

## Vortrag

# Die Heizung, die Strom erzeugt

## Mini-BHKW: Brückentechnologie auf dem Weg zur Energiewende?

Prof. Dr.-Ing. M. Freitag  
DHBW RV Campus FN

# Gliederung

Einführung und Bestandsaufnahme

Wo kommen Strom und Wärme her?

Wie steht's mit der Effizienz?

stromerzeugende Heizung – Aufbau und Wirkungsweise

Anforderungen – und: Wo ist der Haken?

Ausblick

Diskussion

Einführung

Strom und Wärme

Effizienz

Aufbau + Wirkungsweise

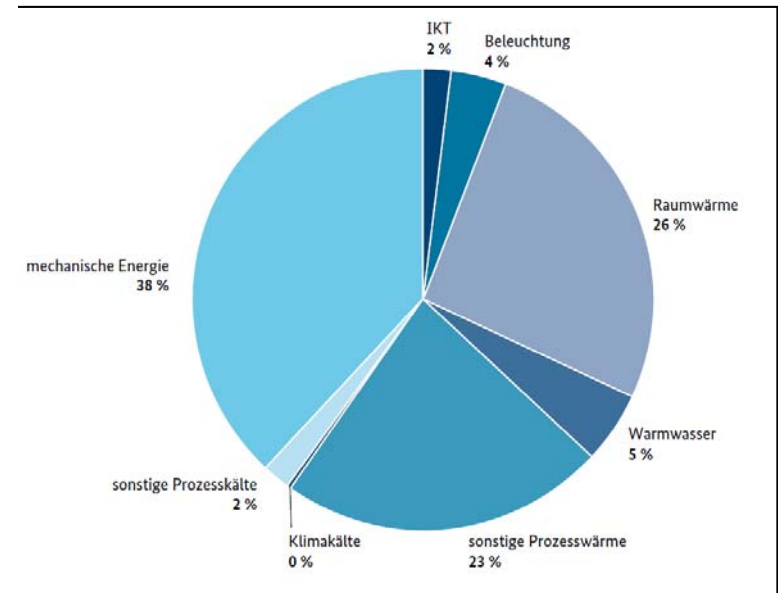
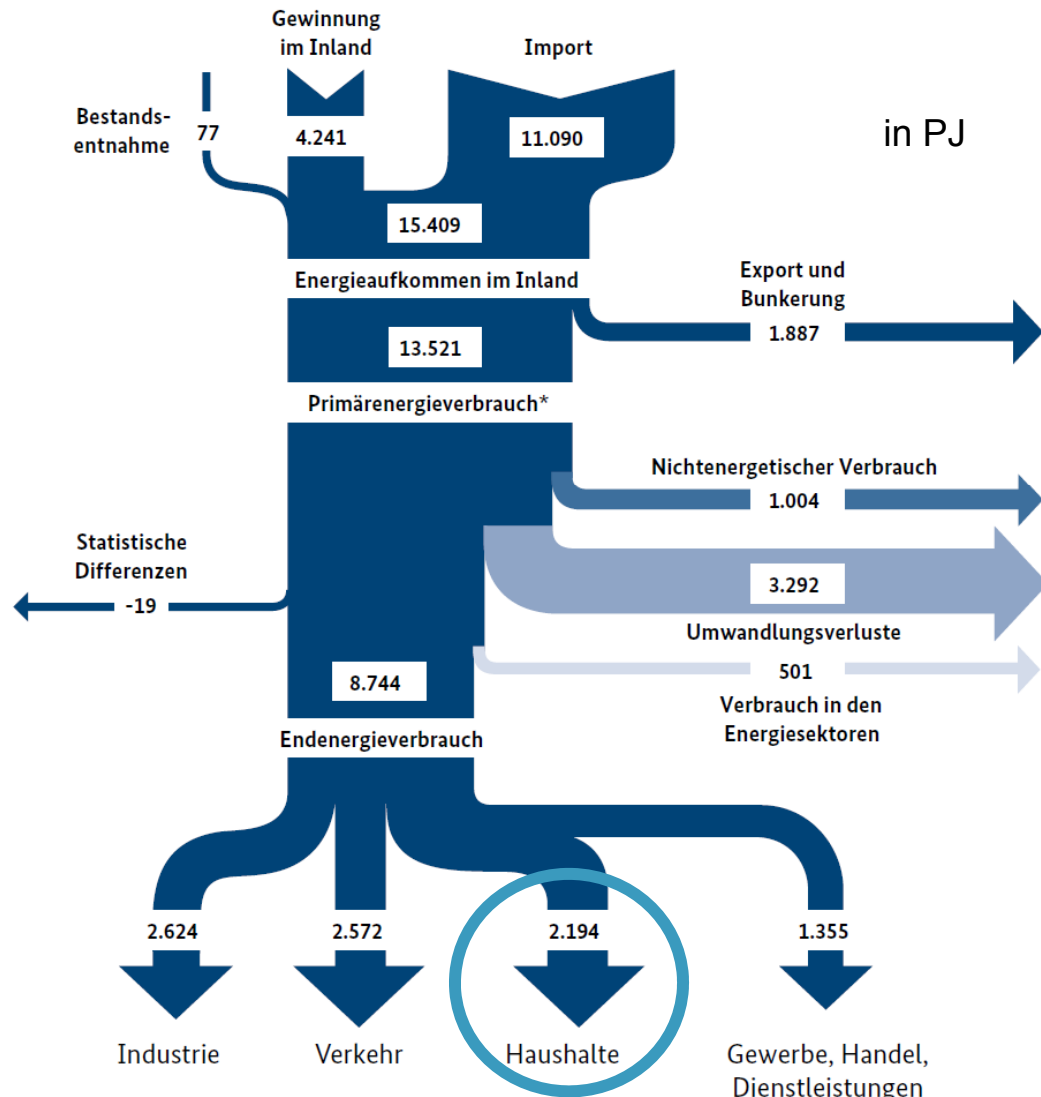
Anforderungen

Ausblick



# Einführung und Bestandsaufnahme

# Energieflussbild Deutschland (2011)



25 % der Energie werden in den Haushalten verbraucht  
 25% der gesamten Energie werden für das Heizen verwendet

