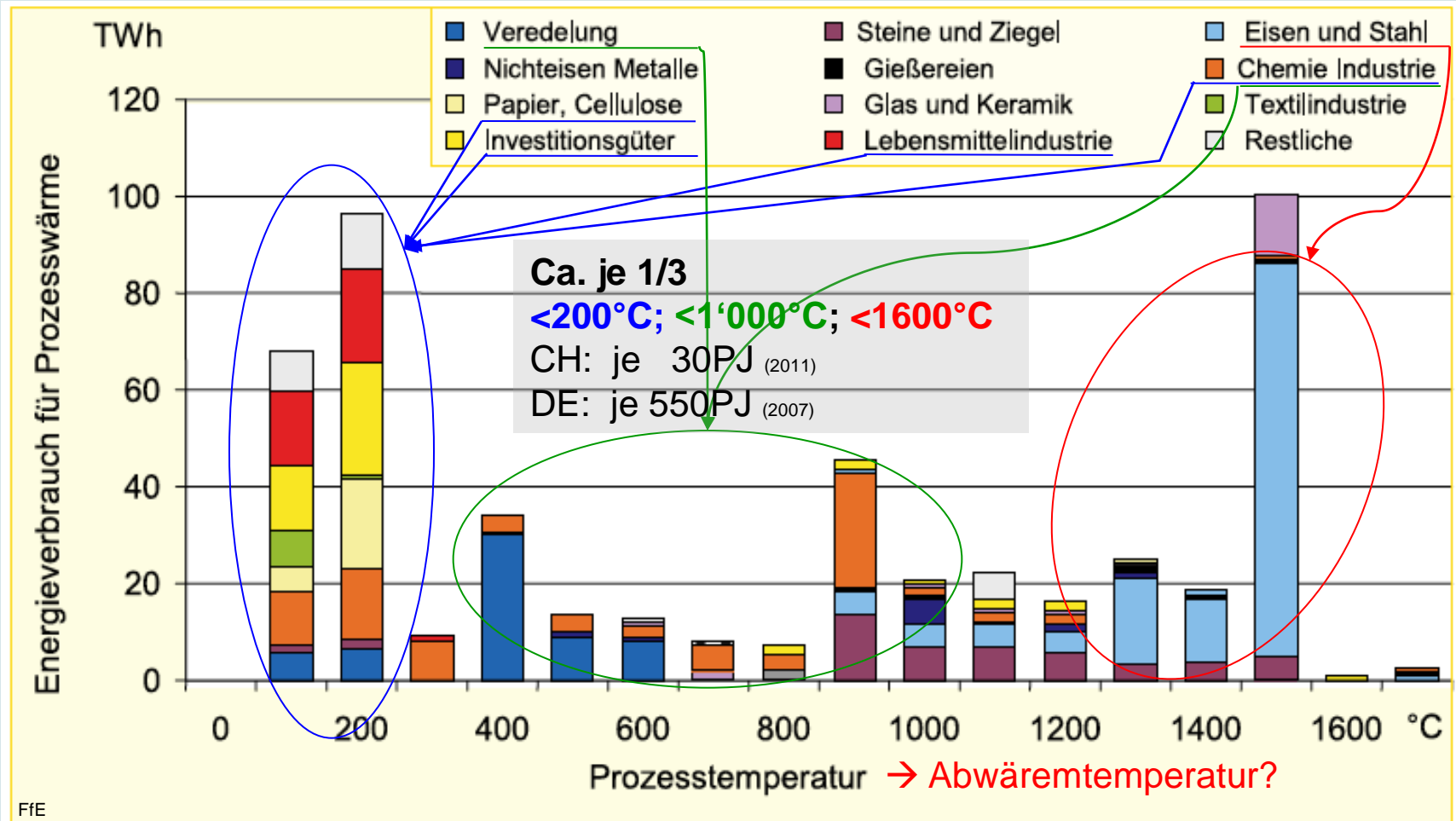
Beleuchtung
Mechanische Energie
Prozesswärme
Raumheizwärme
Information & Kommunikation



67% (1633PJ) End-Energie für Ind.-Prozesswärme; .../96PJ ≈ 17x mehr als in der CH.



End-Energiebedarf in Funktion der Temperatur Für Prozesswärme



FfE

Ein Abwärme-/Heisswasser-Potential ist gegeben.

Ein Abwärm-Kälte-Inventar gibt es noch nicht, soll aber erarbeitet werden.



