

# Übung zur Lehrveranstaltung „Einführung in die Energiewirtschaft“

SoSe 2017

Dr. Patrick Jochem, Hannes Schwarz, Nico Lehmann  
Übung 9: Elektrizitätswirtschaft (Teil III) / Wärme

INSTITUT FÜR INDUSTRIEBETRIBSLEHRE UND INDUSTRIELLE PRODUKTION (IIP)  
Lehrstuhl für Energiewirtschaft (Prof. Fichtner)



# Termine

Übung		
Übung 6	13.06.2017	Kernenergie
Übung 7	20.06.2017	Kernenergie/ Elektrizität
Übung 8	04.07.2017	Elektrizität
Übung 9	11.07.2017	Elektrizität/ Wärme
Übung 10	25.07.2017	Wärme/ Klausur-Fragen

**Klausur: 03.08.2017**

**Anmeldung:** Ab 01.06.2017 online über den Link <https://studium.kit.edu>

**Anmeldeschluss: 13.07.2017**, danach werden keine Anmeldungen mehr entgegengenommen!\*

**Abmeldung:** Eine Abmeldung ist vorgeschrieben.

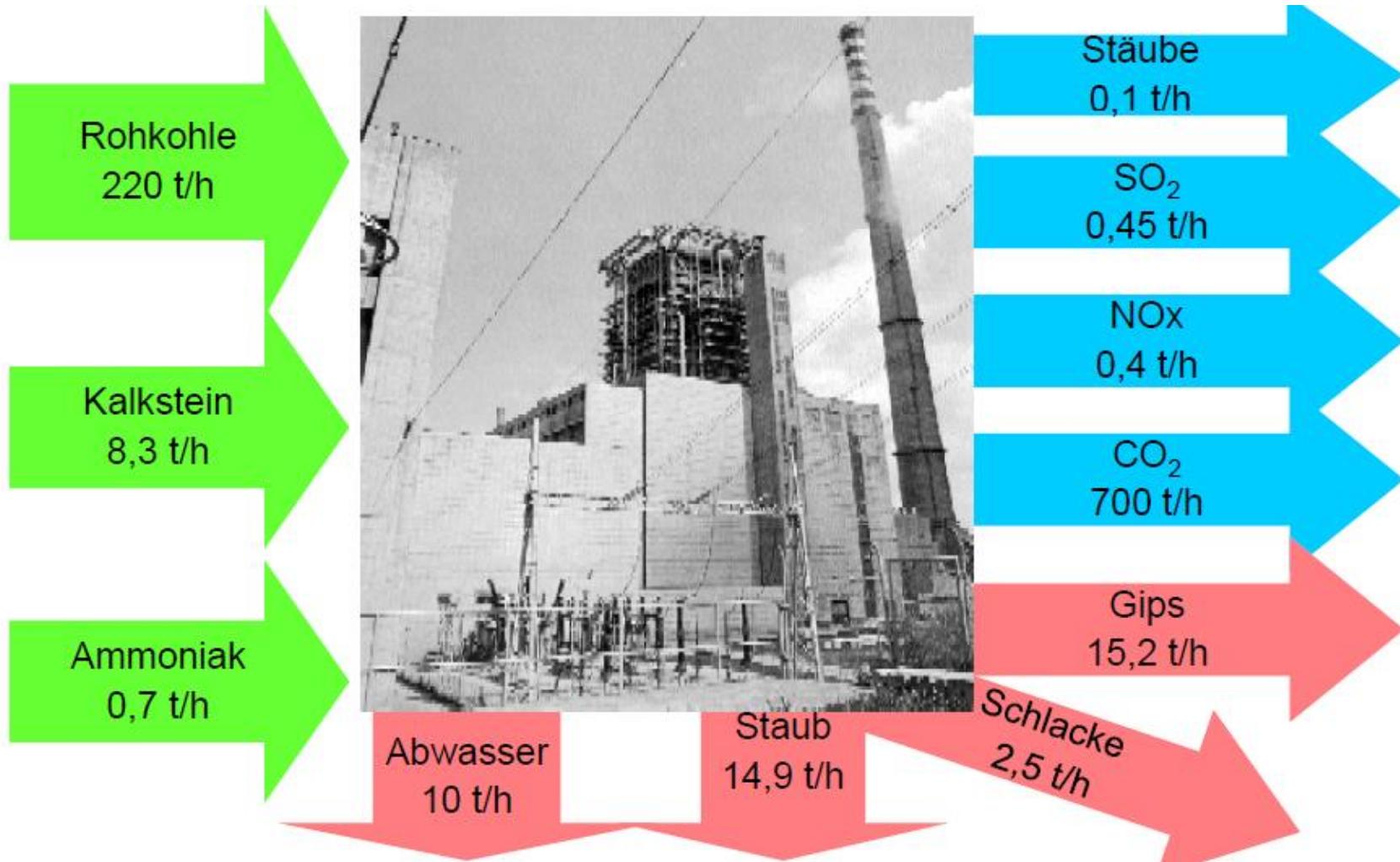
\*auch bei Anmeldung mit Zulassungsschein