# Energiebedarf und -kosten Durchschnittshaushalt Deutschland (2012)

Einführung

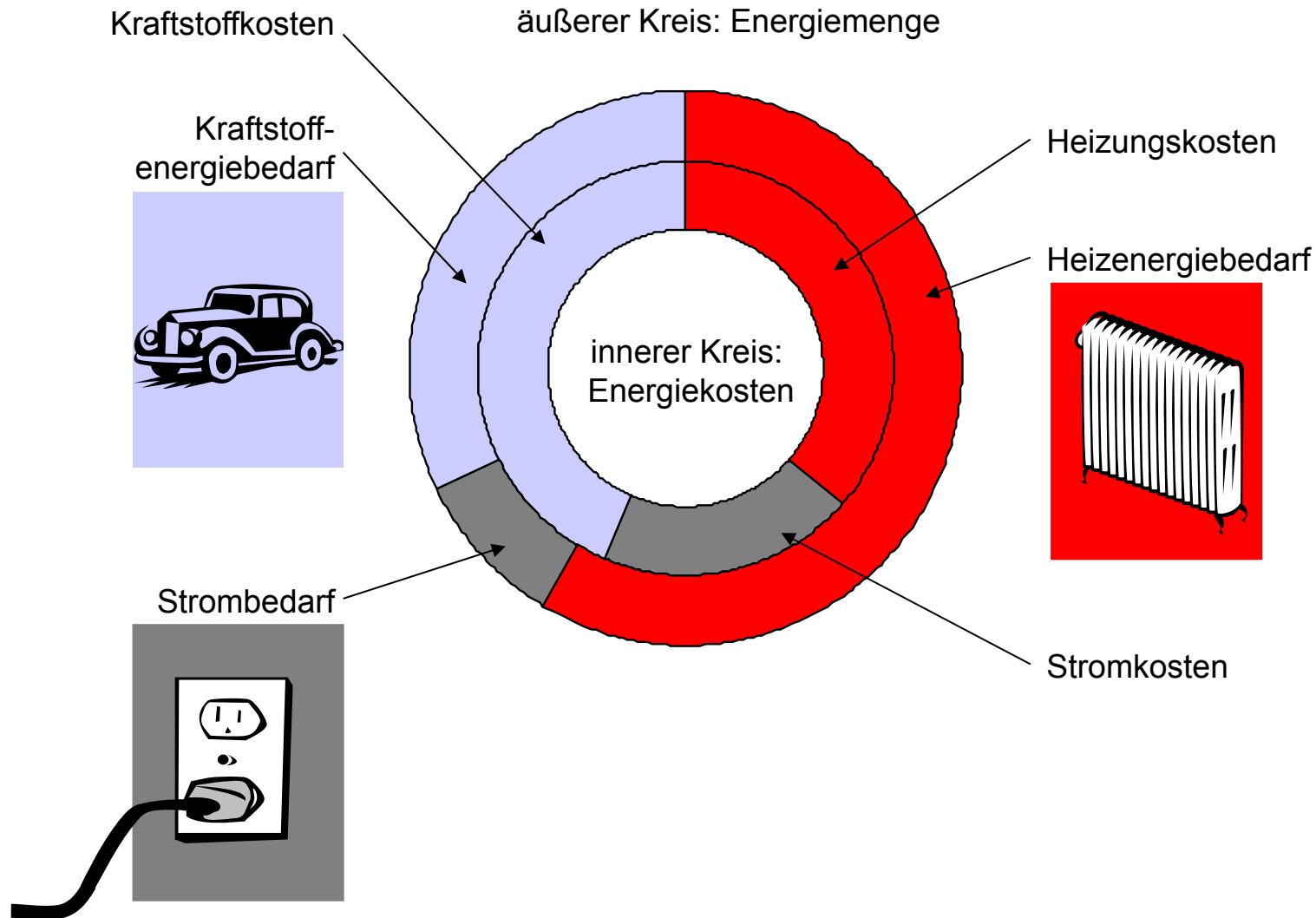
Strom und Wärme

Effizienz

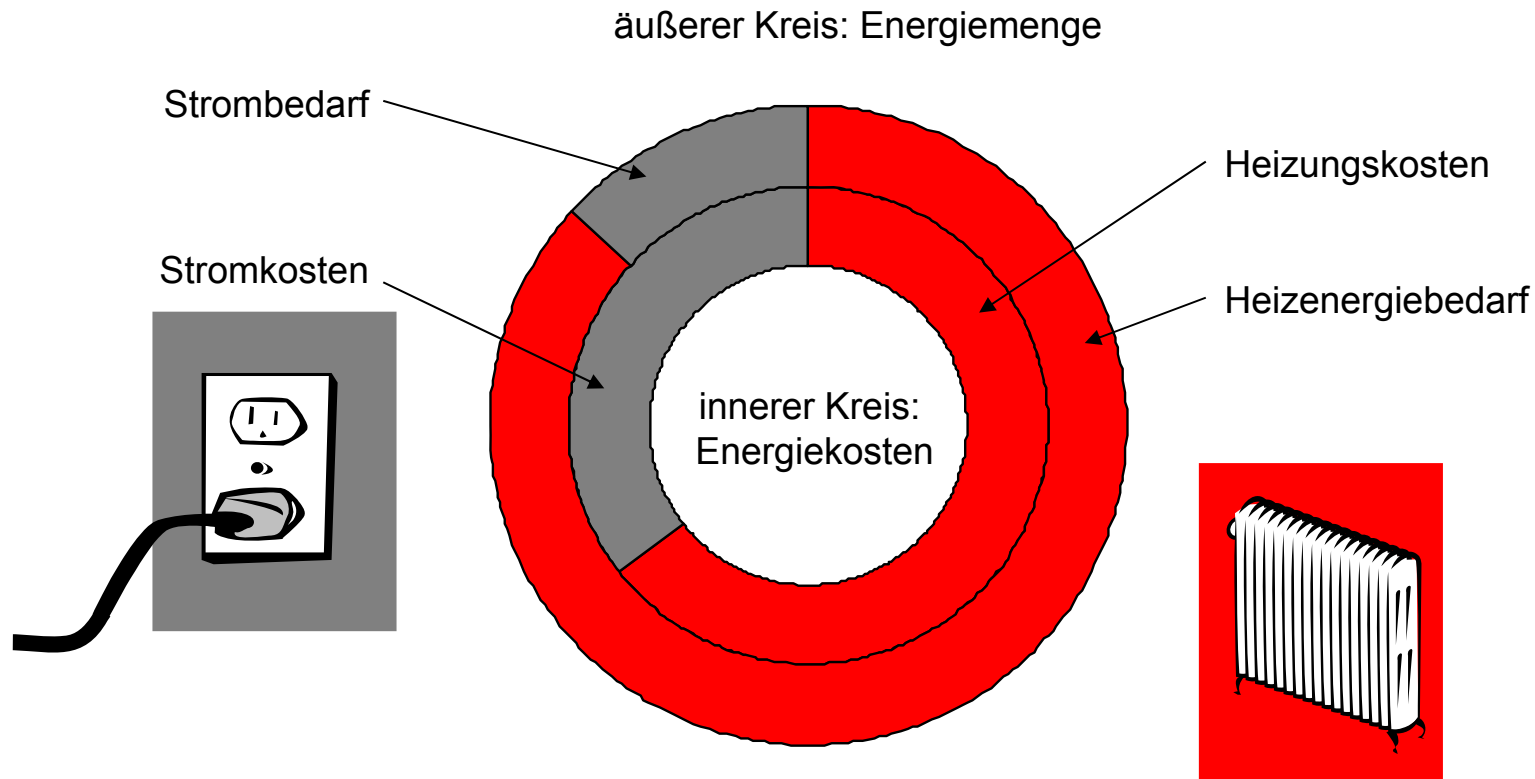
Aufbau + Wirkungsweise

Anforderungen

Ausblick

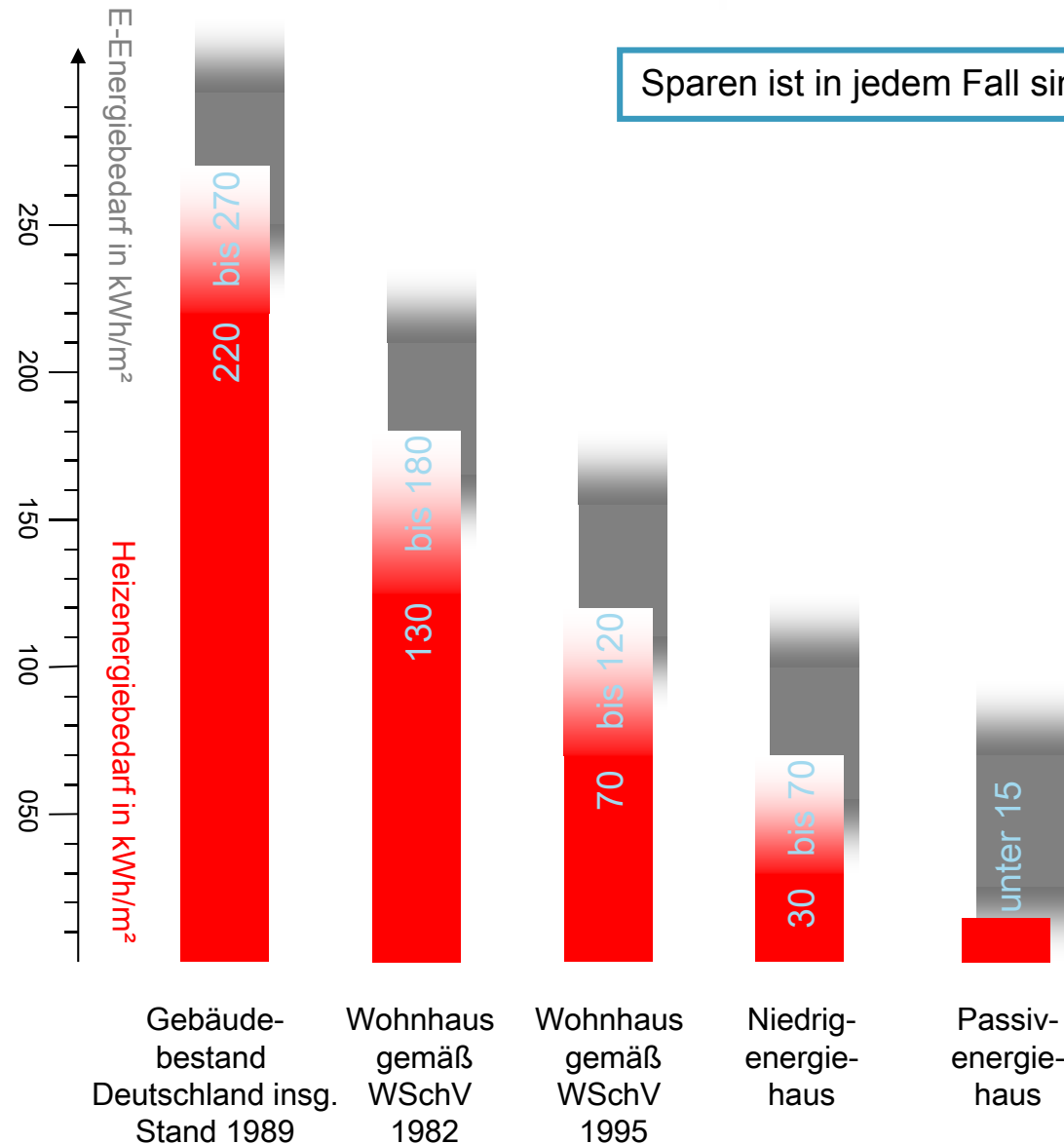


## ohne Kraftstoffbedarf und -kosten



Der größte Energiemengen-Anteil ist Heizenergie.  
Die größeren Kosten werden durch E-Energienutzung verursacht

# Energiebedarf und Bausubstanz



# Wo kommen Strom und Wärme her?

# Wo kommen Strom und Wärme her?

Einführung

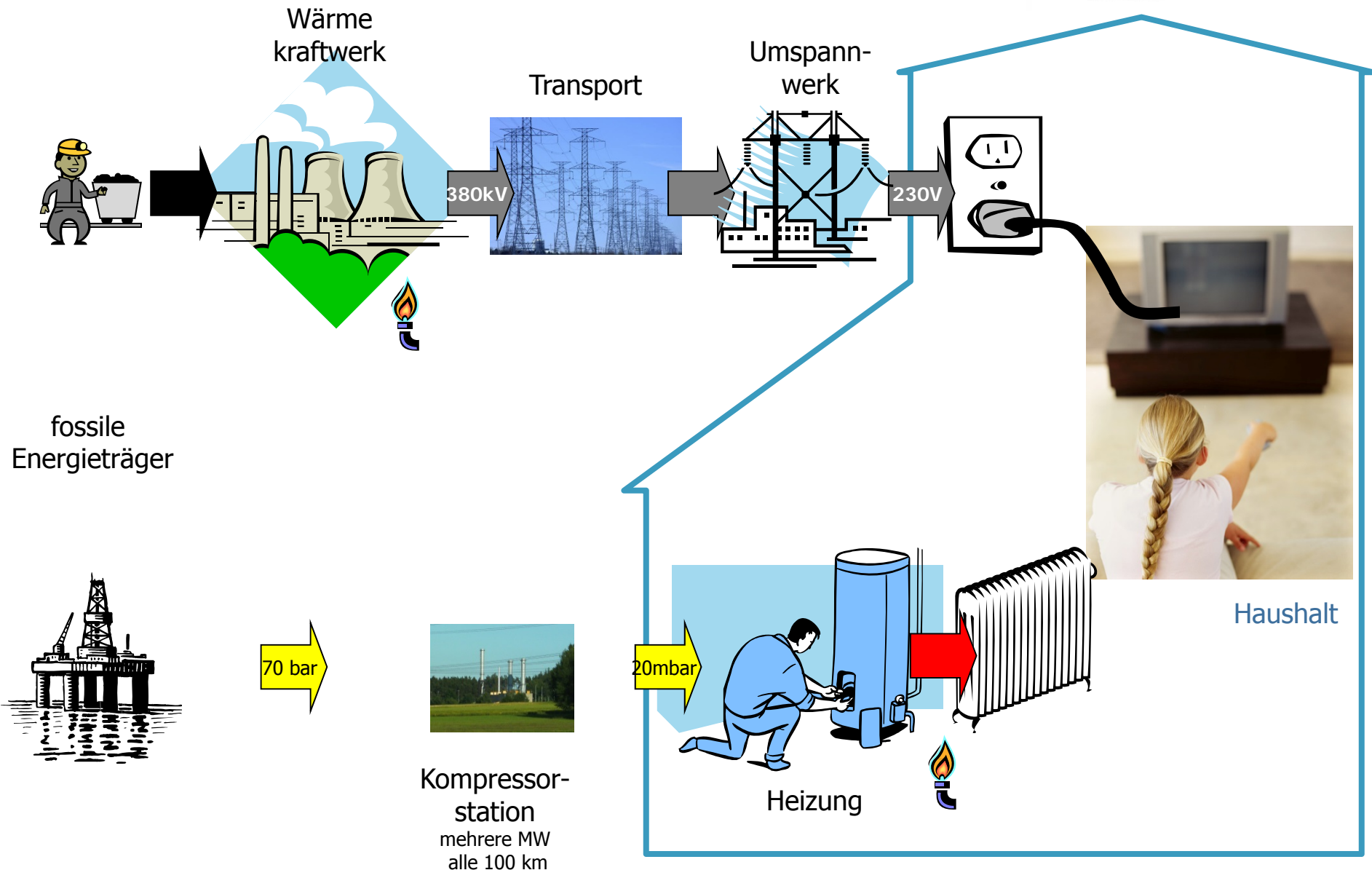
Strom und Wärme

Effizienz

Aufbau + Wirkungsweise

Anforderungen

Ausblick



# Wo kommt der Strom her?

Einführung

Strom und Wärme

Effizienz

Aufbau + Wirkungsweise

Anforderungen

Ausblick



IWT  
Institut für Weiterbildung,  
Wissens- und  
Technologietransfer

Wasserkraft



Windkraft



Photovoltaik,  
Solarthermie



Geothermie



Regenerative  
Energiequellen  
CO<sub>2</sub> neutral

zur falschen Zeit  
am falschen Ort  
(in der falschen Menge)

**Speichern?**

chemisch ge-  
bundene Energie



CO<sub>2</sub>-neutral:  
Biomasse

Müll

fossile  
Energiequellen

Erzeugung  
regelbar  
am falschen Ort (zentral)

nukleare  
Energiequellen



nicht mehr  
akzeptiert

Energiewandlung und -transport  
sind verlustbehaftet → CO<sub>2</sub>

# Bruttostromerzeugung Deutschland (2012)

Einführung

Strom und Wärme

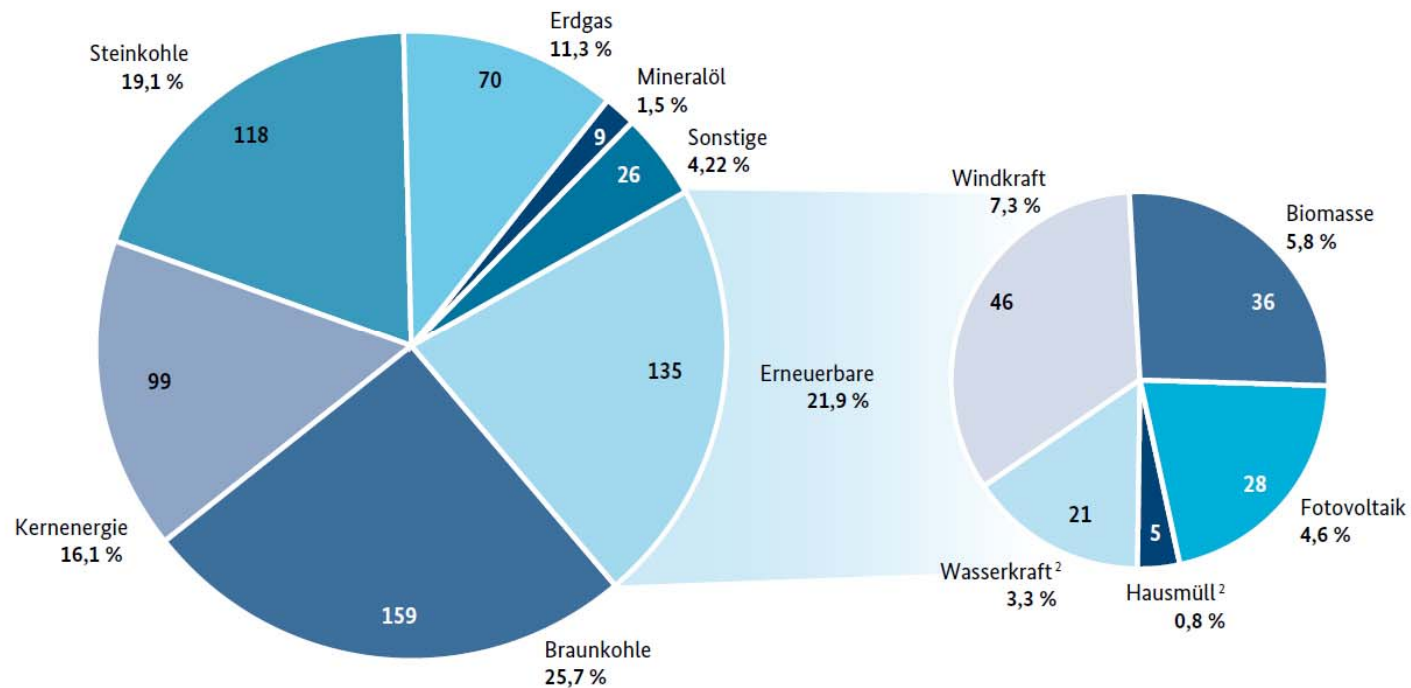
Effizienz

Aufbau + Wirkungsweise

Anforderungen

Ausblick

insgesamt: 617,6 TWh



1 Vorläufig

2 Regenerativer Anteil

Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB)

Gut 60% des Stroms werden aus chemischer Energie (durch Verbrennungsprozesse) gewonnen, davon 6 % CO<sub>2</sub>-neutral

# Energiewandlungskette konventionelle Stromerzeugung

Einführung

Strom und Wärme

Effizienz

Aufbau + Wirkungsweise

Anforderungen

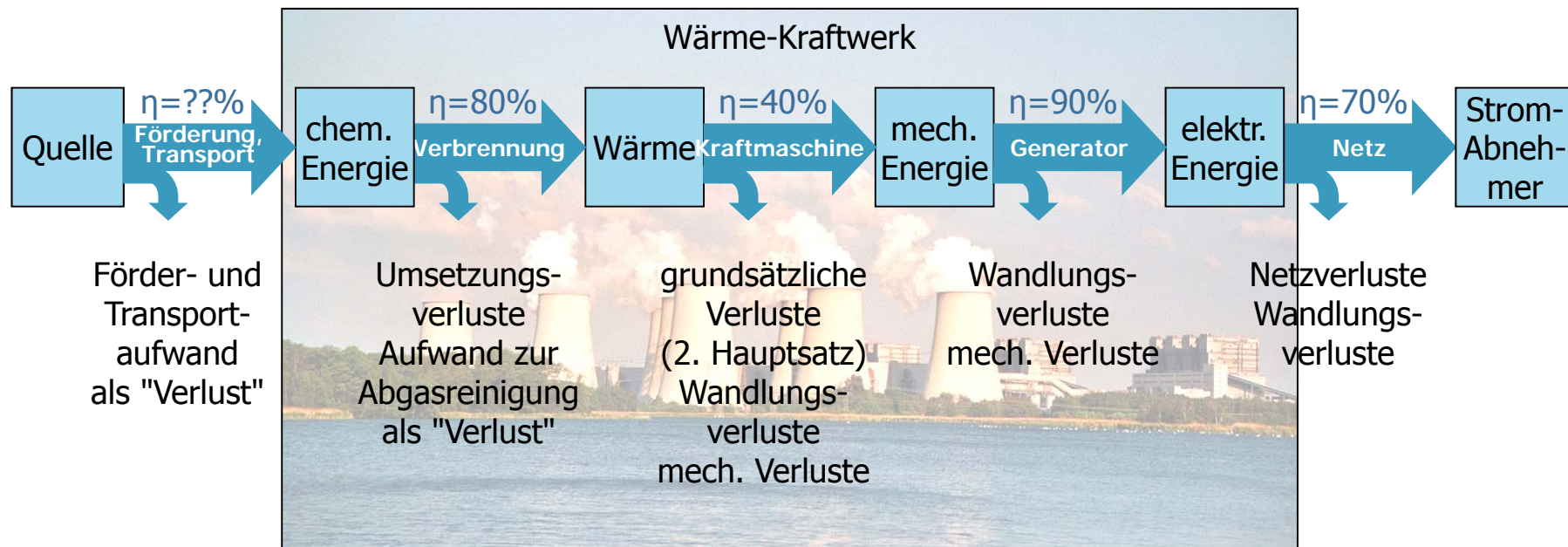
Ausblick



Braunkohle  
Steinkohle  
Erdgas  
Biomasse  
Müll

Dampfturbine,  
Gasturbine  
Kolbenmaschine

Haushalte,  
Industrie



Die Verluste bei der Wandlung von Wärme in mechanische Energie sind sehr hoch. Wärme geht "verloren" (Umwelt)  
→ Wärme nutzen (GuD-Kraftwerk, Fernwärmenetz)  
Die Verluste durch Übertragung im Netz nicht unbedeutend.  
→ dezentrale Energieversorgung, kurze Wege

## Wie steht's mit der Effizienz?

# Effizienz konventionelle Stromerzeugung

Einführung

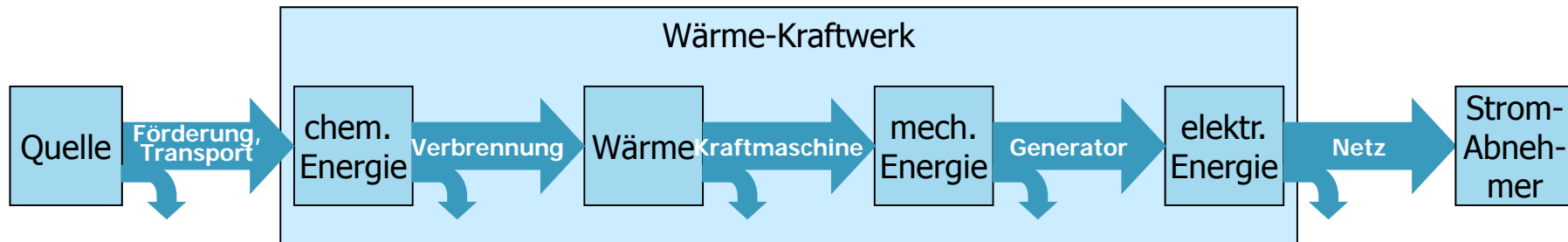
Strom und Wärme

Effizienz

Aufbau + Wirkungsweise

Anforderungen

Ausblick



Schlechte Wirkungsgrade "vorn in der Kette" haben drastische Auswirkungen.

