

# Regelung und Hydraulik

Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff  
Stefan Mewes M.Eng.

EOS - Institut für energieoptimierte Systeme

Ostfalia - Wolfenbüttel

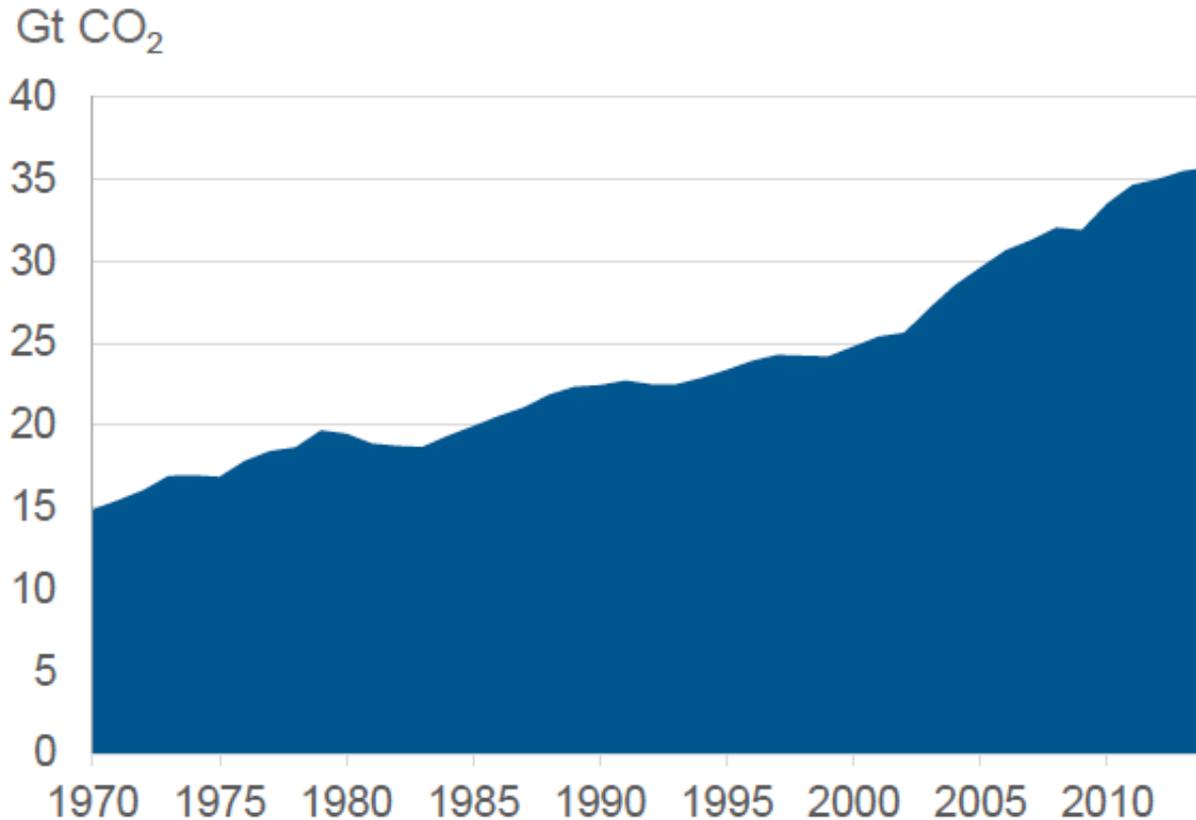
## Gliederung

- Motivation:           Energiekonzepte mit Erfolgsnachweis –  
                              Hydraulischer Abgleich/Optimierung
- Grundlagen der Regelung und Hydraulik
- Beobachtungen aus der Praxis
  - Problembekämpfung im Bestand – Schwerpunkt 2. Tag –  
Nachmittag: Optimierung der Biowärmeeinspeisung Nahwärme
  - Hydraulischer Abgleich
  - Verteilsysteme in gut gedämmten Gebäuden
  - Brennwertkesselanlagen
  - Lüftungsanlagen
- Regelung heiztechnischer Anlagen (Mehrkesselanlagen, BHKW,  
Solaranlagen, Wärmepumpen, Pufferspeicher)
- Hydraulik heiztechnischer Anlagen - Hydraulische Grundsaltungen
- Anlagenoptimierung im Überblick (Projekt OPTIMUS)

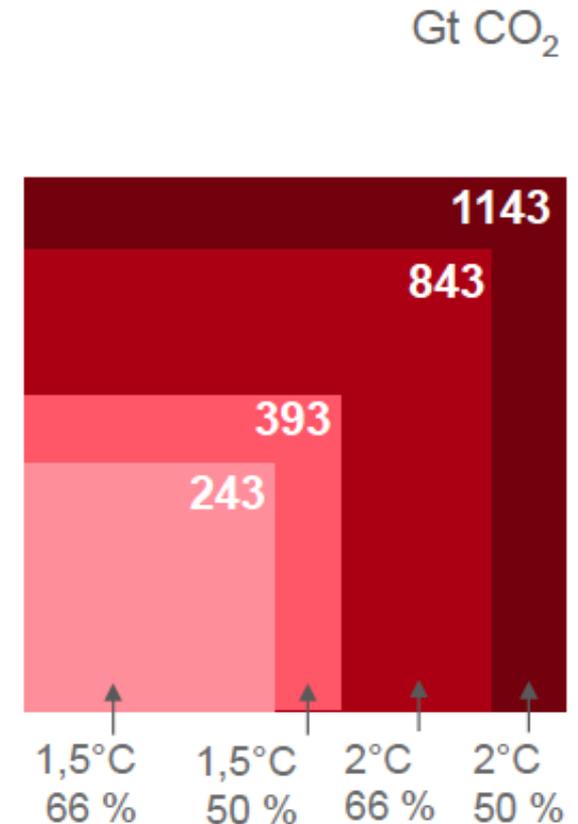
**INTERNET: [www.delta-q.de](http://www.delta-q.de)**