# Agenda

- Wiederholung letzte Übung
- Wärme (Übungsaufgaben )



# Stoffströme im Kohlekraftwerk (750 MW)



## Aufgabe 14

- Für eine Wohnung mit 95 m<sup>2</sup> Gesamtwohnfläche sind folgende Werte bekannt:
  - 27.000 l/a Warmwasserbedarf (50°C)
  - die durchschnittliche Kaltwassertemperatur beträgt 15°C
  - 3.000 kWh/a Strombedarf
  - 450 m<sup>3</sup>/a Erdgasverbrauch zu Heizzwecken
  
  - Erdgasbrennwert:  $31,74 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3_{\text{Erdgas}}$
  - spezifische Wärmekapazität von Wasser  $c_p = 4,19 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$
  
- Berechnen Sie näherungsweise den gesamten jährlichen Energiebedarf der Wohnung als absolute Größe [GJ/a] und spezifisch bezogen auf die Wohnfläche [kWh/a\*m<sup>2</sup>]!

# Lösung A14

## Gegeben:

$$A = 95 \text{ m}^2$$

$$H_0 = 31,74 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{m}^2 \cdot \text{a}}$$

$$V_w = 27000 \frac{\text{l}}{\text{a}}$$

$$c_p = 4,19 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$W_{\text{Strom}} = 3500 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

$$T_1 = 15^\circ\text{C} = 288,15\text{K}$$

$$V_{EG} = 450 \frac{\text{m}^3}{\text{a}}$$

$$T_2 = 50^\circ\text{C} = 323,15\text{K}$$

## Gesucht:

$$W_a = ??? \left[ \frac{\text{GJ}}{\text{a}} \right]$$

$$w_{\text{spez.}} = ??? \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{a}} \right]$$

# Lösung A14

## Warmwasser:

$$\begin{aligned}
 Q_{WW} &= c_p \cdot m \cdot \Delta T = c_p \cdot \rho \cdot V \cdot (T_2 - T_1) \\
 &= 4,19 \cdot 10^3 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot 1 \frac{kg}{l} \cdot 27000 \frac{l}{a} \cdot (323,15 - 288,15)K = 3,95955 \cdot 10^9 \left[ \frac{J}{a} \right]
 \end{aligned}$$

## Strom:

$$1J = 1Ws$$

$$W_{Strom} = 3000 \cdot 10^3 \frac{Wh}{a} \cdot 3600 \frac{s}{h} \cdot 1 \frac{J}{Ws} = 10,8 \cdot 10^9 \left[ \frac{J}{a} \right]$$