Höherer Aufwand bei Förderung und Transport verursacht spezifisch (bezogen auf das "Endprodukt", die kWh Strom) überproportional hohe Verluste.

→ mögl. hohe Energiedichte, einfache Förderung + Transport

# Zentrale Stromerzeugung, konventionell

Einführung

Strom und Wärme

Effizienz

Aufbau + Wirkungsweise

Anforderungen

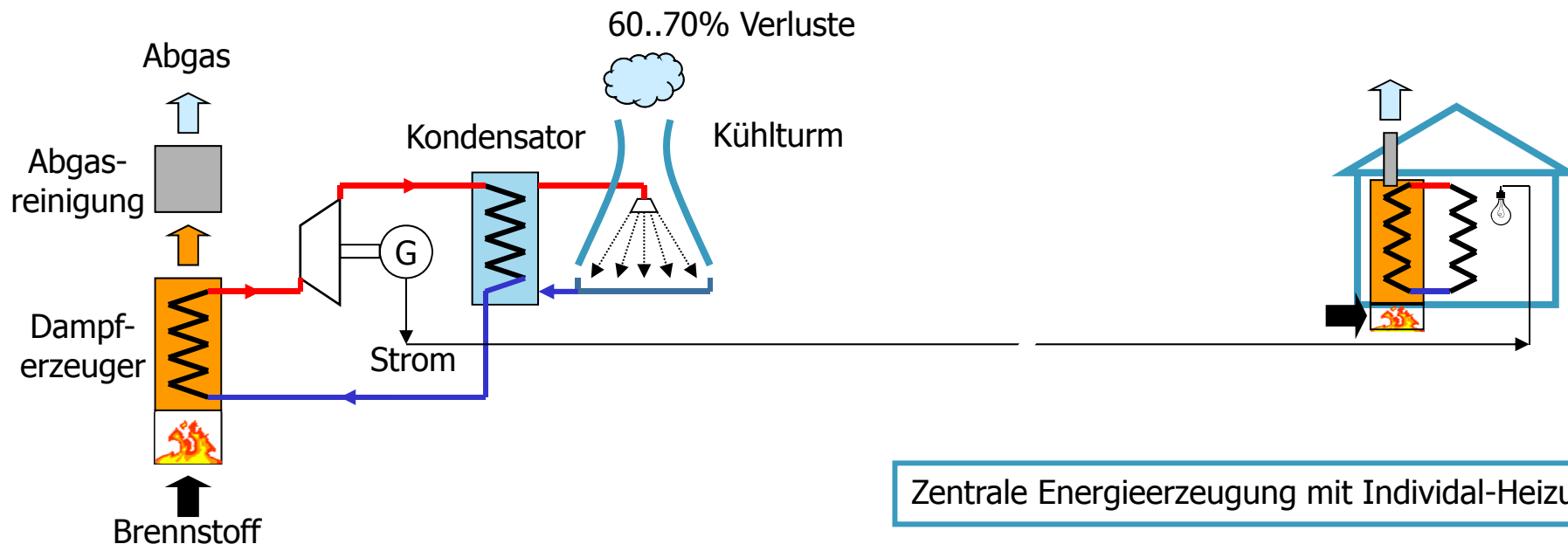
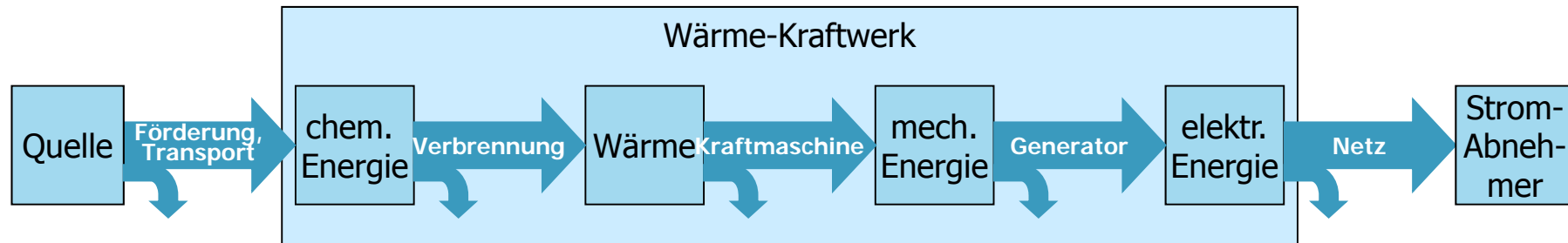
Ausblick



Braunkohle  
Steinkohle  
Erdgas  
Biomasse  
Müll

Dampfturbine,  
Gasturbine  
Kolbenmaschine

Haushalte,  
Industrie



Zentrale Energieerzeugung mit Individual-Heizung

# Zentrale Stromerzeugung, mit Kraft-Wärme-Kopplung

Einführung

Strom und Wärme

Effizienz

Aufbau + Wirkungsweise

Anforderungen

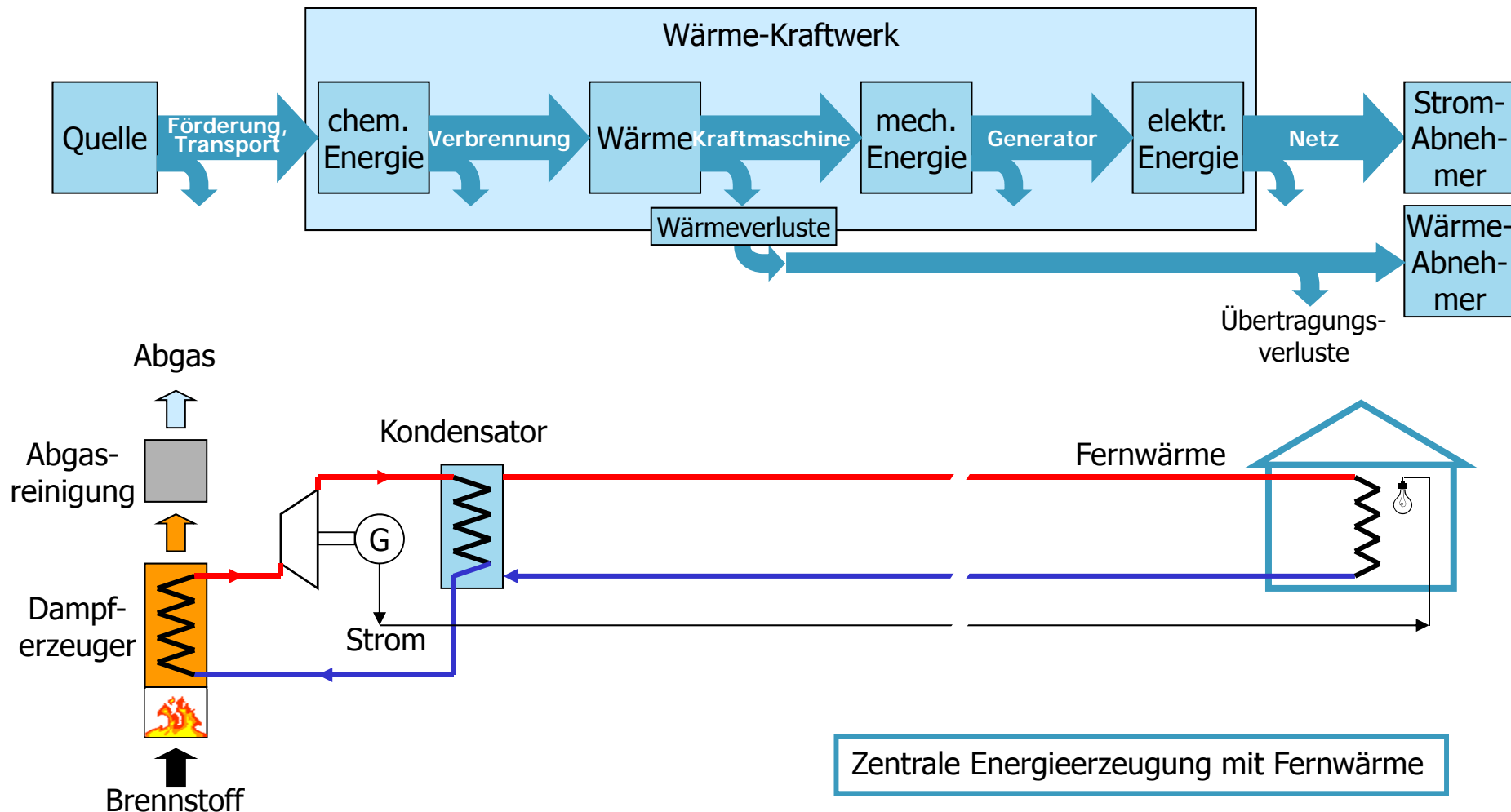
Ausblick



Braunkohle  
Steinkohle  
Erdgas  
Biomasse  
Müll

Dampfturbine,  
Gasturbine  
Kolbenmaschine

Haushalte,  
Industrie



Zentrale Energieerzeugung mit Fernwärme

# Dezentrale Energieerzeugung

Einführung

Strom und Wärme

Effizienz

Aufbau + Wirkungsweise

Anforderungen

Ausblick



Haushalte,  
Industrie

Erdgas,  
Heizöl

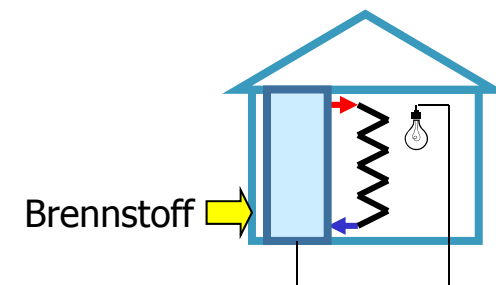
Quelle

Förderung,  
Transport

Biogas,  
Biofuel

Strom-  
Abneh-  
mer

Wärme-  
Abneh-  
mer



15...25 T€

Dezentrale Energieerzeugung mit stromerzeugender Heizung (Mikro-BHKW)

# Vergleich konventionelle/stromerzeugende Heizung

Einführung

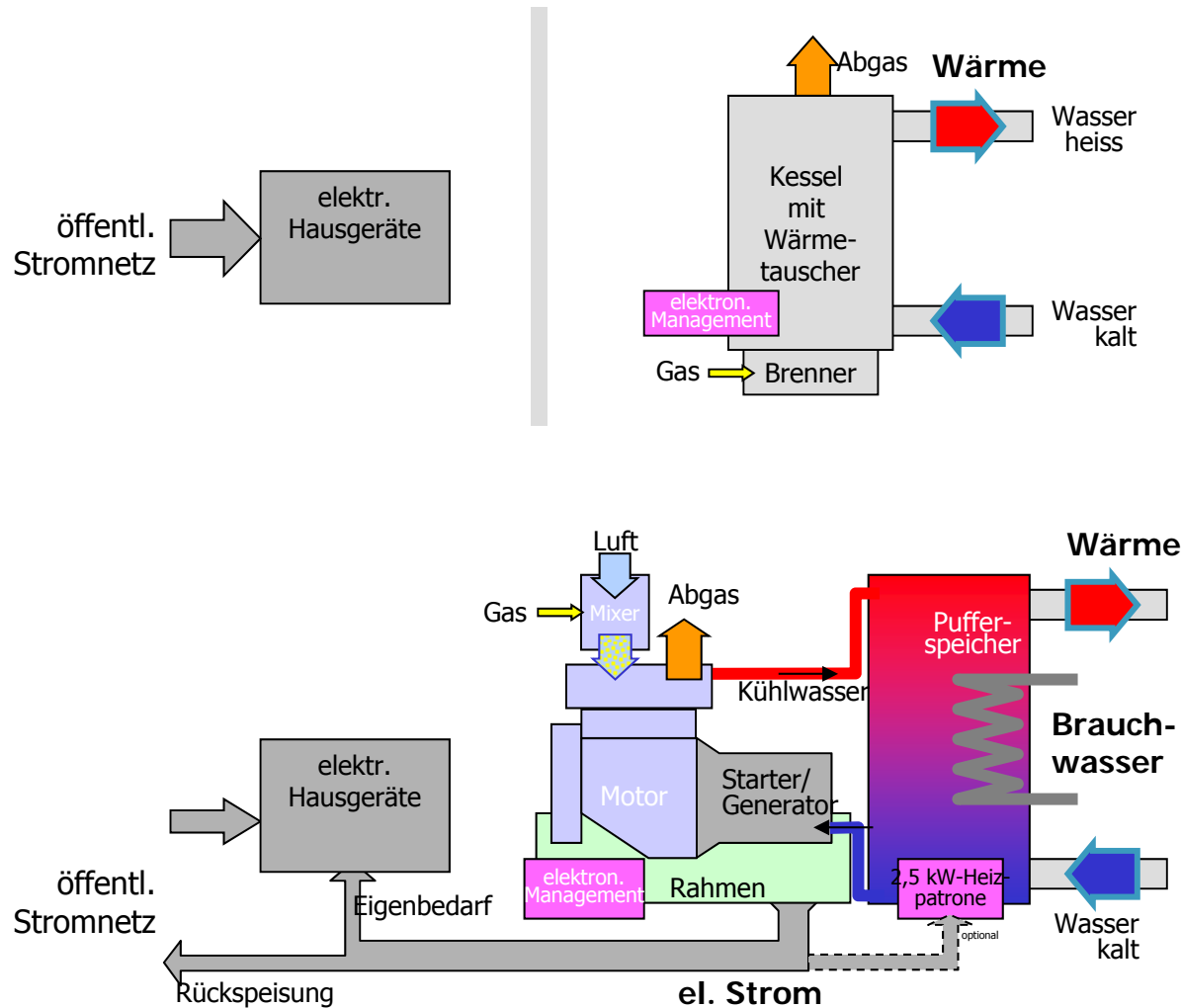
Strom und Wärme

Effizienz

Aufbau + Wirkungsweise

Anforderungen

Ausblick



## konventionelle Haus-Heizungsanlage

### Aufbau:

erdgasbetriebener Brenner,  
Brennwert-Kessel, Schornstein,  
Schaltuhr/Steuerungselektronik