# Entwicklung weltweit (Anteil D: ca. 2%) – 14 000 Giga Tonnen CO<sub>2</sub> als Äquivalent fossiler Energieträger (ca. 90%) müssen in der Erde bleiben

Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen seit 1970



Restmenge zur Einhaltung der Klimaschutzziele



Wünsch, M.: Zukunft der KWK und Fernwärme – Kassel 06/2016

## Thesen „Trends in der Haustechnik“ seit 2010

Wirtschaftlich und zur Ressourcenschonung sinnvoll ist heute im Neubau und bei der energetischen Modernisierung:

Sehr guter Wärmeschutz  $H_T$ : 0,25 – 0,3 W/(m<sup>2</sup>K) und eine einfache und effiziente, aber qualitätsgesicherte Anlagentechnik

Dazu gehören: sinnvolle nicht zu hohe Fensterflächenanteile, optimierter Kompaktheitsgrad und eine vernünftige Ausrichtung

Regenerativ ist derzeit nur PV am Gebäude und effiziente Wärmepumpentechnik im Wettbewerb mit Gas-/Ölbrennwerttechnik in kleineren Gebäuden sinnvoll. In größeren Wohn- und Nichtwohngebäuden gewinnen für ca. 10 Jahre Klein-BHKWs an Bedeutung. Nah-/Fernwärme wird seinen Anteil behalten!

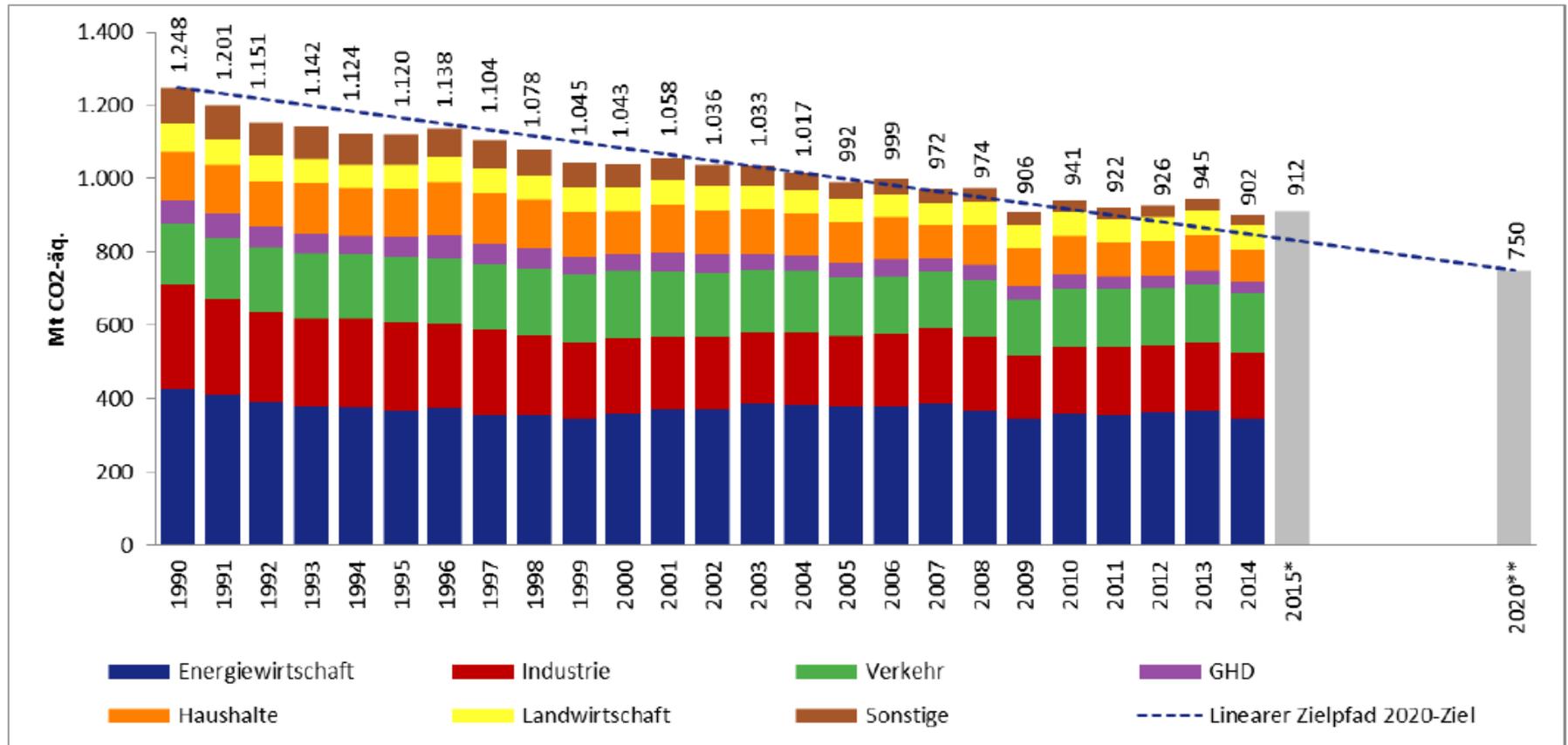
Holz und Biomasse werden wegen begrenzter Verfügbarkeit an Bedeutung verlieren (BMU – Erfahrungsbericht - EEWärmeG)