## Heizung:

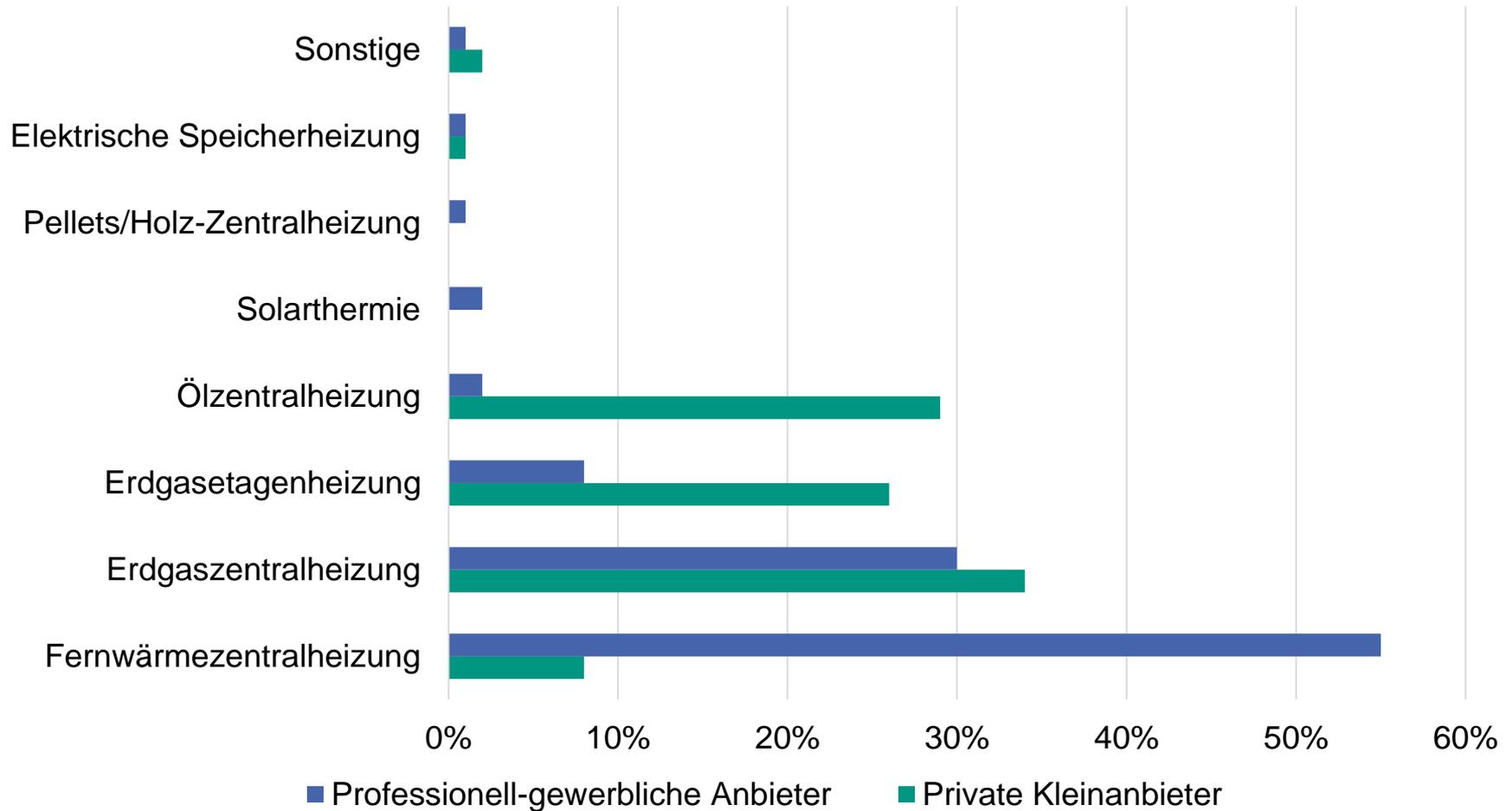
$$W_{EG} = 450 \frac{m^3}{a} \cdot 31,74 \cdot 10^6 \frac{J}{m^3} = 14,283 \cdot 10^9 \left[ \frac{J}{a} \right]$$

## Gesamt:

$$W_{Gesamt} = Q_{WW} + W_{Strom} + W_{EG} = 29,042550 \cdot 10^9 \left[ \frac{J}{a} \right] = 29,042550 \left[ \frac{GJ}{a} \right]$$