### Kosten/Wartung:

Anschaffung  
Beaufsichtigung durch Schornsteinfeger

### Bemerkungen:

Stromversorgung komplett durch  
öffentliches Netz

## moderne stromerzeugende Heizung (Mikro-BHKW)

### Aufbau:

Erdgas- Magermotor:  $\text{NO}_x \downarrow$

### Kosten/Wartung:

Anschaffung, Platz  
Motorwartung, Wärmeübertrager

### Bemerkungen:

bei Wärmebedarf → Stromüberschuss  
→ Netzspeisung

# Stromerzeugende Heizung im Haushalt

Einführung

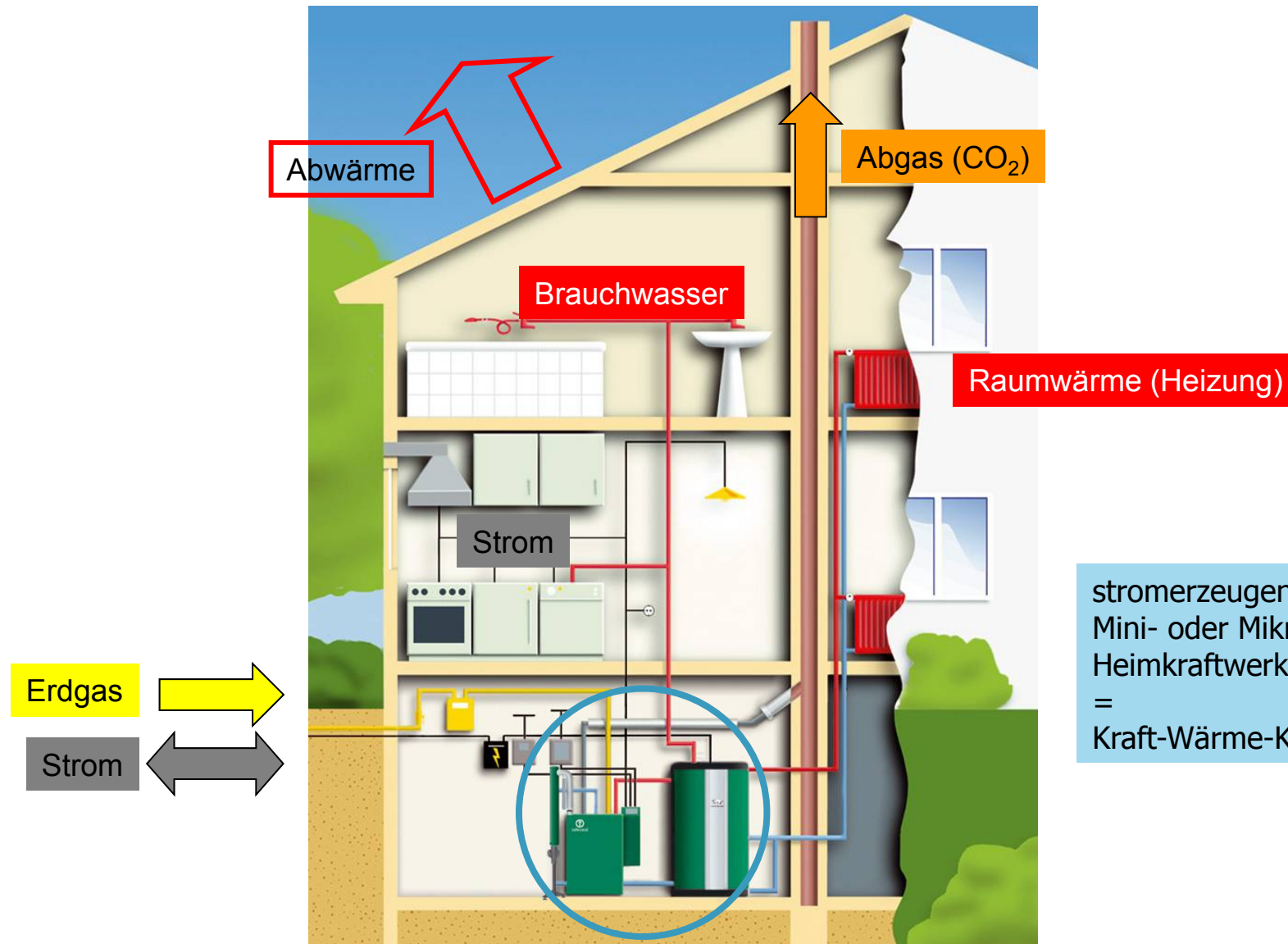
Strom und Wärme

Effizienz

Aufbau + Wirkungsweise

Anforderungen

Ausblick



stromerzeugende Heizung  
Mini- oder Mikro-BHKW  
Heimkraftwerk  
=  
Kraft-Wärme-Kopplung

Quelle: Senertec

# Energieflussbild stromerzeugende Heizung I

Einführung

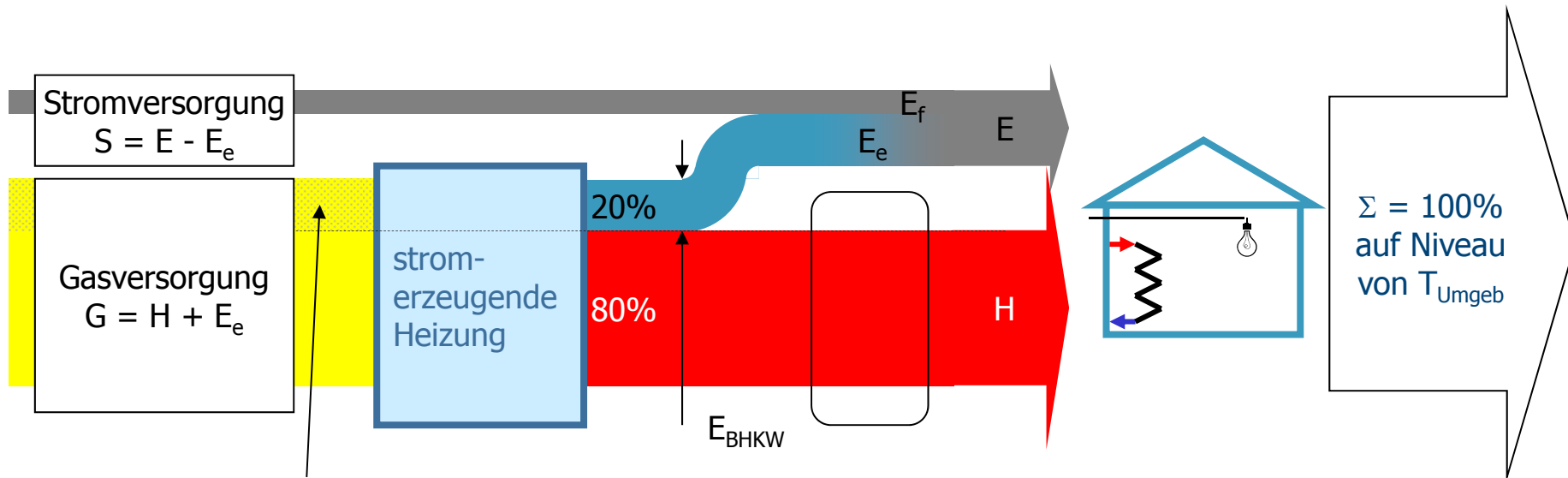
Strom und Wärme

Effizienz

Aufbau + Wirkungsweise

Anforderungen

Ausblick



zusätzl. Gasaufwand für E<sub>e</sub>

Die Energiemenge  $G + E_e$  wird als Gasmenge bezogen und zu 20% in Strom umgesetzt. Die dabei entstehende Wärme liefert die erforderliche Heiz-/Brauchwasserwärme  $H$ .  
Die kostengünstig erzeugte Strommenge ( $E_e$ ) wird selbst verbraucht und senkt den teuren Fremdbezug vom Energieversorger auf  $E_f = S - E_e$  (ggf.  $\rightarrow 0$ )

# Energieflussbild stromerzeugende Heizung II

Einführung

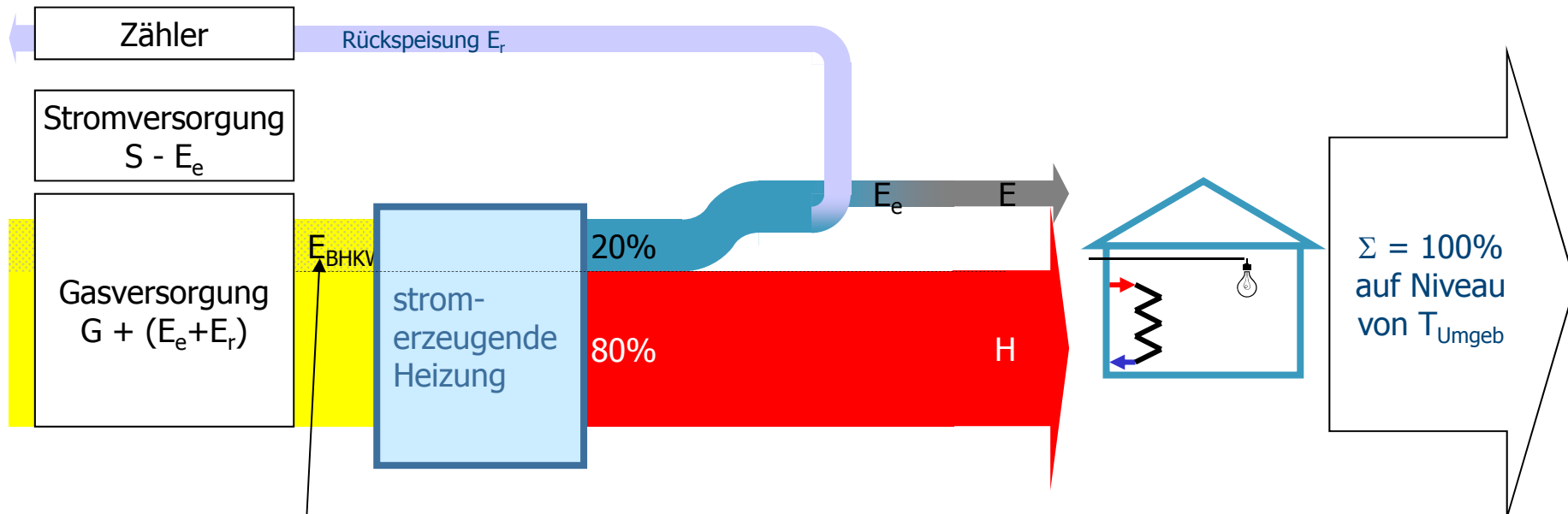
Strom und Wärme

Effizienz

Aufbau + Wirkungsweise

Anforderungen

Ausblick



zusätzl. Gasaufwand  
für  $E_{\text{BHKW}} = E_e + E_r$

Bei der Erzeugung der Heiz-/Brauchwasserwärme  $H$  fallen  $E_{\text{BHKW}} = E_e + E_r = H / (1/\eta - 1)$  an. Ein Teil davon ( $E_e$ ) wird selbst genutzt, der andere ( $E_r$ ) kostengünstig zurückgespeist.  
Der Gasaufwand  $G$  wird um  $E_{\text{BHKW}} = E_e + E_r$  höher, damit ist der Ertrag für  $E_r$  etwa so hoch wie die Kosten für  $E_r$ , hinzu kommen die Kosten für den Zähler. Rückspeisung lohnt sich (eigentlich) nicht.

# Energieflussbild konventionelle Heizung I

Einführung

Strom und Wärme

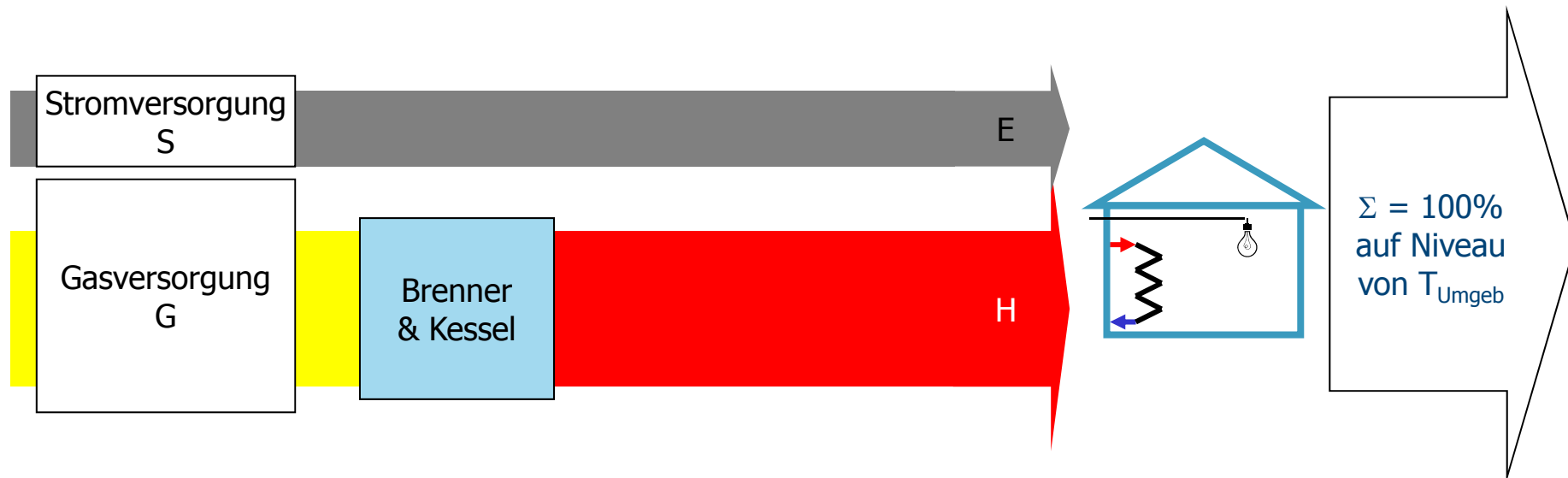
Effizienz

Aufbau + Wirkungsweise

Anforderungen

Ausblick

schlecht für die Ressourcen  
schlecht für die Umwelt  
schlecht für den Geldbeutel



Vom Stromversorger wird die Energiemenge  $S$  zum Preis  $s$  bezogen.  
Die Gasmenge  $G$  wird zum Preis  $g$  bezogen und komplett  
in Heiz-/Brauchwasserwärme  $H$  umgesetzt.  
Zurzeit ist  $g = \frac{1}{4} s$