## Fazit „Trends in der Haustechnik“ seit 2010

- Fazit: das wirtschaftlichste Anlagensystem gibt es nicht, sondern jeweils eine **Individuallösung!** Beratung erforderlich!
- generell: **bauliche und anlagentechnische Maßnahmen sollten nicht gegenseitig aufgerechnet werden** sondern sich im Sinne des Klimaschutzes geeignet ergänzen!
- hinsichtlich **EnEV und EEWärme sollte eine Vereinheitlichung unter einem Dach** angestrebt werden!
- Die derzeitige Bewertung von Biomasse sollte revidiert werden: Einführung eines „**Biomassebudgets**“: 30 – 35 kWh/(m<sup>2</sup> a)
- **Zukünftig: Baubegleitung mit Qualitätssicherung und mindestens einjährige monatliche Verbrauchsmessung als Erfolgsnachweis**

# 23.03.2016: Seit 2009 kein Rückgang der CO<sub>2</sub>-Emissionen Ursache u.a. PE-Bewertung Fernwärme aus Kohle-HKWen

Abbildung 1: Zeitlicher Verlauf der THG-Emissionen in Deutschland 1990-2014 und Schätzung für 2015 (Mt CO<sub>2</sub>-äq)



Quelle: Eigene Darstellung auf Datenbasis von Umweltbundesamt (2015), Bundesregierung (2010) und eigener Schätzung

**Prognose: Wärmepumpen ersetzen Brennwertkessel im Einfamilienhausneubau  
Mehrfamilienhaus: Erdgas (zukünftig PtG) - Fernwärme (KWK) etwa konstant**

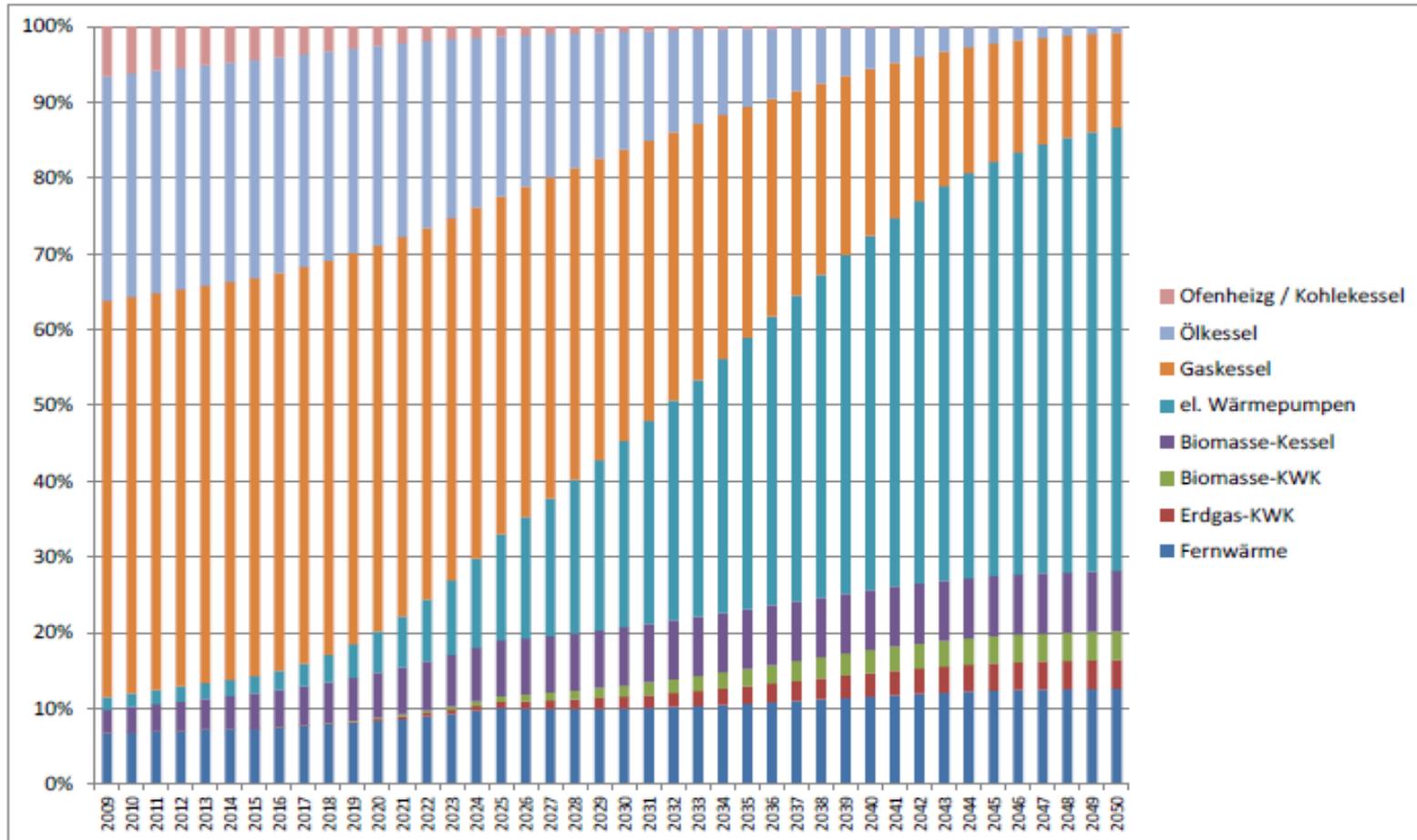
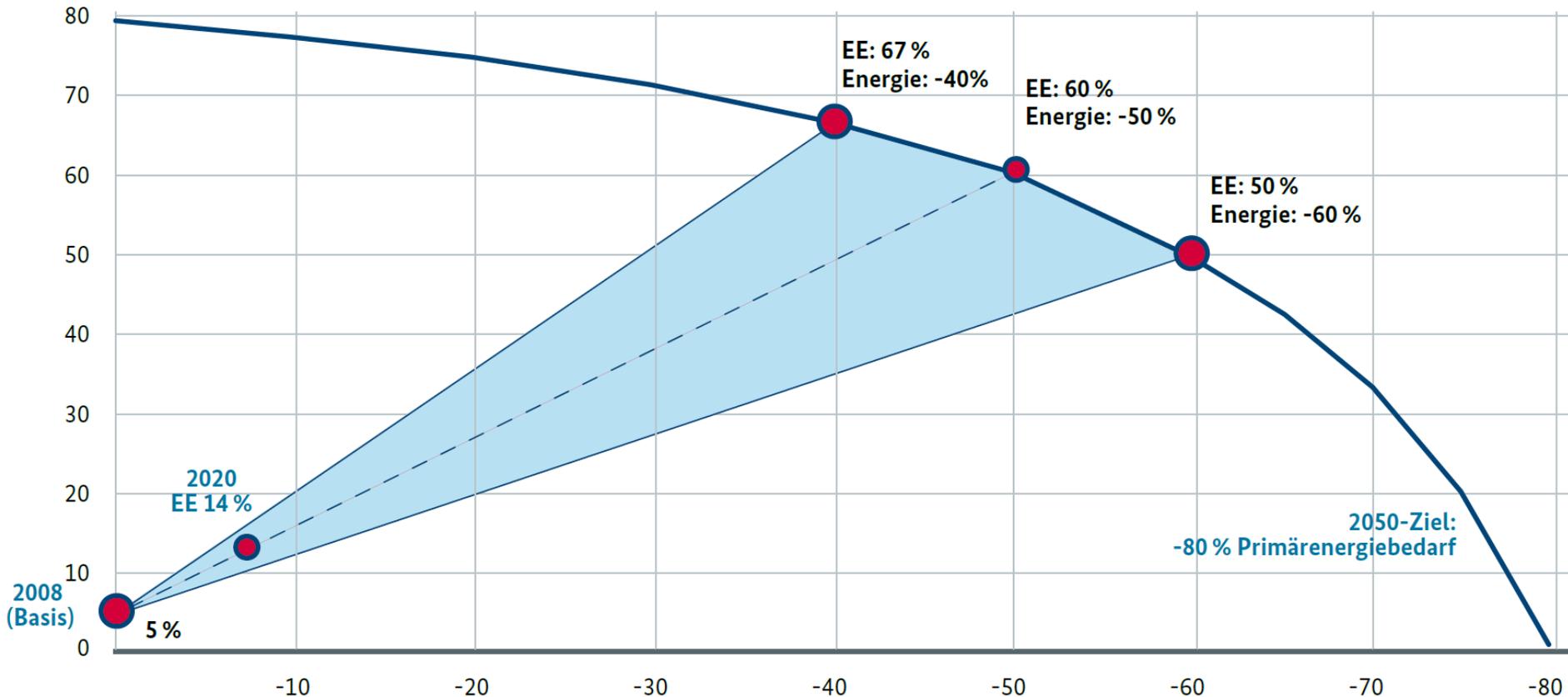