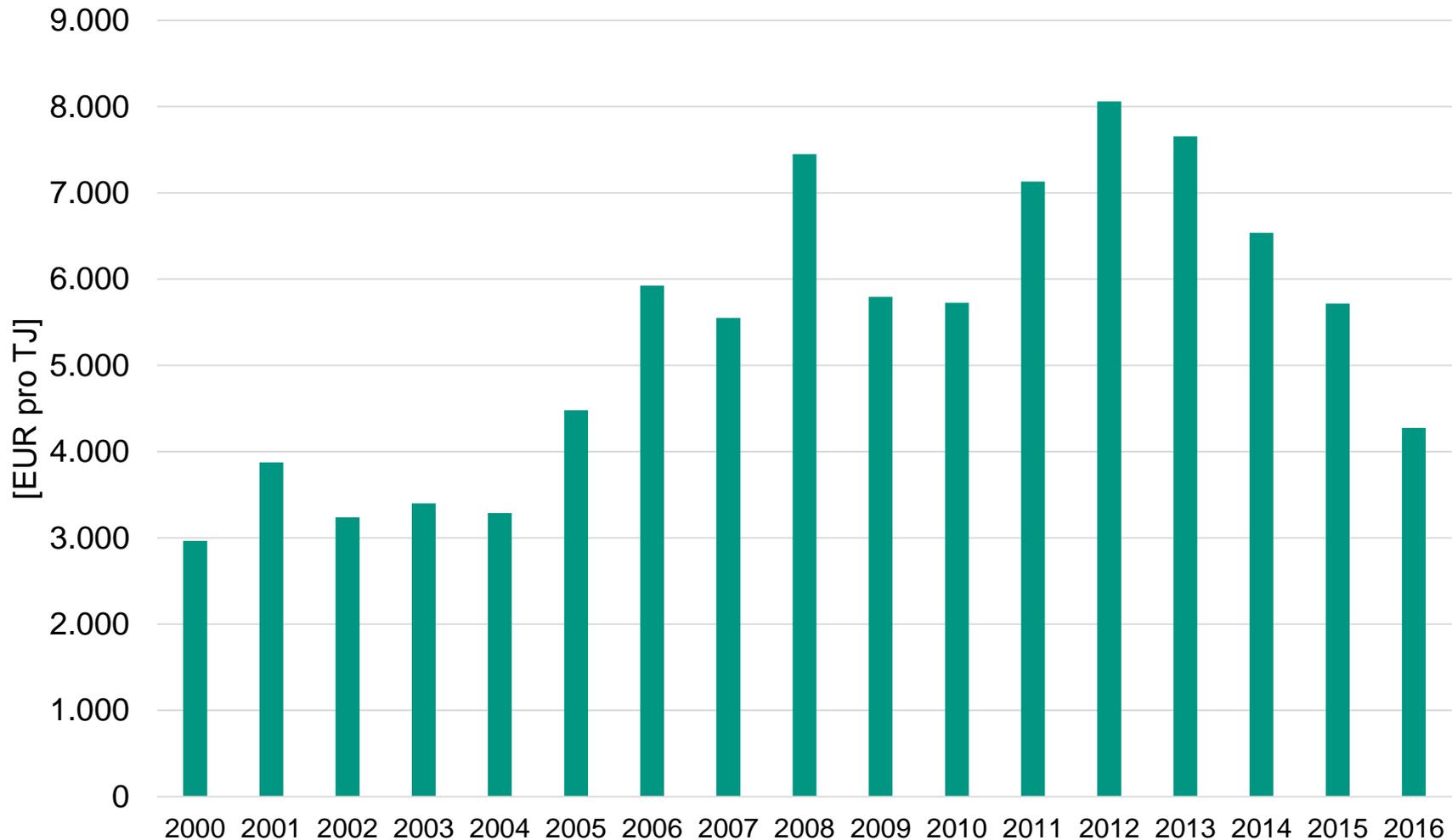
$$\begin{aligned}
 w_{spez.} &= \frac{W_{Gesamt}}{A} = 29,042550 \cdot 10^9 \frac{J}{a} \cdot 1 \frac{Ws}{J} \cdot \frac{1}{3600} \frac{h}{s} \cdot \frac{1}{1000} \frac{kW}{W} \cdot \frac{1}{95} \frac{1}{m^2} \\
 &= 84,92 \left[ \frac{kWh}{m^2 \cdot a} \right]
 \end{aligned}$$

# Genutzte Heizungssysteme in deutschen Wohnungen 2016



Quelle: [BDEW-01]