# „Kaskadierte“ Primärenergienutzung

Einführung

Strom und Wärme

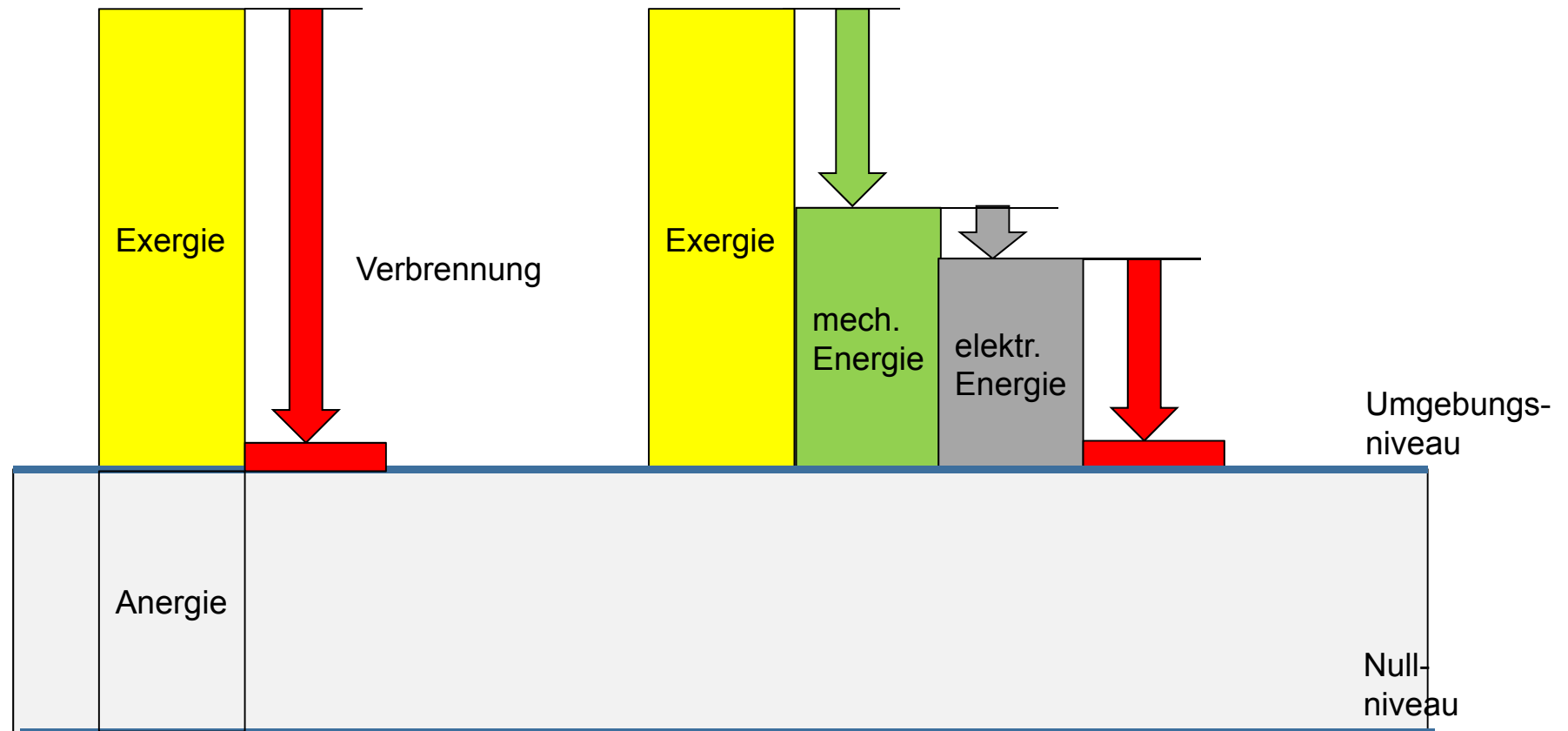
Effizienz

Aufbau + Wirkungsweise

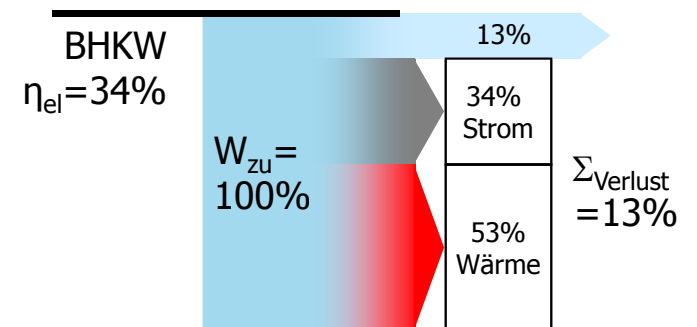
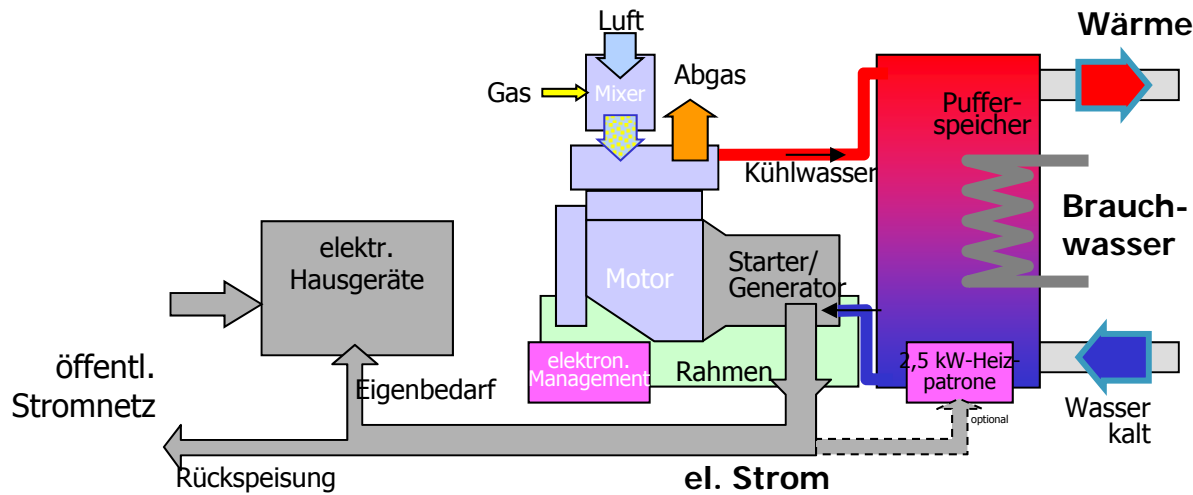
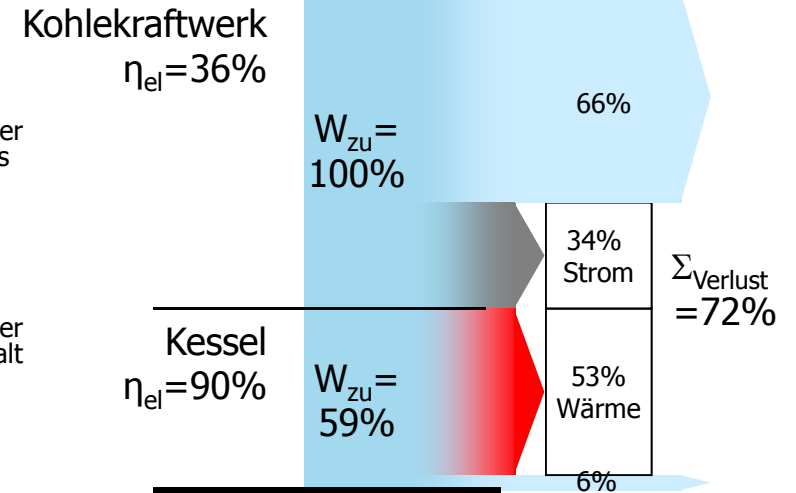
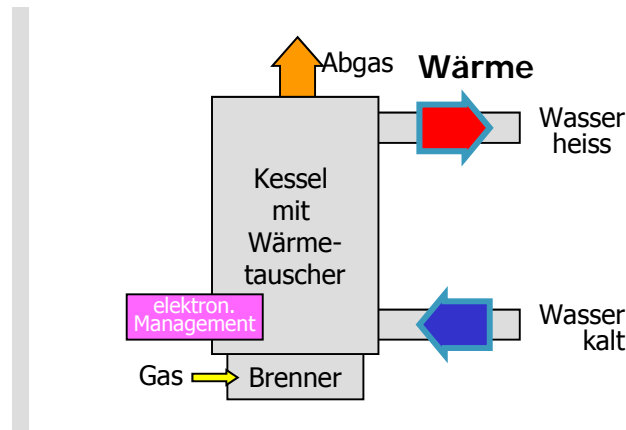
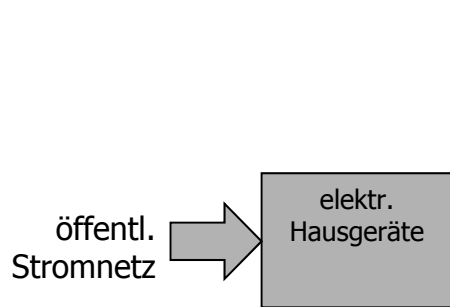
Anforderungen

Ausblick

fossiler Energieträger



# Effizienz-Vergleich konventionelle/stromerzeugende Heizung



# Entwicklung Energiepreise für private Haushalte

Einführung

Strom und Wärme

Effizienz

Aufbau + Wirkungsweise

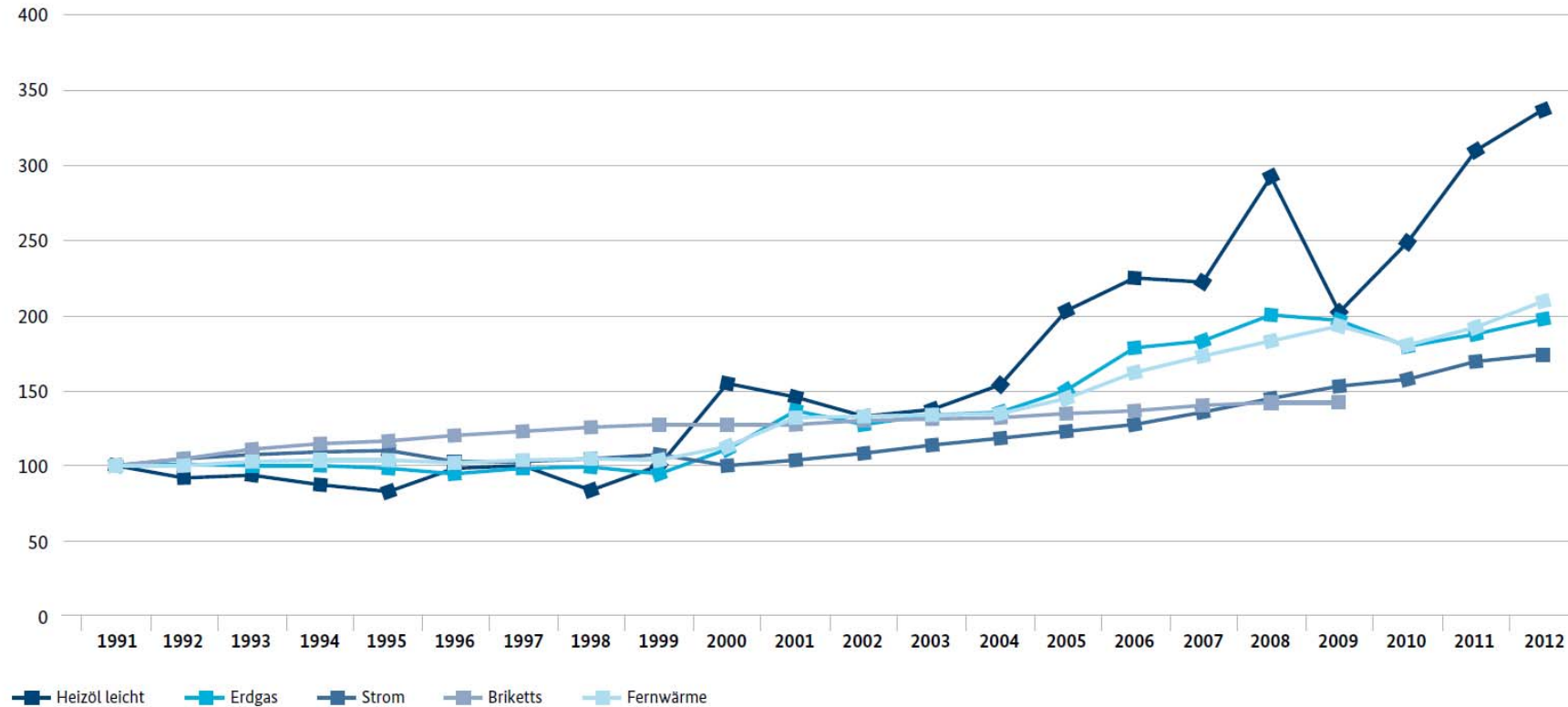
Anforderungen

Ausblick



## Entwicklung der Energiepreise privater Haushalte

Index 1991 = 100



Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) auf der Basis der Indexwerte von Statistisches Bundesamt (StBa)

Verdopplung in 20 Jahren!  
aber: Gaspreis = 1/4 Strompreis

# stromerzeugende Heizung – Aufbau und Wirkungsweise

# Beispiele für stromerzeugende Heizungen

Einführung

Strom und Wärme

Effizienz

Aufbau + Wirkungsweise

Anforderungen

Ausblick



IWT  
Institut für Weiterbildung,  
Wissens- und  
Technologietransfer

stromerzeugende Heizung = Mikro-BHKW = Mini-BHKW = Heimkraftwerk = Hausenergiestation

Mikro-BHKW mit (Erd-)Gasmotoren  
abgeleitet aus Fahrzeugmotoren oder Spezialmotoren  
Mikro-BHKW mit Heizölmotoren  
Freikolben-Maschinen  
Stirling-Motoren



# Aufbau stromerzeugende Heizung I

Einführung

Strom und Wärme

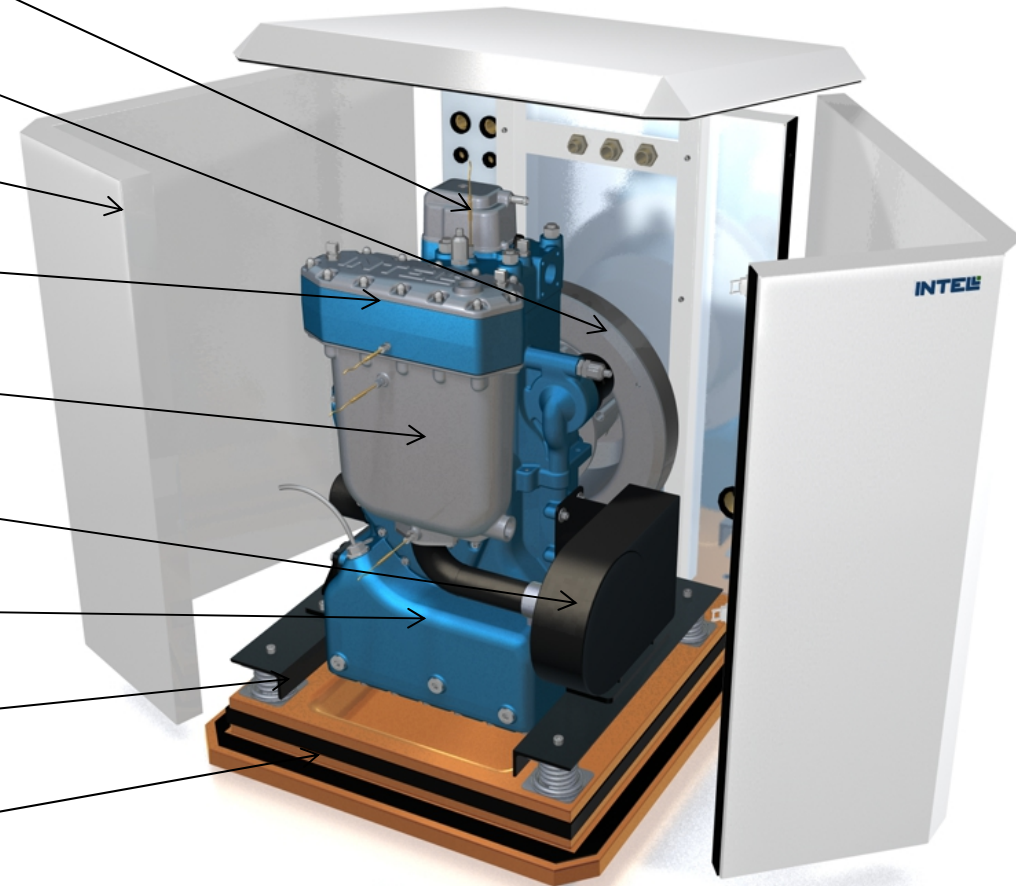
Effizienz

Aufbau + Wirkungsweise

Anforderungen

Ausblick

- Zylinderkopf mit Mischer
- Generator und Schwungrad
- schall- u. wärmedichtes Gehäuse
- Wärmetauscher mit KAT
- Brennwertwärmetauscher
- Abgasführung/Schalldämpfer
- Ölreservoir
- Schwinglagerung
- Grundplatte