Abbildung 10: Entwicklung der Wärmeversorgungsstruktur (Haupt-Wärmeerzeuger) im Gebäudebestand 2009: Detaillierte Darstellung für das Szenario „Basis“

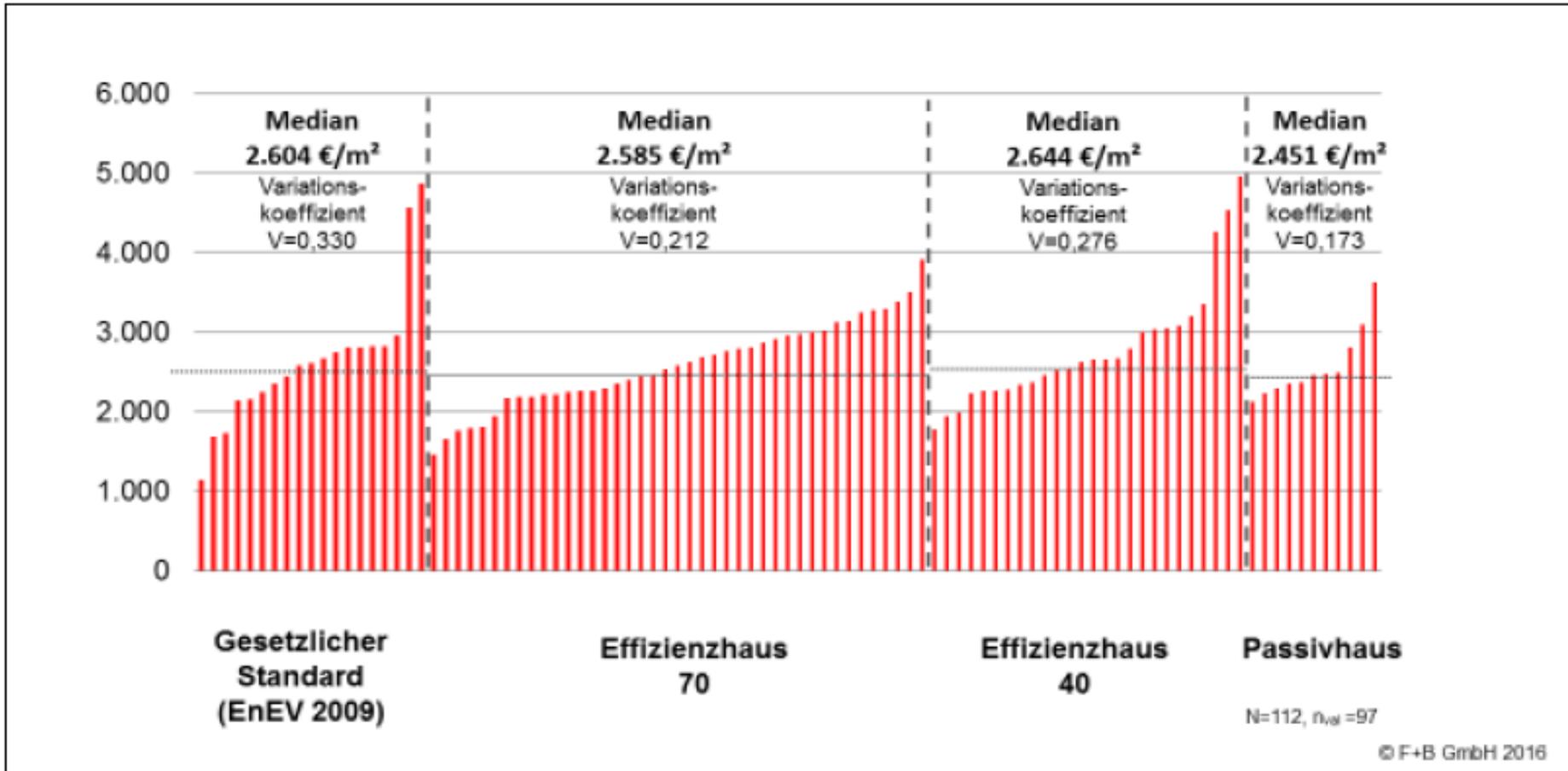
# (möglicher) Zielkorridor aus Energieeinsparung und Erhöhung des EE-Anteils von 2008 bis 2050 in Prozent