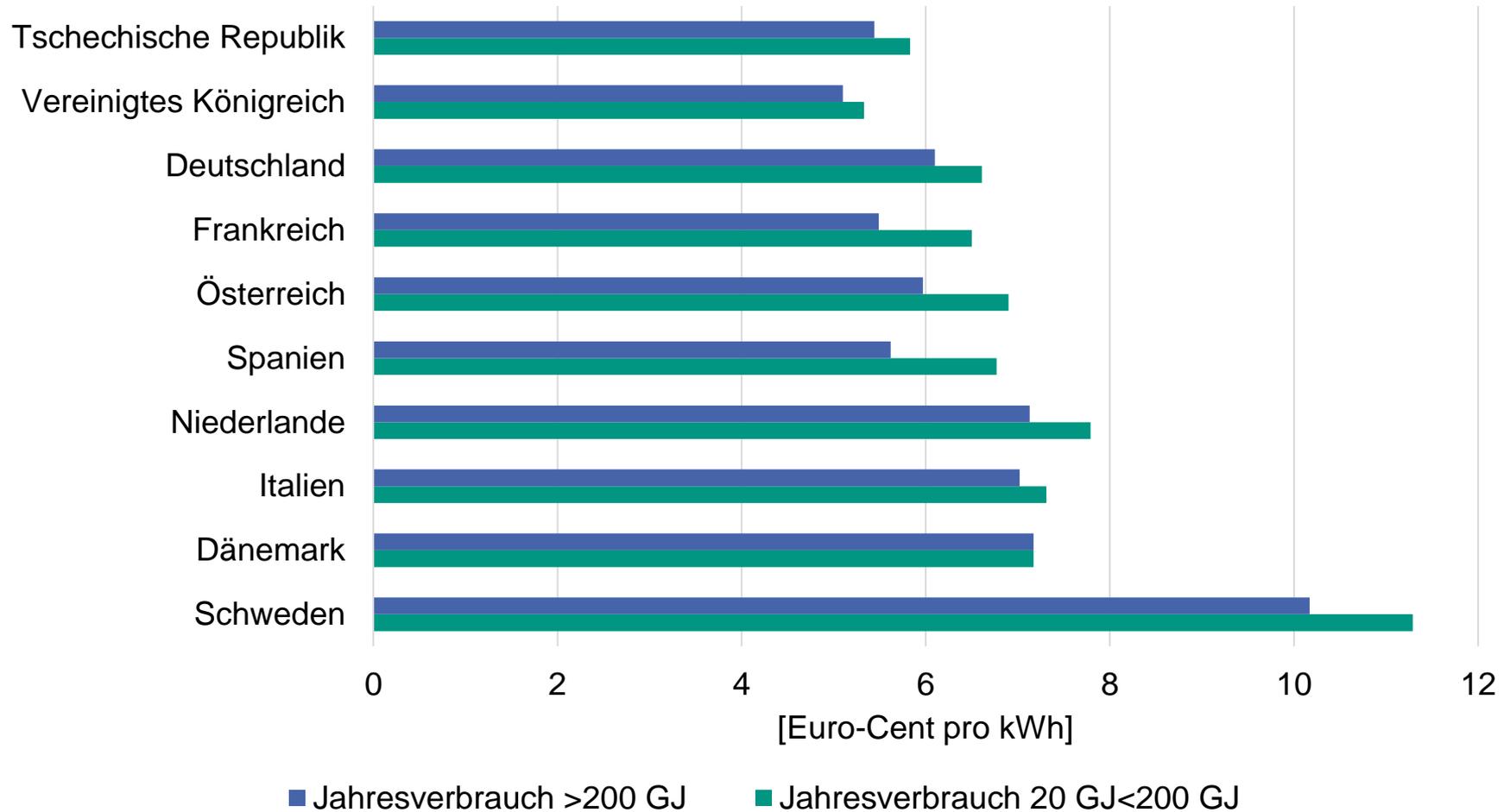
# Grenzübergangspreise für Erdgas\* in DE



Quelle: [BAFA-01]