# Aufbau stromerzeugende Heizung II

Einführung

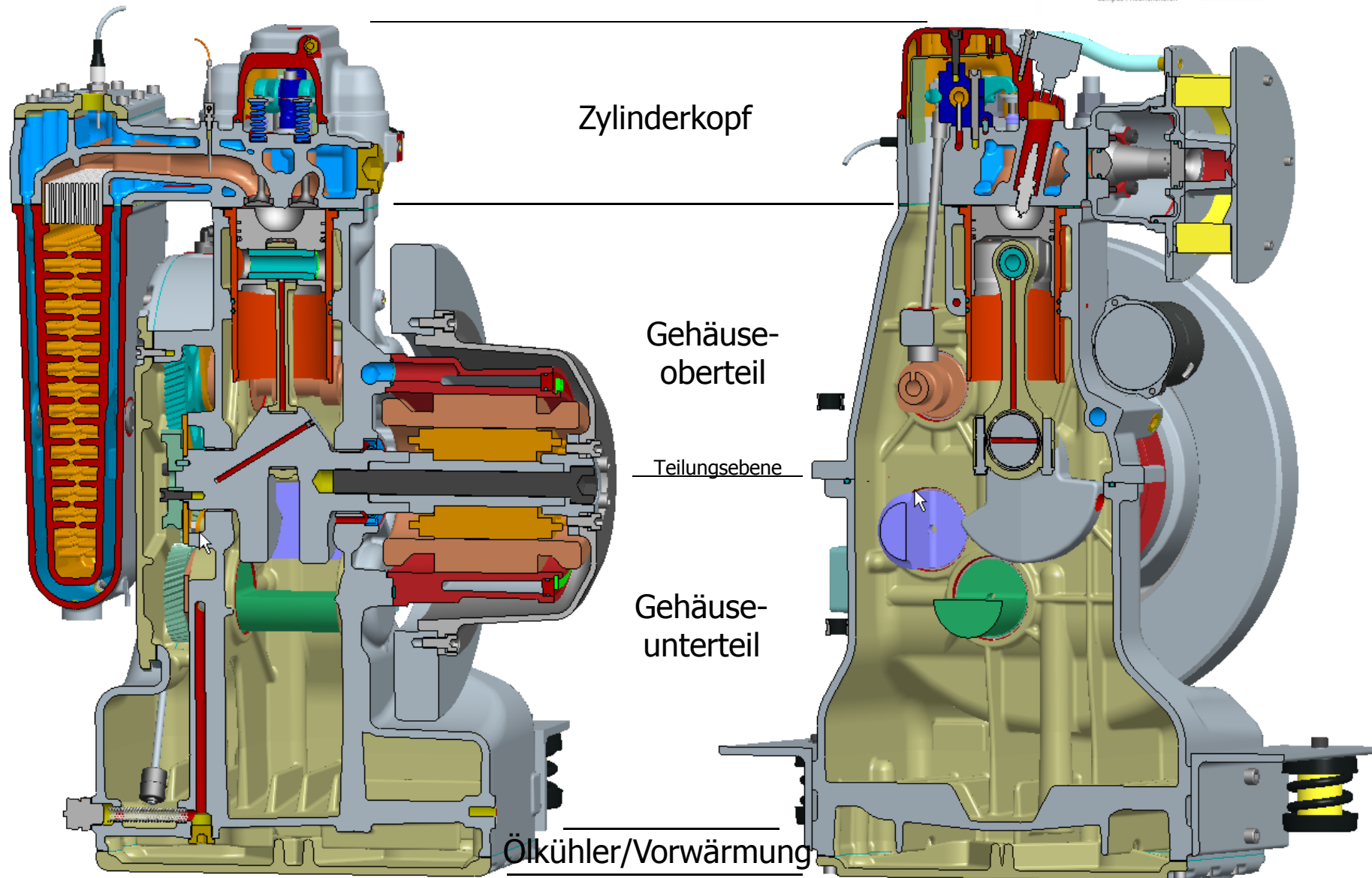
Strom und Wärme

Effizienz

Aufbau + Wirkungsweise

Anforderungen

Ausblick



# Aufbau stromerzeugende Heizung III

Einführung

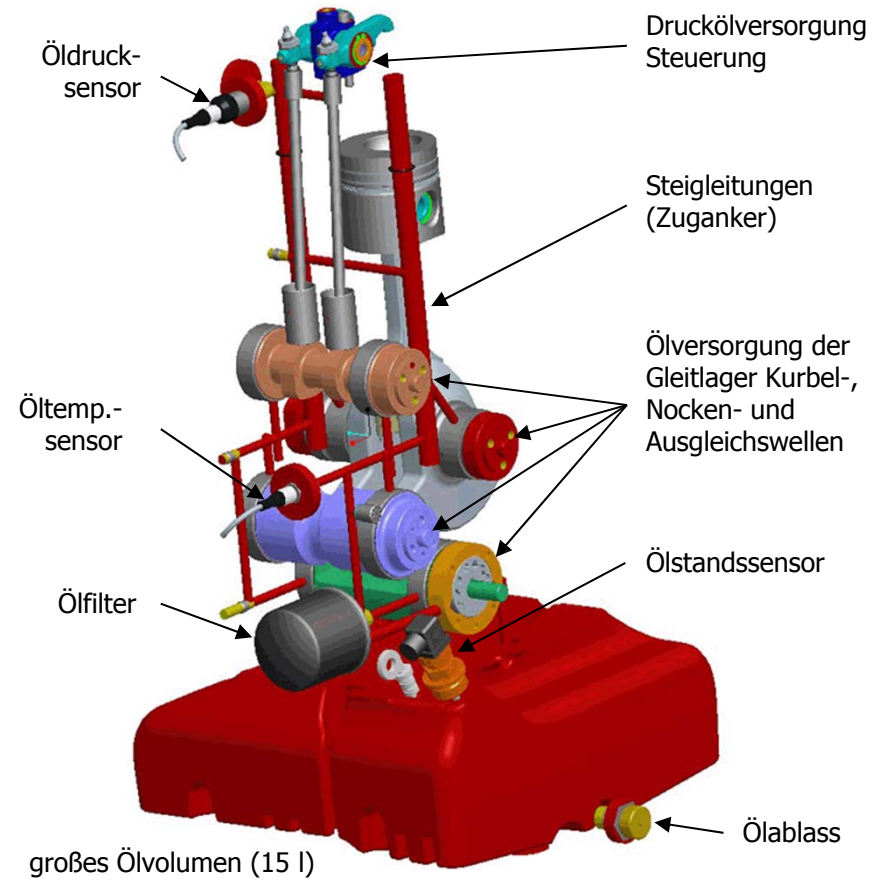
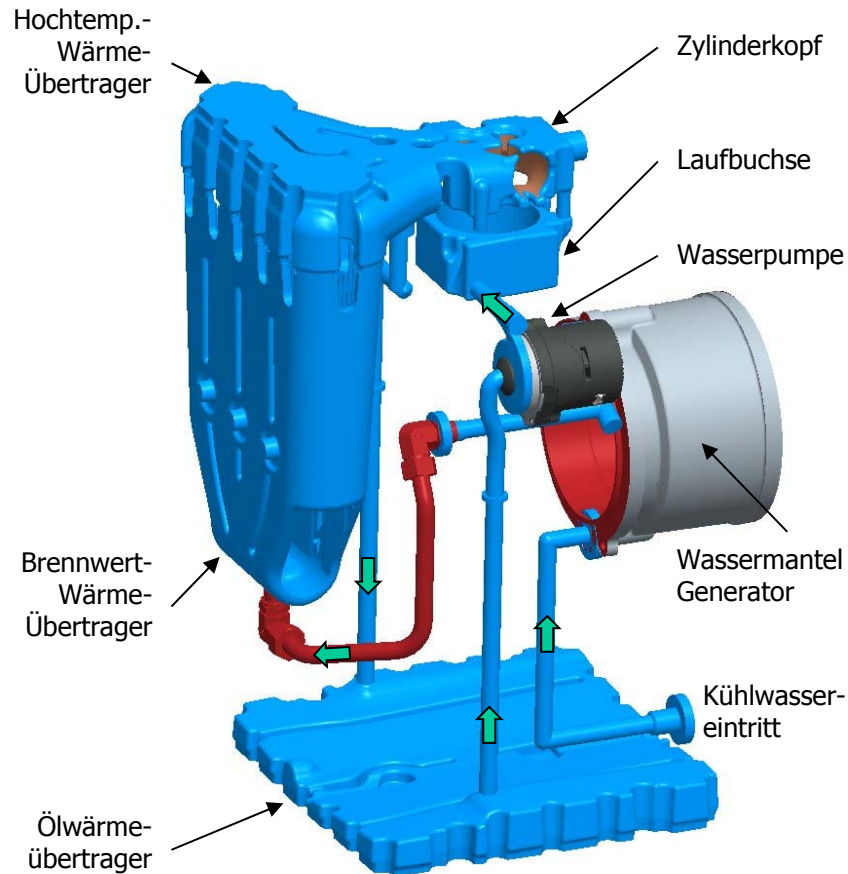
Strom und Wärme

Effizienz

Aufbau + Wirkungsweise

Anforderungen

Ausblick



# Anforderungen und: Wo ist der Haken?

## Was strebt der Kunde an:

- Lebensqualität (Heizung/Kühlung<sup>1</sup>); Komfort durch elektr. Geräte)
- stabile Energieversorgung<sup>2</sup>)
- bei absehbar möglichst geringen Kosten<sup>3</sup>)
- weitgehende Berücksichtigung ökologischer Aspekte
- Unabhängigkeit<sup>2</sup>)

1) steigende Ansprüche, mehr Kühlbedarf

2) Krisenfall, Katastrophe, Terrorismus

3) Energiemonopole bestimmen Preise

# Anforderungen an stromerzeugende Heizungen

Einführung

Strom und Wärme

Effizienz

Aufbau + Wirkungsweise

Anforderungen

Ausblick



## Was muss eine stromerzeugende Heizung erfüllen:

- geringe Anschaffungskosten
- geringe Betriebskosten (Gasverbrauch (Effizienz), Öl, Wartung, ...)
- Sicherheit und Zuverlässigkeit
- lange Lebensdauer
- leise
- Flexibilität (Kombination mit anderen Lösungen)