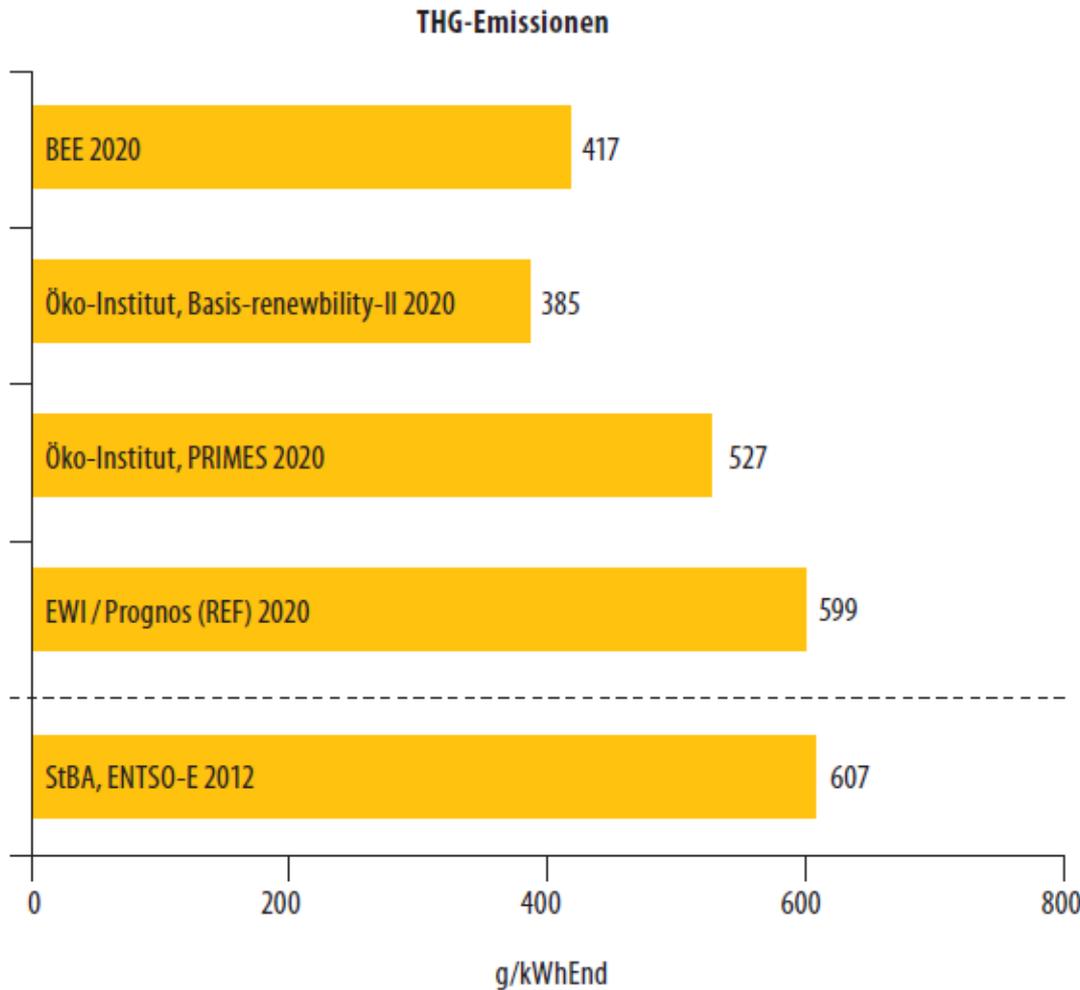
Quelle: BMWI; Sanierungsbedarf im Gebäudebestand – Ein Beitrag zur Energieeffizienzstrategie Gebäude; 12.2014