\*ohne Erdgassteuer

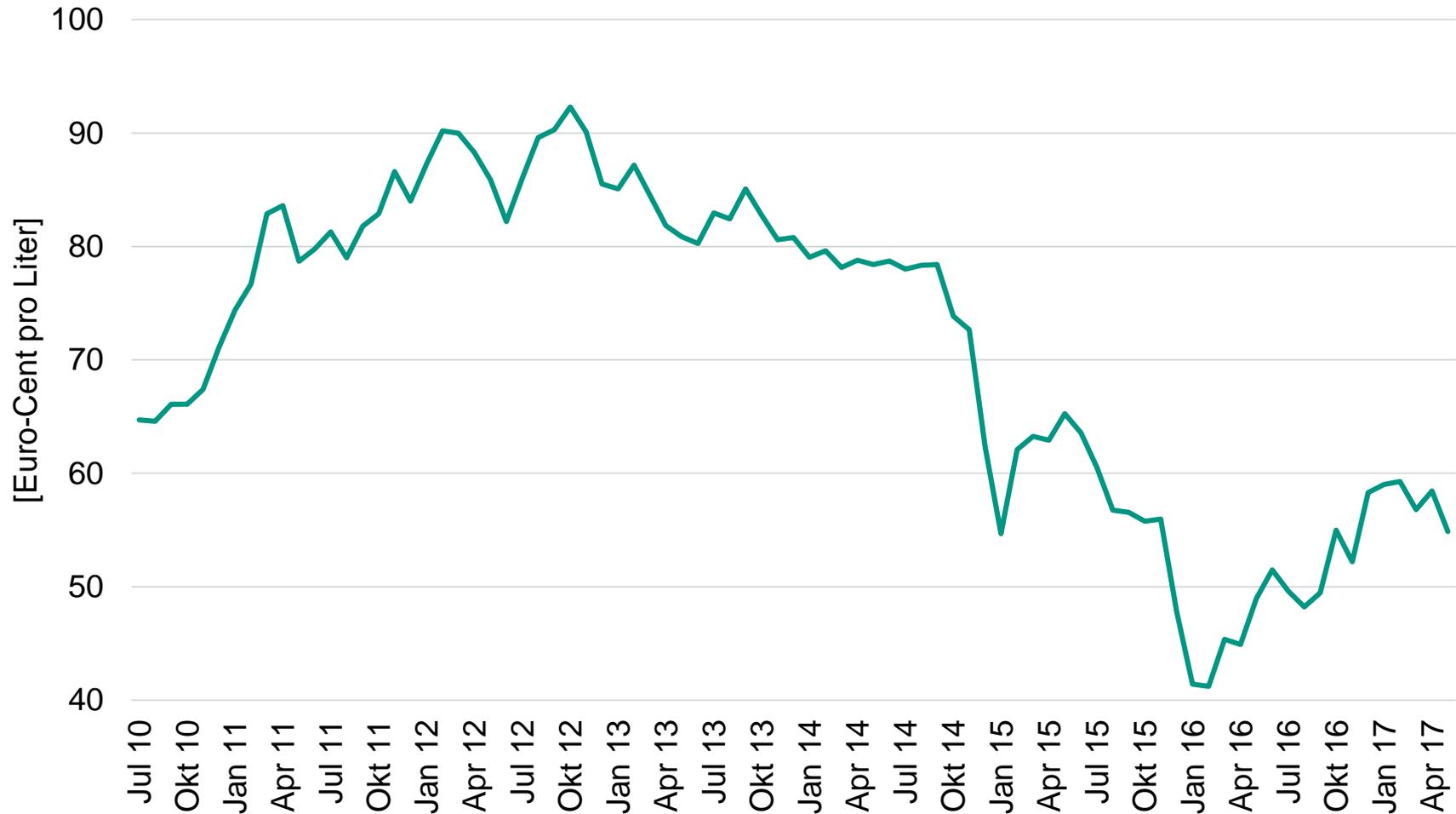
# Erdgaspreise\* für Haushalte 2016



Quelle: [BMWI-01]

\*inkl. aller Steuern

# Preis leichtes Heizöl\* in Deutschland



Quelle: [MWV-01]

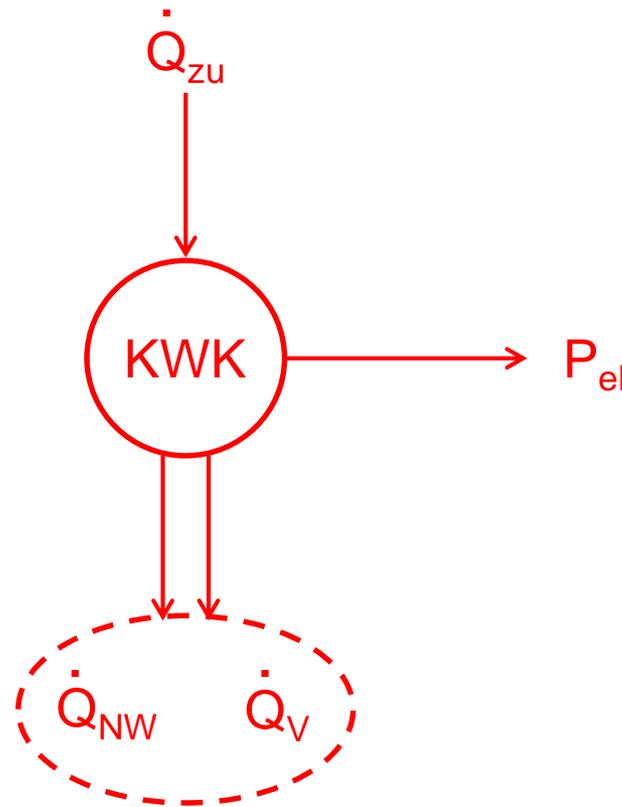
\*Bei Abnahme von 3.000 Litern. Die angegebenen Preise stellen durchschnittliche Verbraucherpreise inklusive Mehrwertsteuer dar.

# Aufgabe 15

- Skizzieren Sie das Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung!

# Lösung A15

- Skizzieren Sie das Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung!



## Aufgabe 16

- Vergleichen Sie den Wirkungsgrad der getrennten Erzeugung von Strom und Wärme mit dem der gekoppelten Erzeugung.