# Wirkungsgrad und spezifischer Preis

Einführung

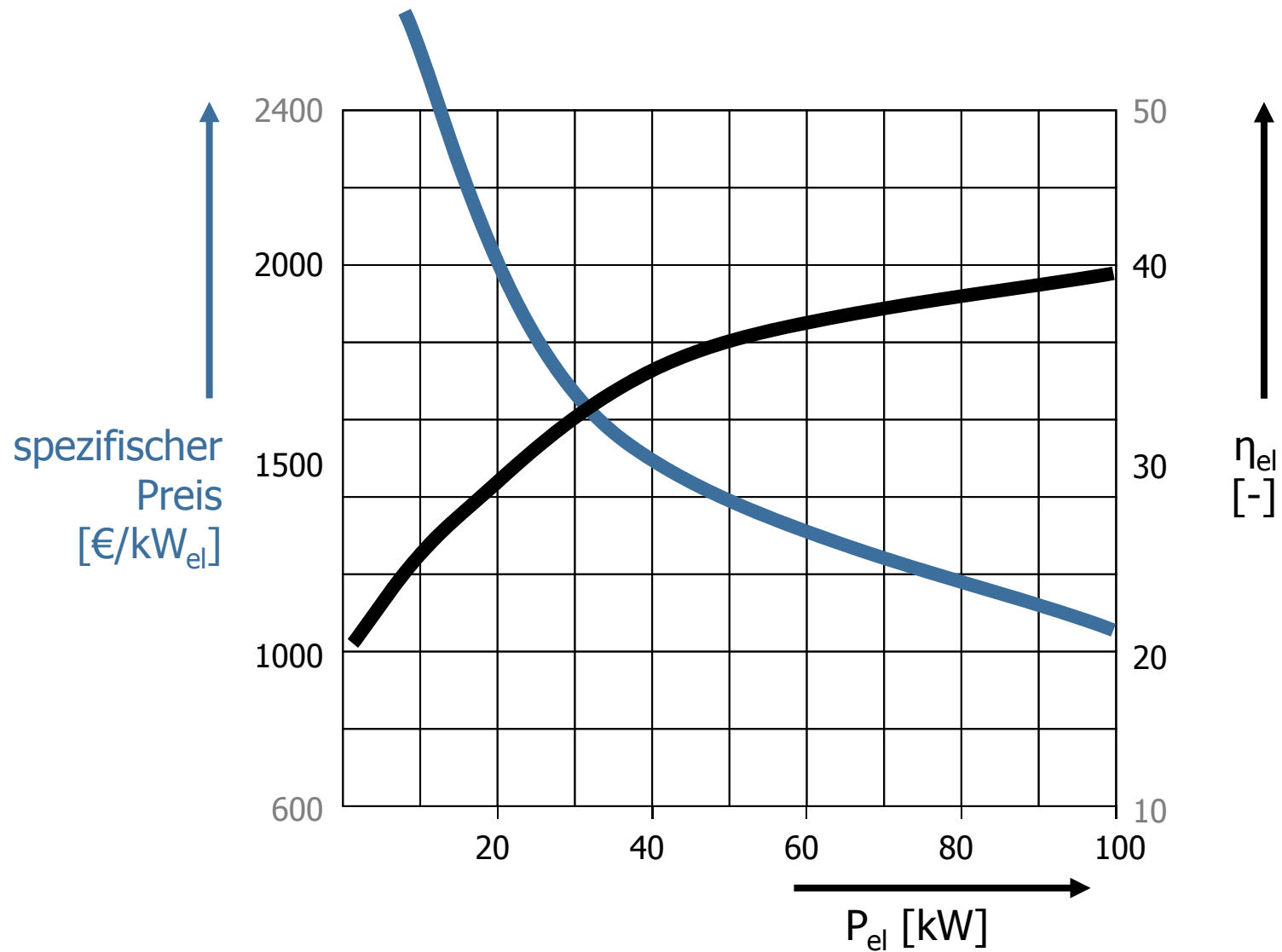
Strom und Wärme

Effizienz

Aufbau + Wirkungsweise

Anforderungen

Ausblick



# Energieflussdiagramm stromerzeugende Heizung

Einführung

Strom und Wärme

Effizienz

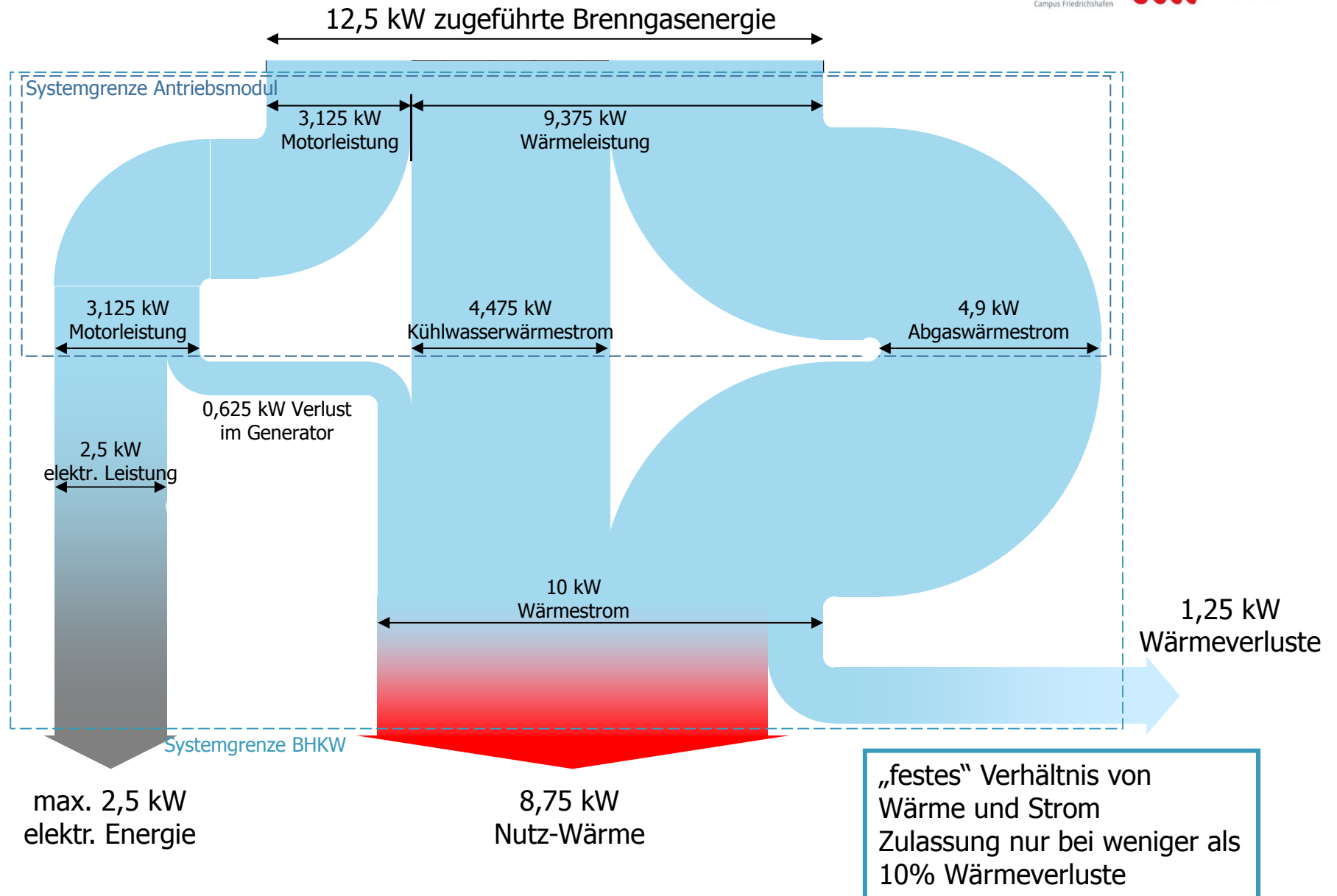
Aufbau + Wirkungsweise

Anforderungen

Ausblick



IWT  
Institut für Weiterbildung,  
Wissens- und  
Technologietransfer



# Passt die stromerzeugende Heizung zur Bausubstanz?

Einführung

Strom und Wärme

Effizienz

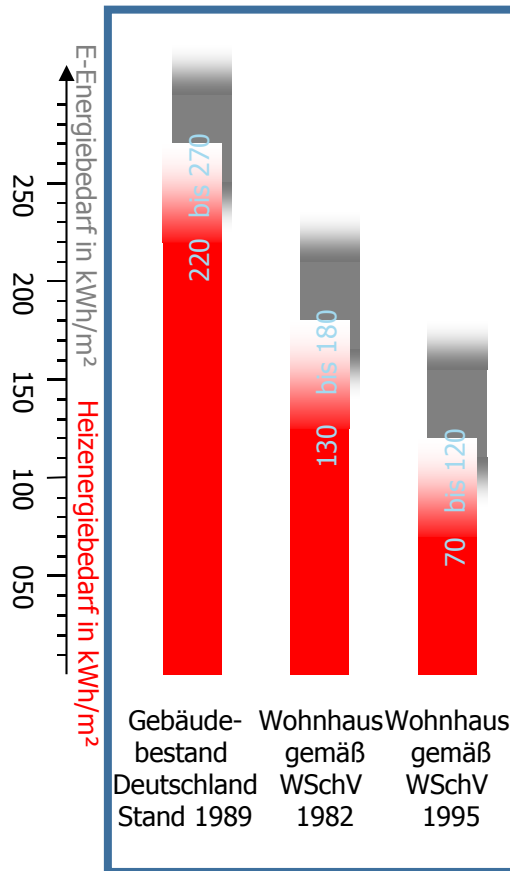
Aufbau + Wirkungsweise

Anforderungen

Ausblick

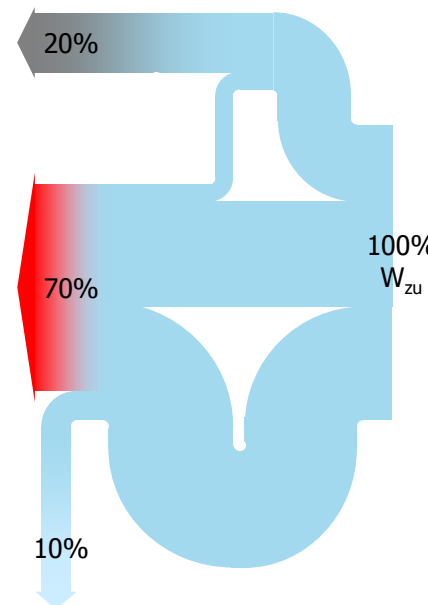
größere kommerzielle BHKW sind meist stromgeführt.

Zielstellung: Strom erzeugen, Strom selbst nutzen und verkaufen,  
Abwärme nutzen (Gewächshaus, Schwimmbad, Wohnanlage, Hotel)



stromerzeugende Heizungen sind wärmegeführt.

Zielstellung: Wärmeversorgung sichern,  
erzeugten Strom maximal selbst nutzen



Das Verhältnis  
Strom / Wärme muss passen

Für Häuser mit geringem  
Wärme- und vergleichsweise  
hohen Strombedarf sind  
Mikro-BHKW nicht geeignet.

# Auslegungskriterien

Einführung

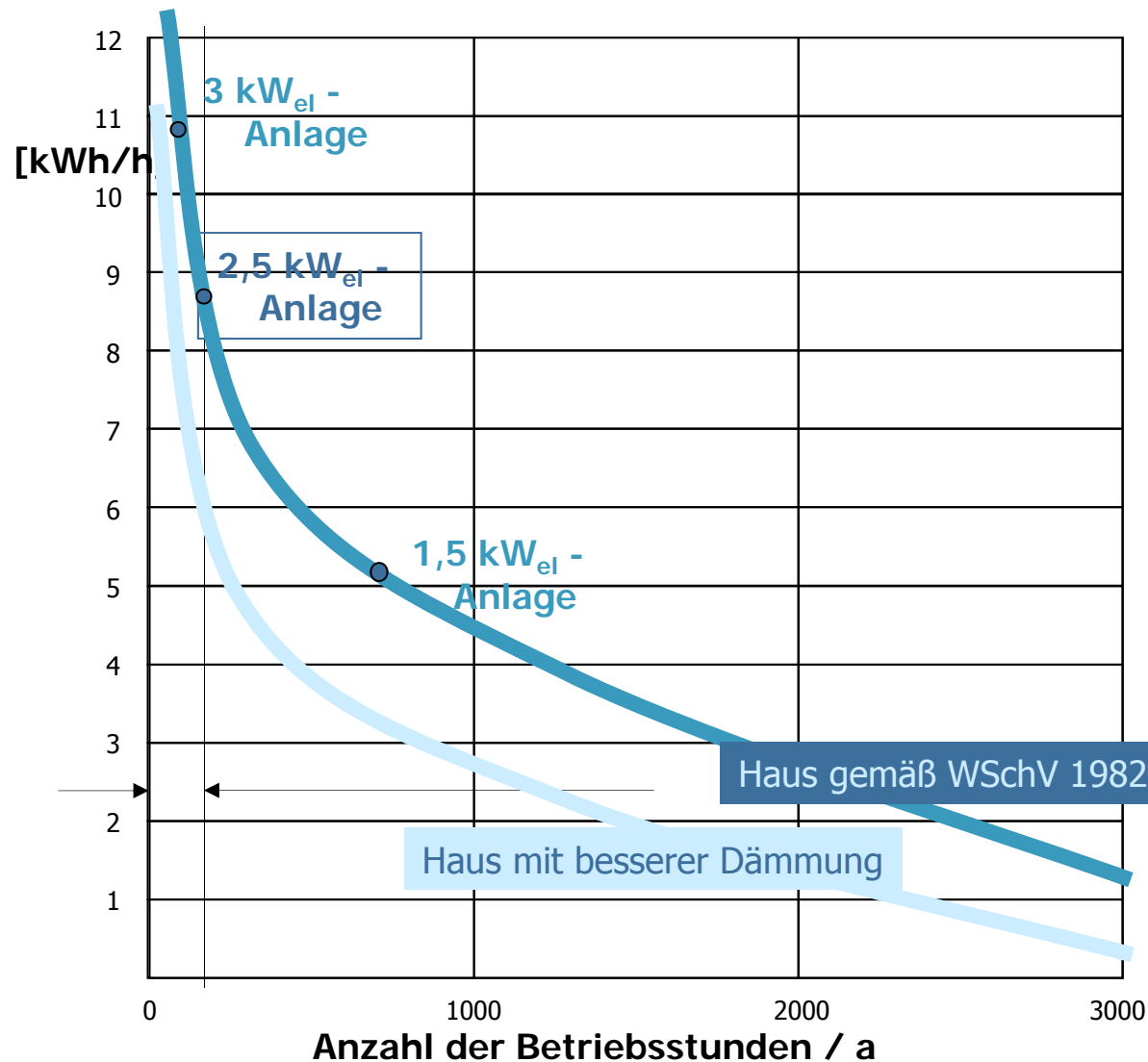
Strom und Wärme

Effizienz

Aufbau + Wirkungsweise

Anforderungen

Ausblick



Anlage mit 2,5 kW<sub>el</sub> erfüllt die Mehrzahl der Randbedingungen für Ersatz älterer Heizungen:

im Betrieb im Nennlastpunkt:

$$P_{el} = 2,5 \text{ kW}$$

$$P_{e \text{ mot}} = 3,125 \text{ kW}$$

$$P_{\text{Heiz}} = 8,75 \text{ kW (normal)}$$

$$P_{\text{Heiz}} = 11,25 \text{ kW (für Spitzenlast)}$$

im Winterbetrieb (abends)

Dauerlauf von 4..6 h möglich;

ansonsten Start-Stopp-Betrieb mit möglichst wenigen Laufphasen täglich

Ein- und Ausschaltswelle (und Hysterese) an den Jahresbedarf (lernend) anpassen.

Lernendes System wünschenswert, dass das Durchschnittsverhalten des Nutzers erkennt und präventiv die Laufphasen so optimiert, dass die Anzahl der Starts minimal ist und die erzeugte E-Energie genutzt werden kann.

Einführung

Strom und Wärme

Effizienz

Aufbau + Wirkungsweise

Anforderungen

Ausblick



# Ausblick

# Nochmal: Wo kommt der Strom her? Sinn des Speicherns

Einführung

Strom und Wärme

Effizienz

Aufbau + Wirkungsweise

Anforderungen

Ausblick

Wasserkraft



Windkraft



Photovoltaik,  
Solarthermie



Geothermie



Regenerative  
Energiequellen  
CO<sub>2</sub> neutral

zur falschen Zeit  
am falschen Ort  
(in der falschen Menge)