**Dämmung vs. EE ??? Besser: - 80% CO<sub>2</sub>-Emissionen**

# Studie IFB 2016: Effizienzstandards ohne Einfluss auf die Investitionskosten – HH 2009 bessere Standards als EnEV



Quelle: Datengrundlagen IFB Hamburg 2016, eigene Auswertungen



3 Studienergebnisse zum möglichen Treibhausgas-Emissionsfaktor  
im Jahr 2020 [13]

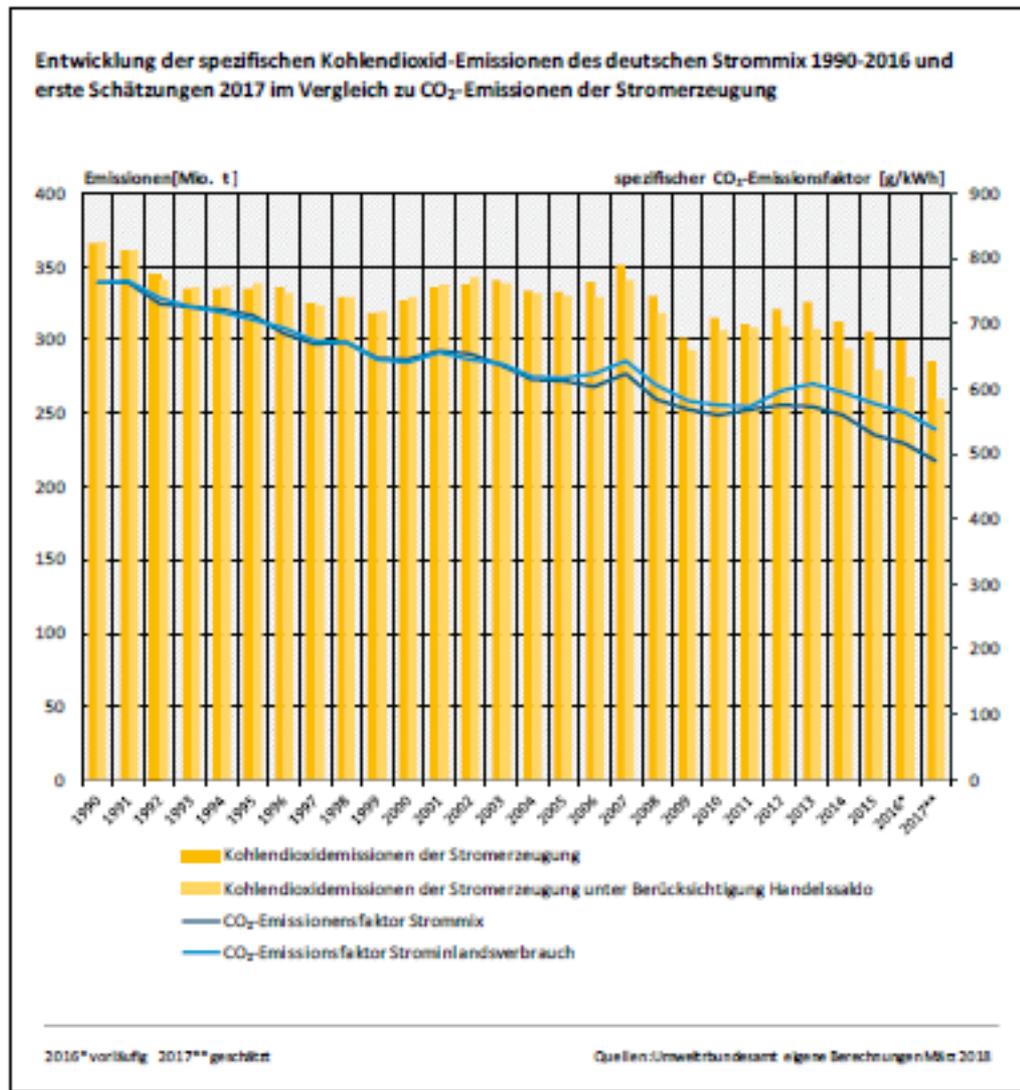
**Der Strom wird  
immer besser!  
GUD – Strom 2020:  
400g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>el</sub>  
Steinkohle:  
900g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>el</sub>  
Braunkohle:  
1200g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>el</sub>**

**Aktuell: Nur 5% der  
Deutschen wollen  
zukünftig Kohle-  
energie beziehen!  
(Allensbach 09/2015)  
„Tschüss Kohle“**

**2050: PV, Wind,...**

Climate Change: Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix

Jahr	Kohlendioxid-emissionen der Stromerzeugung [Mio. t]	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor Strommix [g/kWh]	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor Strominlandsverbrauch [g/kWh]	Kohlendioxid-emissionen der Stromerzeugung unter Berücksichtigung Handelsaldo [Mio. t]
1990	366	764	763	367
1991	361	764	765	361
1992	345	730	738	341
1993	335	726	725	335
1994	335	722	718	337
1995	335	713	706	338
1996	336	685	692	332
1997	325	669	673	323
1998	329	671	672	329
1999	318	647	646	319
2000	327	644	640	329
2001	336	659	656	337
2002	338	654	646	342
2003	340	635	639	338
2004	334	615	618	332
2005	333	611	616	330
2006	340	604	623	329
2007	351	623	642	341
2008	330	584	605	318
2009	300	569	582	293
2010	315	559	574	307
2011	311	569	573	308
2012	322	574	596	310
2013	326	573	607	308
2014	313	559	595	294
2015	305	528	577	280
2016*	300	516	565	274
2017**	285	489	537	260



## Aktueller Emissionskennwert Strommix D: 489 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>el</sub>

© GdW 2018

## Position

Kann eine Bepreisung von CO<sub>2</sub> die  
Energiewende steuern?

Wohnungswirtschaftliche Anforderungen  
an eine CO<sub>2</sub>-Bepreisung

Der Gebäudesektor hat bisher von allen Sektoren am meisten Treibhausgas-Minderung erbracht – minus 43 % von 1990 bis 2014, obwohl die Wohnfläche in derselben Zeit um 36 % gestiegen ist. Gleichzeitig soll der Gebäudesektor entsprechend Klimaschutzplan 2050 bis zum Jahr 2030 mit minus 67 % die größte Einsparung aller Sektoren erbringen.