ORC: Grobabschätzung der potentiellen Stromproduktion

CH-Industrie: Prozesse >200°C, 5-10% mit Abwärme >100°C

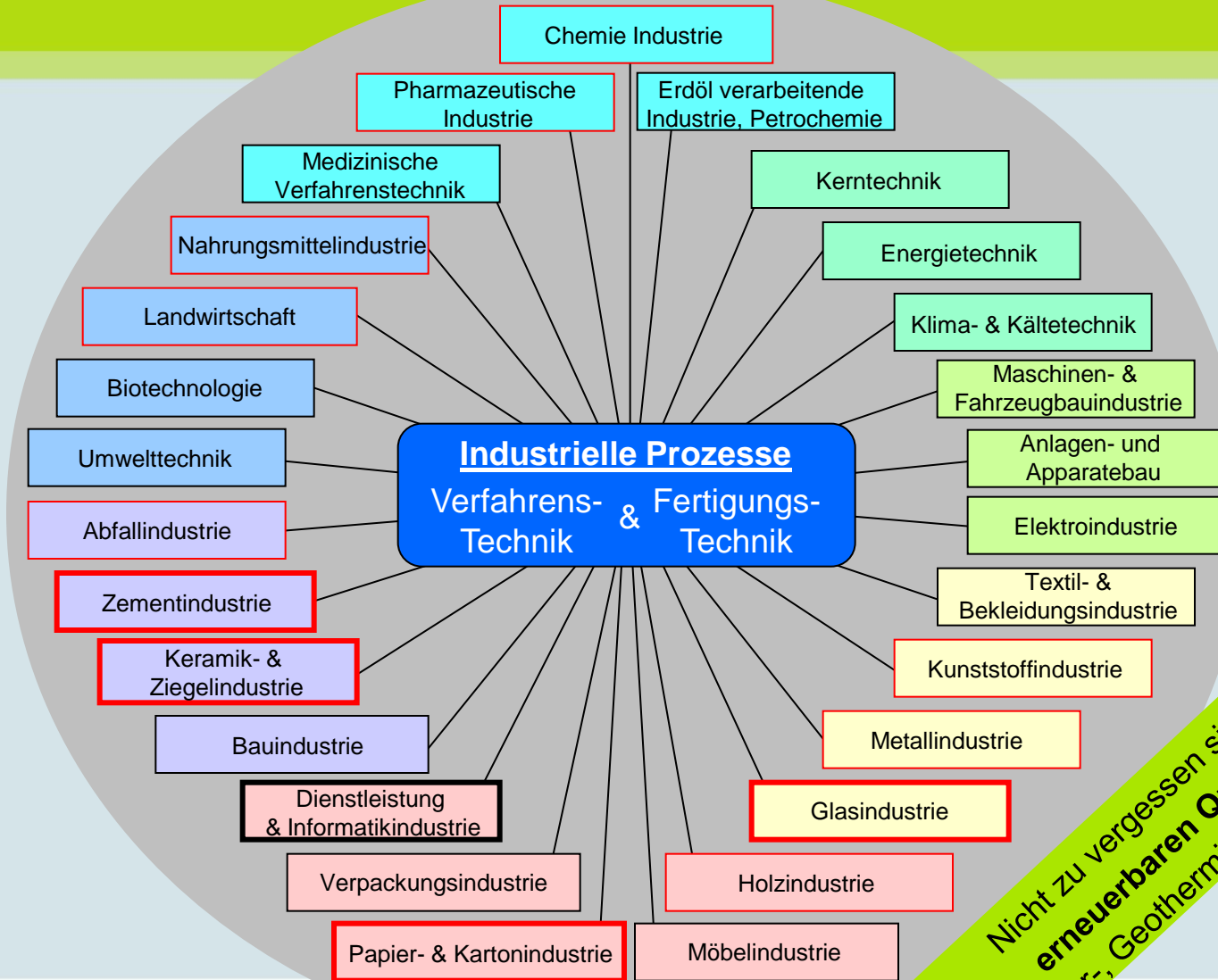
CH Wärmebedarf Prozesse	PJ	96				Daten BFE
CH Wärmebedarf Prozesse > 200°C	PJ	53				Abschätzung BMG
Anfallende Abwärme bei >100°C	%	1% (Worst case)	5%	10%	20% (Best case)	Annahmen BMG
Verfügbare Abwärme für ORC	PJ	0.53	2.7	5.3	10.6	
Erzeugbare Strommenge	GWh	18	88	177	353	
Anteil an der Stromproduktion AKW Mühleberg (2007)^{373 MWe}	%	0.6	3	6	12	Abschätzung BMG

→ Zum Vergleich: Potential Photovoltaik: 9.5 TWh (Quelle: ‚PV-Potenziale CH/EU‘, S. Nowak, 2010)

ORC aus Industrieabwärme könnte verm. ca. 5-10% des AKW Mühlebergs abdecken



Industriezweige



Nicht zu vergessen sind die **erneuerbaren Quellen** wie Solar-, Geothermie, Bio WKK,

Low Hanging Fruits – Energie intensive Branchen (rot).