**Speichern?**

Anergie

chemisch ge-  
bundene Energie



CO<sub>2</sub>-neutral:  
Biomasse

Müll

fossile  
Energiequellen

Erzeugung  
regelbar  
am falschen Ort (zentral)

nukleare  
Energiequellen



nicht mehr  
akzeptiert

Energiewandlung und -transport  
sind verlustbehaftet → CO<sub>2</sub>

# Energiespeichermöglichkeiten

Einführung

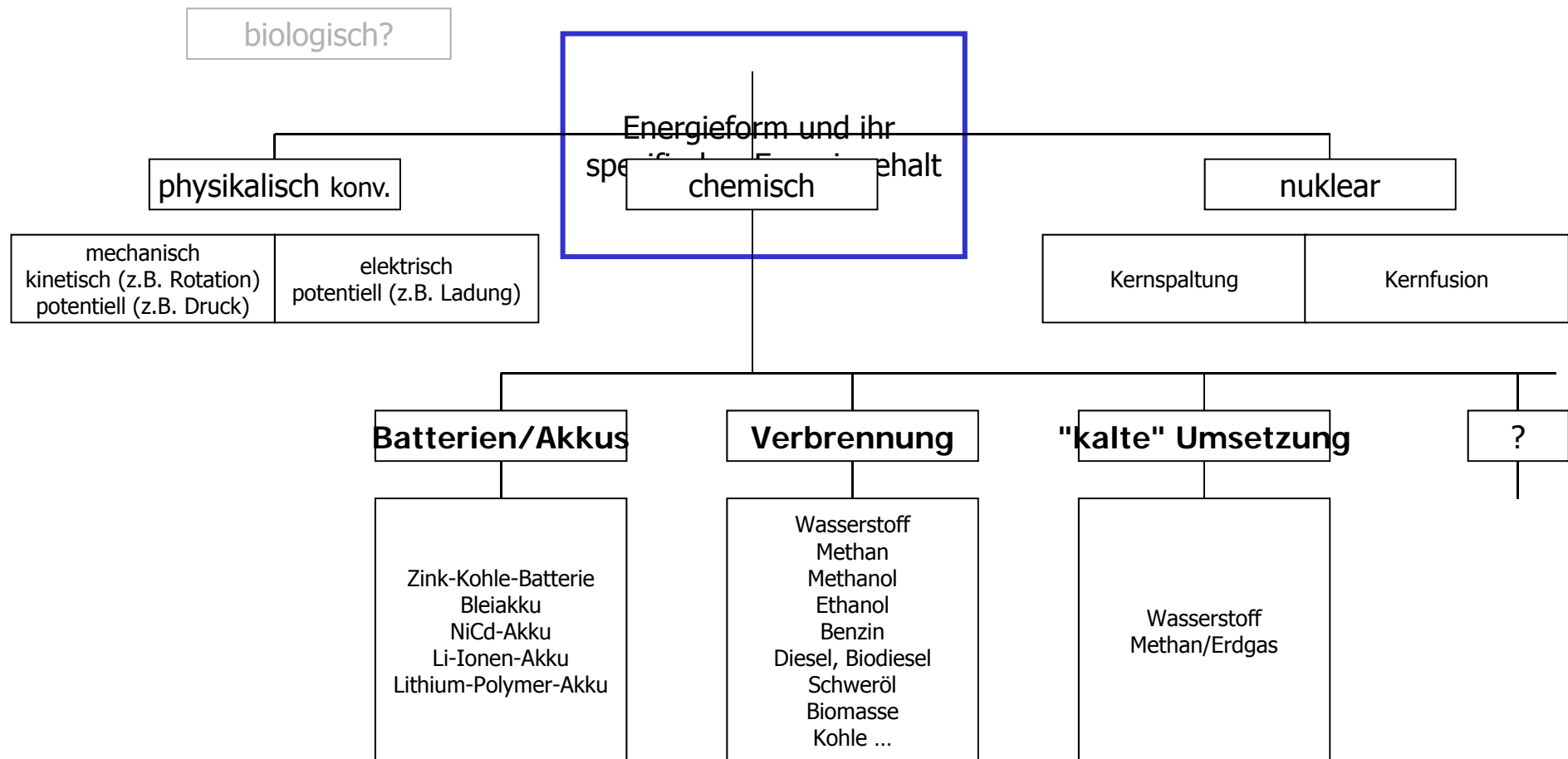
Strom und Wärme

Effizienz

Aufbau + Wirkungsweise

Anforderungen

Ausblick



# Speicher für elektrische Energie

Einführung

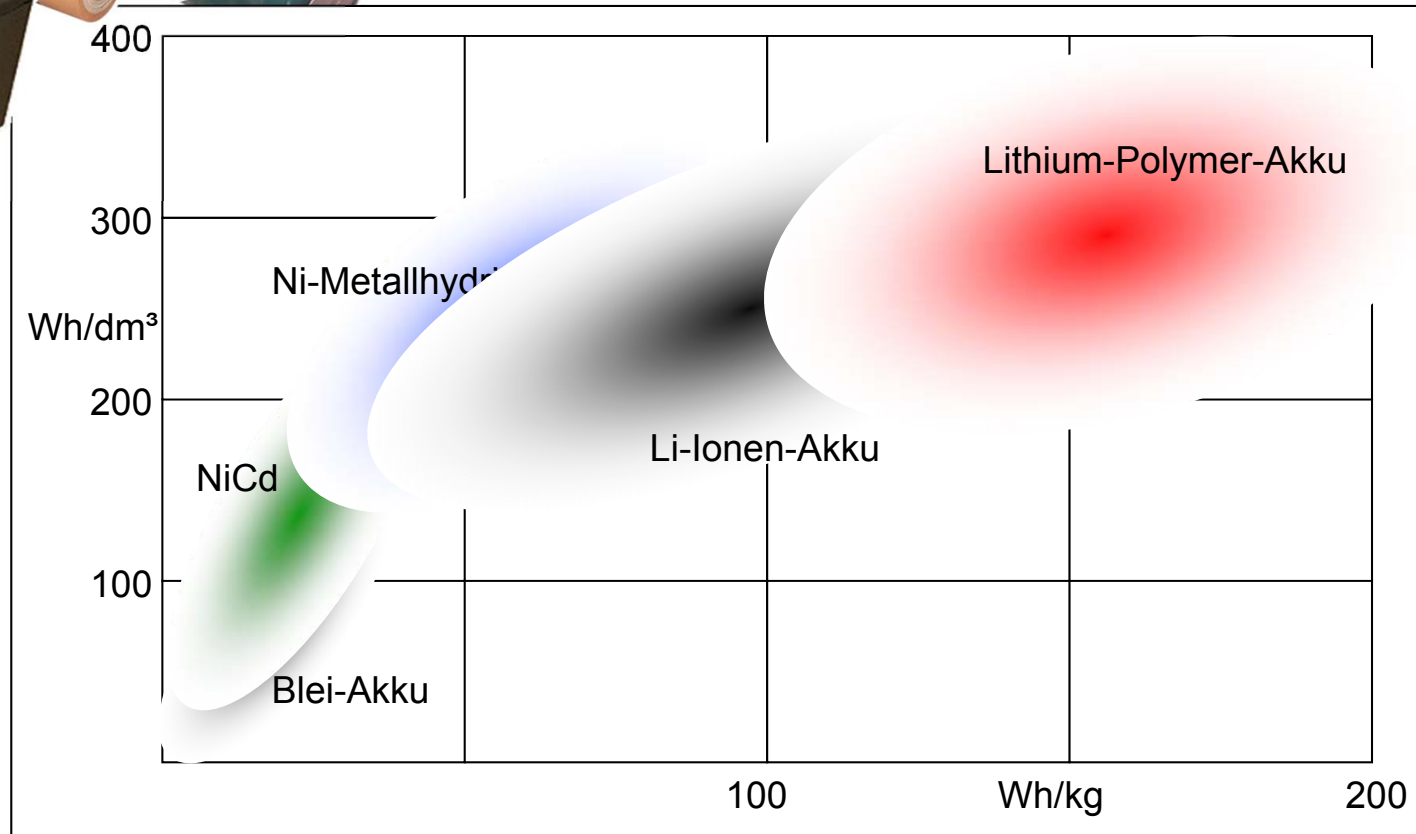
Strom und Wärme

Effizienz

Aufbau + Wirkungsweise

Anforderungen

Ausblick



# Energiespeicherung in chemischen Verbindungen

Einführung

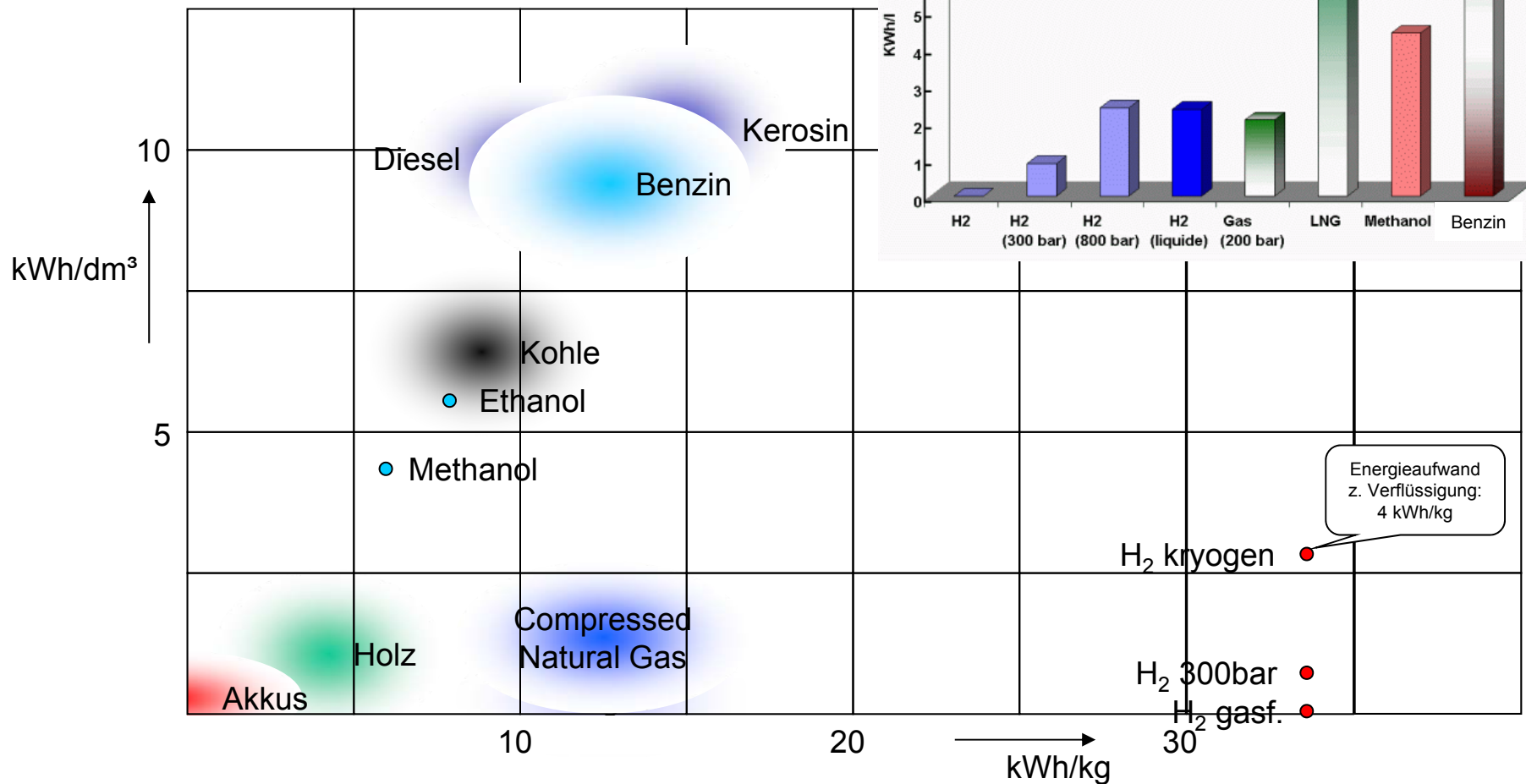
Strom und Wärme

Effizienz

Aufbau + Wirkungsweise

Anforderungen

Ausblick



# Solar- und Windstrom speichern...

Einführung

Strom und Wärme

Effizienz

Aufbau + Wirkungsweise

Anforderungen

Ausblick

## Speichern?

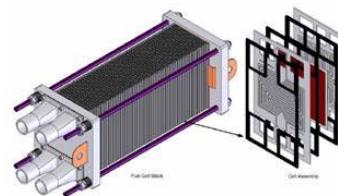
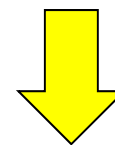
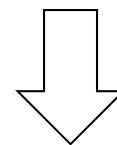
Windkraft



Photovoltaik,  
Solarthermie



auch Elektrofahrzeug!



# Vision: Dezentrale Energieerzeugung mit Mikro-BHKW

Einführung

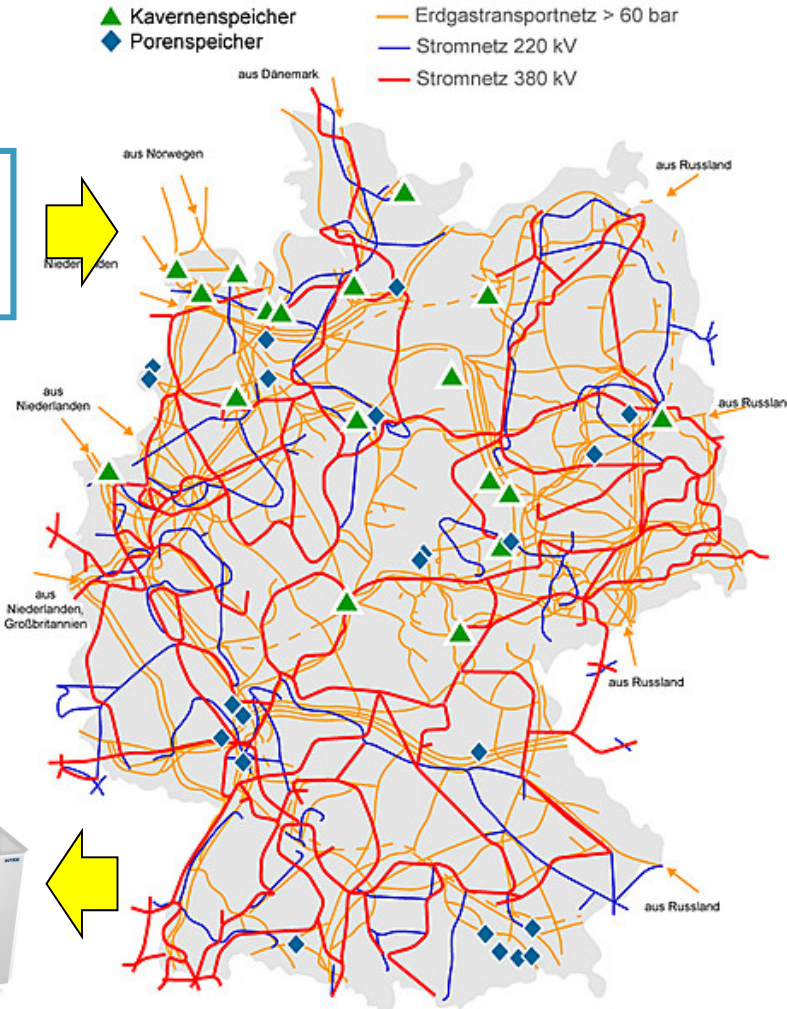
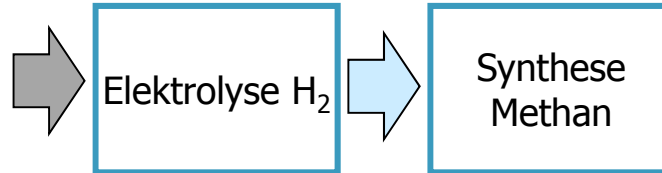
Strom und Wärme

Effizienz

Aufbau + Wirkungsweise

Anforderungen

Ausblick



Speicherfähigkeit des Erdgasnetzes



<http://www.google.de/imgres?hl=de&blw=1920&bih=999&biw=1280&imgref=http://www.bhk-w-jetzt.de/home-warum-bhk-w/straw-zu-ee-gas/&docid=WD-x8JCLz2f0M&imgurl=http://www.bhk-w-jetzt.de/hypo3temp/pics/co412bcofa.jpg&w=530&h=600&ei=4RQUc2XMYPOQXilFwZoom=1&act=hc&px=63&py=195&dur=26&hov=23&nov=21&lx=11&ly=130&page=1&br=134&bn=104&star=0&ndp=64&ved=11:429:1:1.s.o.i.85>

**Danke für die Aufmerksamkeit!**

## Diskussion