Dies ist geplant, obwohl die Vermeidungskosten im Gebäudesektor besonders hoch sind – es müssen für komplexe Maßnahmen zwischen 10.000 und 20.000 EUR investiert werden, um dauerhaft, d. h. während der Lebensdauer der Maßnahme, eine Tonne CO<sub>2</sub> pro Jahr einzusparen.

**Wichtige Kennzahlen: Welche Investitionen sind erforderlich, um jährlich eine Tonne CO<sub>2</sub> über 30 Jahre einzusparen. Daraus ergeben sich die Vermeidungskosten in €/t CO<sub>2</sub>**

Eine kritische Würdigung einer CO<sub>2</sub>-Bepreisung erfolgte im Dezember 2017 durch Prof. Andreas Troge. Danach würde ein einheitliches Preissignal für alle zwar einen klaren Anreiz darstellen, Treibhausgasemissionen zu verringern. Aber er kenne bislang keine Umweltabgabe, die dieses Ziel erreichte. Zum einen, weil der Zusammenhang zwischen der Höhe des Steuersatzes und dem damit erreichbaren geringeren Emissionen unklar sei. Im Ergebnis einer Preismanipulation sei die Menge an Emissionsminderungen eine reine Erwartungsgröße. Besser wären absolute Mengenbeschränkungen für Treibhausgasemissionen durch Zertifikate.

**These: Noch besser wären Mengenbeschränkungen für den Input – also Begrenzung durch Kohlenstoffzertifikate für in den Markt eingeführte Mengen an Kohle, Erdöl und Erdgas, entsprechend den gesetzten Klimazielen!**  
**Vorschlag Dr. Gerd Eisenbeiß in 2007**

Bereits 2007 vorgeschlagen: Kohlenstofflizenzen anstelle  
CO<sub>2</sub>-Steuer! Frankfurter Rundschau 18. August 2007

# Keine Flickschusterei mehr

Klimaschutz ließe sich konsequenter und billiger betreiben,  
wenn nicht mehr der CO<sub>2</sub>-Ausstoß zertifiziert, sondern  
schon der Verbrauch von Kohlenstoff lizenziert würde.

Vorschlag von Dr. Gerd Eisenbeiß in 2007/2008 bis heute!

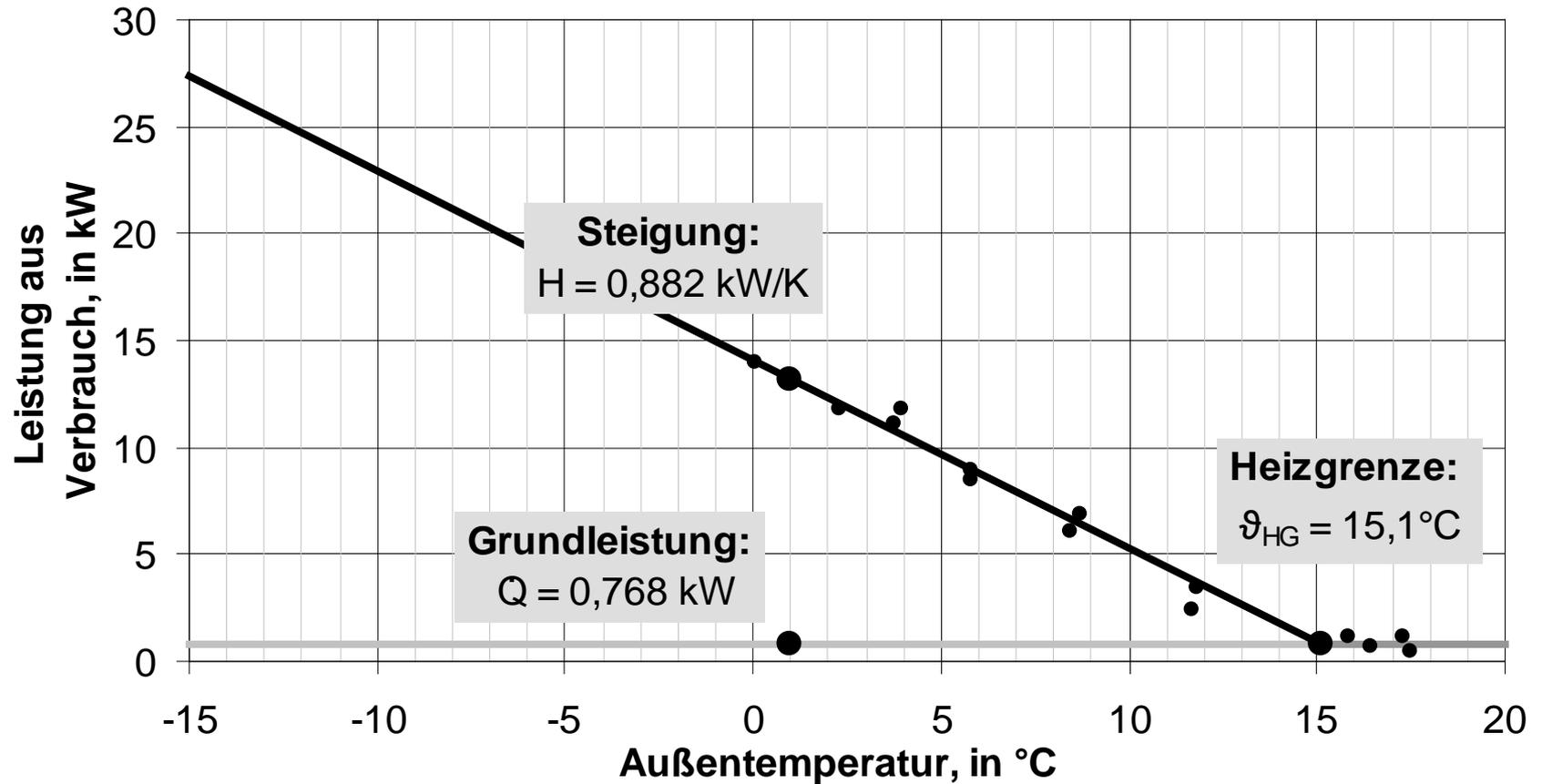
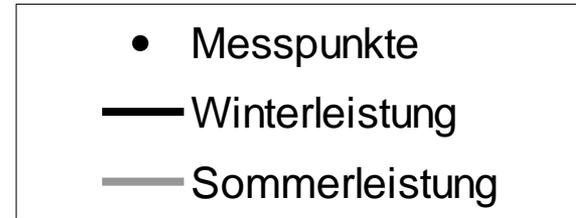
<http://www.politikessays.de/>