ORC Integration in Prozesse Wann macht es technisch Sinn?

ABWÄRME ist nur Wärmeüberschuss unterhalb der Pinch-Temperatur

In einer ORC-Anlage darf *nur* dieser Wärmeüberschuss genutzt werden. Jede andere Integration führt zu einem *Mehrbedarf* an thermischer Energie!

Wichtig:

Saubere Identifikation von Strömen, die in ORC-Anlagen genutzt werden dürfen mittels Pinchanalyse!



Integration von ORC-Anlagen nur nach vorgängiger Pinch-Analyse



Kritische Punkte bei der Abwärme -Entnahme und -Nutzung

Technisch

- Temperaturniveau/Pinch – Verschmutzung/WT-Technologie
Einfluss auf Hauptprozess (System, Betrieb, Produktionsbedingungen)
Was ist das Potential um störungsfrei, benutzerfreundlich, genügend Wärme auszukoppeln??

Zeitlich/Örtlich

- Verfügbarkeit (kurz-langfristig (Tagesablauf, Saisonalität, Veränderungen)
Örtliche Verhältnisse und Distanzen zum Verbraucher
Wie ist das zeitliche und örtliche Matching Lieferant-Nutzer??

Organisatorisch/Ökonomisch

- Koordination (viele) Partner, Installation (Unterbruch), Ressourcen, Investition, Betrieb, Abrechnung, TOC ...
Wie hoch und verkraftbar ist der apparative, personelle, finanzielle, Aufwand und wie sieht das Businessmodel aus?

Kritisch sind: Matching Lieferant-Nutzer $f(T, t, \text{Ort}, \text{Kosten})$; Added Value (TOC); Aufwand (Koordination, Investition, Betrieb, Abrechnung, ...)