# Lösung A16

## ■ Rheinhafen-Dampfkraftwerk (RDK) Block 8

Elektrische Bruttoleistung	912 [MW]
Wärmeleistung	1999 [MW]
<b>Wirkungsgrad</b>	<b>46%</b>
Fernwärmeauskopplung	220 [MW]
<b>Nutzungsgrad</b>	<b>58%</b>
Steinkohlebedarf	313 [t/h] unter Volllast
	~ 1.000 Schiffsanlieferung pro Jahr
Kühlwasserbedarf	~25 [m <sup>3</sup> /s] = 90.000 [m <sup>3</sup> /h]
Kosten [EUR]	~1,3 Mrd. [EUR]

# Lösung A16

## ■ Grosskraftwerk Mannheim (GKM) Block 9

Elektrische Bruttoleistung	911 [MW]
Wärmeleistung	? [MW]
<b>Wirkungsgrad</b>	<b>46,6%</b>
Fernwärmeauskopplung	? [MW]
<b>Nutzungsgrad</b>	<b>70%</b>
Kosten [EUR]	~1,2 Mrd. [EUR]



# Grosskraftwerk Mannheim

Kühlwasser des Großkraftwerks wird wieder gekühlt

## Der Nasszellenkühler dampft

Dampfwolken hüllen das Großkraftwerk in Mannheim in diesen Tagen ein. Das hat seinen Grund, teilt die Pressestelle des GKM auf SWR-Anfrage mit.



Der Nasszellenkühler dampft

**Quelle:** [SWR-01]

Der sogenannte Nasszellenkühler sorgt dafür, dass Kühlwasser aus dem Großkraftwerk wieder gekühlt wird, bevor es in den Rhein zurück läuft. Der Rhein hat zurzeit eine Temperatur von bis zu 24 Grad, deshalb soll das aufgeheizte Kühlwasser aus dem Kraftwerk nicht zu warm sein. Der Nasszellenkühler sorgt dafür. Auf großen Treppen verdampft dadurch vor allem an Tagen mit großer Luftfeuchte weithin sichtbar Wasser. Die Dampfschwaden sind vielen Menschen in der Region aufgefallen. Das GKM informiert dazu in Einzelnen wie folgt:

# Lösung A16

## ■ Heizkraftwerk Berlin-Mitte

Elektrische Bruttoleistung	440 [MW]
Wärmeleistung	? [MW]
<b>Wirkungsgrad</b>	<b>? %</b>
Fernwärmeauskopplung	638 [MW]
<b>Nutzungsgrad</b>	<b>≤ 90 %</b>



## Aufgabe 17

- Für ein Einfamilienhaus sollen verschiedene Beheizungsvarianten hinsichtlich des Endenergeträgereinsatzes (Erdgas, leichtes Heizöl bzw. Elektroenergie über Elektro-Direktheizung) miteinander verglichen werden. Folgende Daten sind bekannt:
  - Durchschnittliche Heizleistung jeweils 12 kW
  - thermische Wirkungsgrade:  $\eta_{EG}=90\%$ ,  $\eta_{ÖI-L}=85\%$ ,  $\eta_{EE}=99\%$
  - Jahresbenutzungsstunden betragen 1.920 h/a
  - Dichte von leichtem Heizöl beträgt 0,86 kg/l
  - Erdgasbrennwert: 8,817 kWh/m<sup>3</sup>Erdgas
  - Heizölbrennwert:  $11,862 \cdot 10^3$  kWh/t<sub>ÖI-L</sub>
  - Energieträgerpreise:  $p_{EG}=0,25$  €/m<sup>3</sup>,  $p_{ÖI-L}=0,50$  €/l,  $p_{EE}=11,00$  cent/kWh
- Ermitteln Sie die jährlichen Energieträgerkosten jeder Variante! Welche Variante ist im Hinblick auf den Endenergiebedarf die kostengünstigste?

# Lösung A17

Gegeben:

$$P_{el} = 12 \text{ kW} \quad H_o^{EG} = 8,817 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}$$

$$\eta_{EG} = 0,90 \quad H_o^{HL} = 11,862 \cdot 10^3 \frac{\text{kWh}}{\text{t}}$$

$$\eta_{HL} = 0,85 \quad p_{EG} = 0,25 \frac{\text{€}}{\text{m}^3}$$

$$\eta_{EE} = 0,99 \quad p_{HL} = 0,50 \frac{\text{€}}{\text{l}}$$

$$t = 1920 \frac{\text{h}}{\text{a}} \quad p_{EE} = 0,11 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

$$\rho_{HL} = 0,86 \frac{\text{kg}}{\text{l}}$$

Gesucht:

$$K_{ges} = ??? \left[ \frac{\text{€}}{\text{a}} \right]$$

# Lösung A17

Strom:

$$K_{Strom} = 12kW \cdot 0,11 \frac{\text{€}}{kWh} \cdot 1920 \frac{h}{a} \cdot \frac{1}{0,99} = 2560,00 \left[ \frac{\text{€}}{a} \right]$$

Erdgas:

$$K_{EG} = 12kW \cdot 1920 \frac{h}{a} \cdot \frac{1}{8,817} \frac{m^3}{kWh} \cdot 0,25 \frac{\text{€}}{m^3} \cdot \frac{1}{0,90} = 725,87 \left[ \frac{\text{€}}{a} \right]$$