Technologien zur Abwärmenutzung

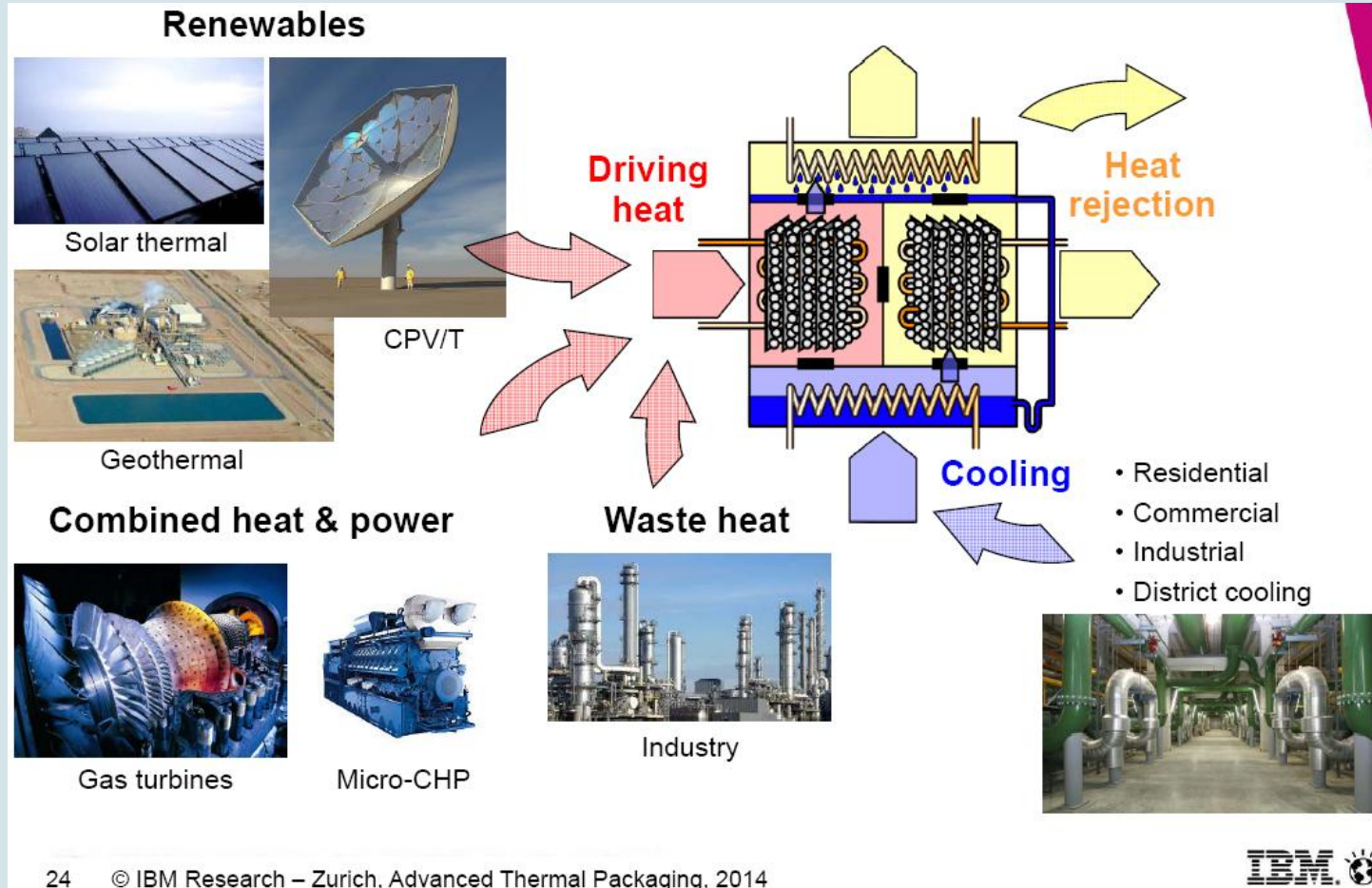
Direkte – Indirekte Nutzung

- **Direktnutzung/Vermeidung**
 - Gebäude-Prozesswärme
 - Fernwärme
- **Verbrennungsluftvorwärmung**
 - Rekuperator-Brenner
 - Regenerator-Brenner
- **Wärmepumpen und Kältemaschinen**
 - Kompressionswärmepumpe
 - Absorptionswärmepumpe/-kältem.
 - Adsorptionswärmepumpe/-kältem.
- **Stromerzeugung**
 - Wasserdampfturbine
 - ORC-Prozess
 - Stirlingmotor
 - Magnetokalorische Kraftmaschine
 - Thermoelektrischer Generator
- **Wärmetauscher (Schlüsseltechnologie)**
 - Rotationswärmetauscher
 - Wärmerohr-Wärmetauscher (Heatpipe)
 - Regenerative Wärmetauscher
 - Rippenrohrwärmetauscher
 - Spiralwärmetauscher
 - Lamellenwärmetauscher
 - Plattenwärmetauscher (PWT)
 - Rohrbündelwärmetauscher
 - Doppelrohrwärmetauscher
- **Wärmespeicher (Enabler)**
 - Pufferspeicher
 - Kies-Wasser-Speicher
 - Luftdurchströmte Gesteinsspeicher, Schotterspeicher
 - Erdsonden-Wärmespeicher
 - Latentwärmespeicher
 - Sorptions-/thermochem. Speicher
 - Mobile Wärmespeicher

ORC ist eine von vielen Technologien – Partner/Konkurrent – Es werden mehrere zum Durchbruch kommen (müssen). Direktnutzung und WP haben hohes Potential.



Technologien zur Abwärmenutzung Adsorption Cooling Energy Ecosystem



Die “thermische Wärmepumpe” wartet mit hohen Wirkungsgraden (elektr. COP Kühlen/Heizen 15/40) und Anwendung bei bereits moderaten Temperaturen auf.