Öl:

$$K_{HL} = 12kW \cdot 1920 \frac{h}{a} \cdot \frac{1}{11,862 \cdot 10^3} \frac{t}{kWh} \cdot \frac{1}{0,86} \frac{l}{kg} \cdot 10^3 \frac{kg}{t} \cdot 0,50 \frac{\text{€}}{l} \cdot \frac{1}{0,85}$$

$$= 1328,548 \left[ \frac{\text{€}}{a} \right]$$

*⇒ Erdgas ist die kostengünstigste Variante!*

# Heizen mit Strom?

Stromversorgung vor Kollaps

## Frankreich droht der Blackout

Stand: 13.01.2017 20:06 Uhr



**Frankreich droht eine Kältewelle - und ein Stromkollaps. Schuld sind mangelhafte Atomkraftwerke. Die Energieministerin berief eine Krisensitzung ein. Im Notfall müssen ganze Regionen stundenweise im Dunkeln sitzen.**

*Von Jürgen Döschner, WDR*

Wenn das kein schlechtes Omen war: Heute, am Freitag den 13., trafen sich Vertreter von 13 Energieunternehmen in Paris zu einem geheimen Krisentreffen. Energieministerin Segolène Royal hatte sie einbestellt. Es ging um nichts Geringeres, als den Zusammenbruch der Stromversorgung zu verhindern.

Wie ernst das Problem nicht nur für Frankreich selbst ist, beschreibt Andreas Preuß, Sprecher des deutschen Übertragungsnetzbetreibers Amprion. Man beobachte die Lage in Frankreich sehr genau. "Wir sind mit den anderen Übertragungsnetzbetreibern in Kontakt, um geeignete Maßnahmen zu ergreifen", sagte er. Wie die Lage in der kommenden Woche genau sein werde, wisse er nicht. Aber im gesamten Europa sei die Situation im Netz angespannt.

### **Bereits seit Wochen importiert Frankreich Strom**

Das Problem: Seit Dezember sind in Frankreich rund zehn große Atomkraftwerke vom Netz gegangen. So viele gleichzeitig wie seit zehn Jahren nicht. Die meisten liegen still, weil fehlerhafter Stahl verbaut wurde und nun neue Sicherheitsprüfungen nötig sind. Bereits seit Wochen importiert Frankreich

**Quelle:** [TAG-01]

# Quellen

- [SWR-01] Südwestrundfunk (SWR): Kühlwasser des Großkraftwerks wird wieder gekühlt. Der Nasszellenkühler dampft. Stuttgart. Online verfügbar unter <https://www.swr.de/swraktuell/bw/mannheim/kuehlwasser-des-grosskraftwerks-wird-wieder-gekuehlt-der-nasszellenkuehler-dampft/-/id=1582/did=18087326/nid=1582/1cyl5l5/index.html>, zuletzt geprüft am 04.07.2017.
- [TAG-01] Döschner, J. (2017): Stromversorgung vor Kollaps. Frankreich droht der Blackout. tagesschau.de - Norddeutscher Rundfunk. Online verfügbar unter <https://www.tagesschau.de/ausland/energieversorgung-frankreich-101.html>, zuletzt aktualisiert am 13.01.2017, zuletzt geprüft am 05.07.2017.
- [BAFA-01] BAFA. Grenzübergangspreise für Erdgas\* in Deutschland in den Jahren 2000 bis 2016 (in Euro pro Terajoule). <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/162224/umfrage/entwicklung-der-bafa-grenzuebergangspreise-fuer-erdgas-in-deutschland-seit-2004/> (zugegriffen am 5. Juli 2017).
- [BMW-01] BMWi. Erdgaspreise\* für Haushalte in ausgewählten europäischen Ländern im Jahr 2016 (in Euro-Cent pro Kilowattstunde). <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/197191/umfrage/erdgaspreise-ausgewaehlter-laender/> (zugegriffen am 5. Juli 2017).
- [MWV-01] MWV. Durchschnittlicher Preis für einen Liter leichtes Heizöl\* in Deutschland von Juli 2010 bis Mai 2017 (Cent pro Liter). <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/434536/umfrage/monatlicher-heizoelpreis-in-deutschland/> (zugegriffen am 5. Juli 2017).
- [BDEW-01] BDEW. Struktur der Heizungsanlagen in Wohnungen in Deutschland nach Heizsystem im Jahr 2016. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/376121/umfrage/verteilung-der-heizungsanlagen-in-wohnungen-in-deutschland-nach-heizsystem/> (zugegriffen am 5. Juli 2017).