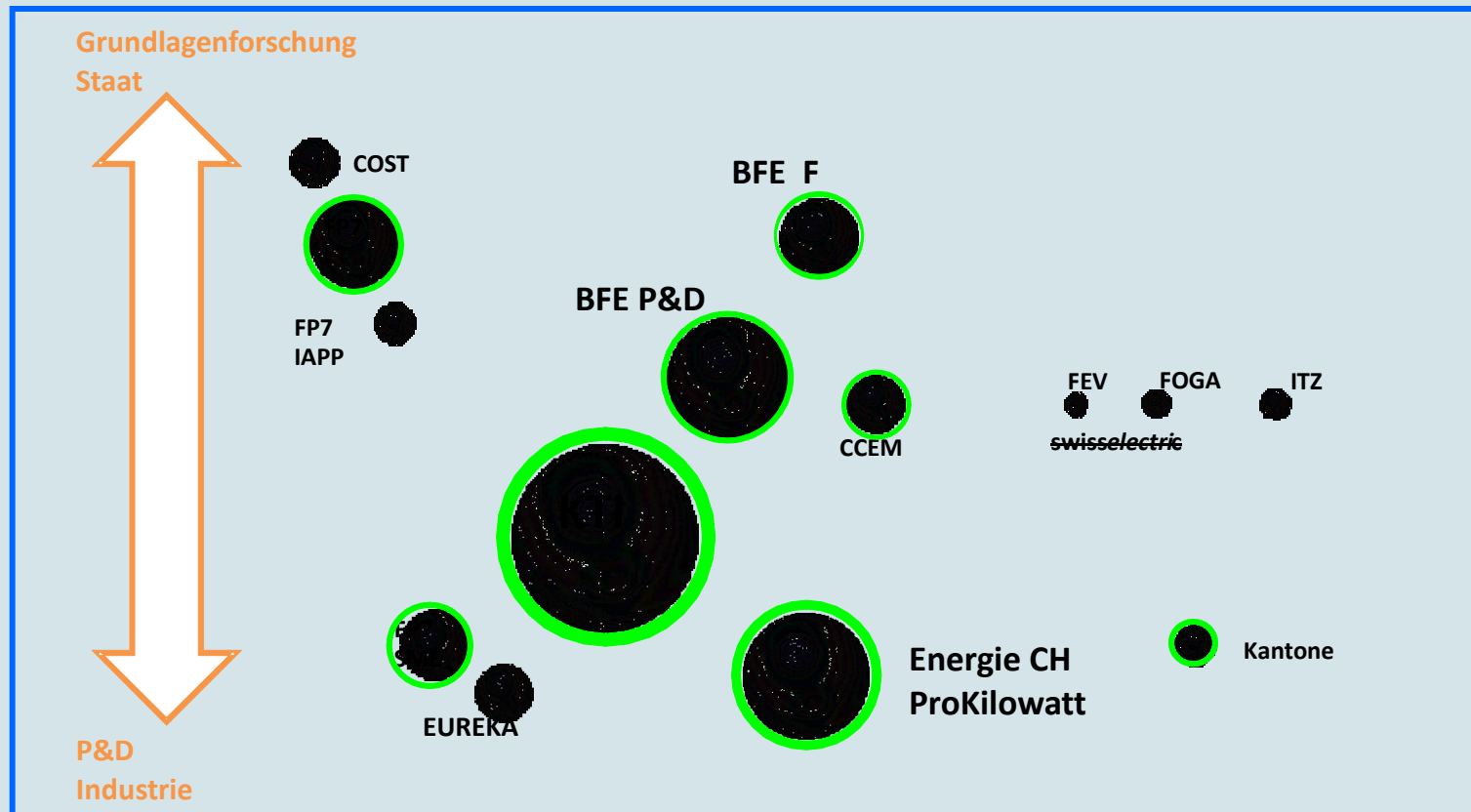
Einige (Forschungs-)Aktivitäten im Bereich ORC

- Studien bez. spez. Abwäremultipotentiale
 - ORC Flügelzellenexpander Liebherr/Quasthof
 - ORC Anlage
 - PinCH-Analyse für ORC HSLU/Wellig
 - ORC-Hub an der HSLU/Müller
 - IGS: Abwärme/Wärmetauscher Prozesse
 - ORC-Untervaz ZHAW/Schelker
 - Schmutzresistente Wärmetauscher Swisseng/Müller
-
- Abwärme Inventar CH FHNW/Helbling
 - Gasgelagerter Turboexpander für ORC EPFL/Schnellmann

ORC-Hub will die Kompetenzen und Know-how sammeln und verfügbar machen, so dass auch optimal koordinierte Entwicklungen möglich werden.



Angebote der Innovationsförderung Im Energiebereich für CH Firmen & Forschungsinstitute



Publiziert auf der BFE Website

www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_125861950.pdf



Lösungspotentiale des ORC


Sicht der Stakeholder



Wo beginnt es zuerst zu wachsen und wie gross wird der Baum → 3-5GW!



Martin Pulfer
Bundesamt für Energie

 Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Michael Spirig

Fomenta AG
Fomenting Energy & Technology
Strategy - Concept - Management

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit und Ihr Engagement