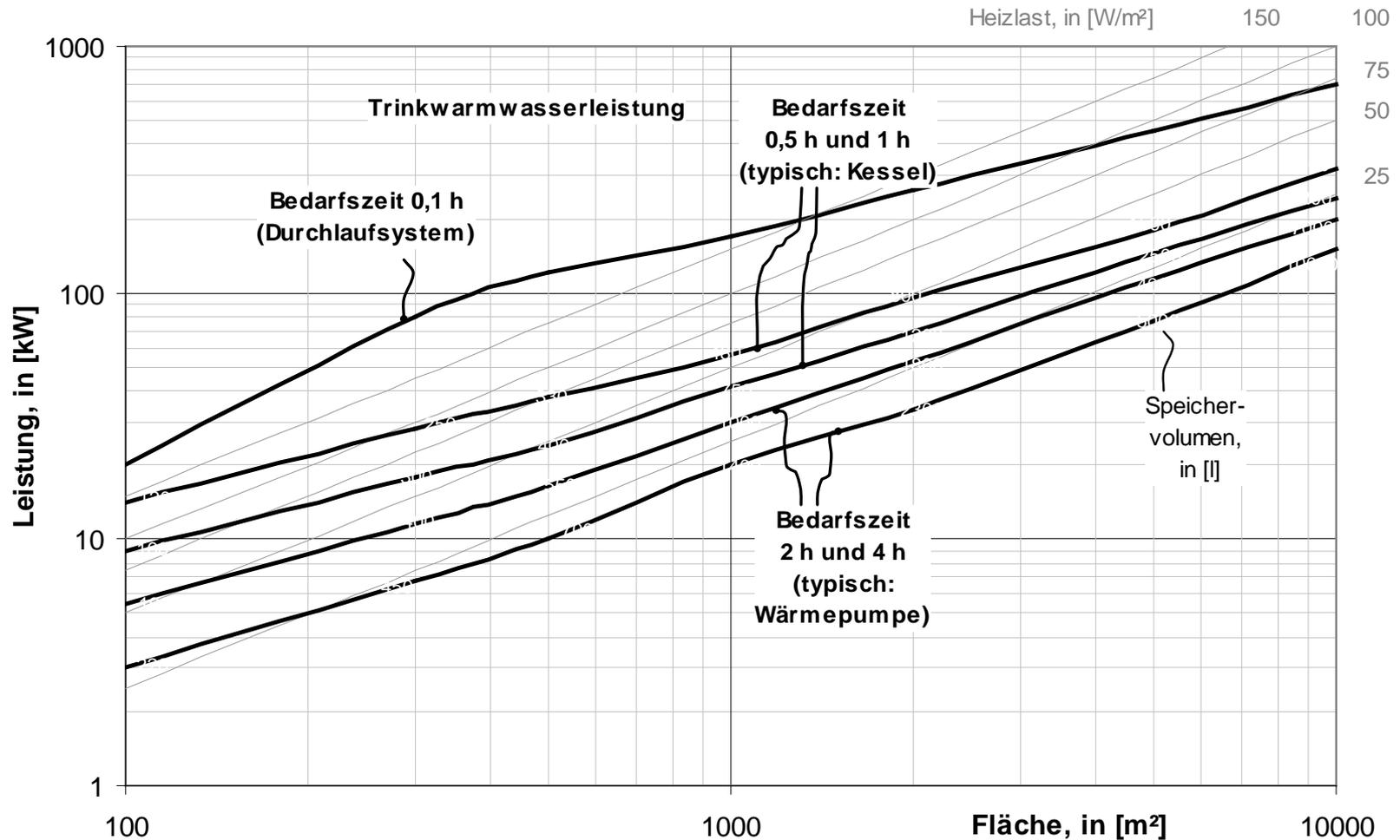
## EnEV/EEWärmeG erlauben keine sinnvollen Lösungen mehr



**Bekannte und neue Empfehlungen seit ca. 1987**  
**Quelle: Wolfgang Feist: Das Niedrigenergiehaus**

## Energieanalyse aus dem Verbrauch, (Basis: Wärmemengenzähler hinter Erzeuger)





**Bild 12 - Leistungsbedarf (Heizung und Trinkwarmwasserbereitung nach DIN 4708) für Wohngebäude unterschiedlichen baulichen Standards**



## 1. CO<sub>2</sub>-Minderungsziel nach Paris – entscheidend: die nächsten Jahre

Entscheidung heute zwischen:

- Gasbrennwerttechnik (0,85 – 0,94 Nutzungsgrad)
- L/W – Elektrowärmepumpe (2,6 – 3,0 Arbeitszahl)
- Nah- / Fernwärme (5 – 50 kWh/(m<sup>2</sup>a) Netzverluste)

**Bauwerkskosten (KG 300 und KG 400) seit Einführung EnEV / EEWärmeG:  
Technische Anlagen und Baukonstruktion haben die Rollen getauscht!  
Ursache: Erfüllung der Primärenergieanforderungen mit komplexer  
Hybridtechnik (Solar, KWK...)**

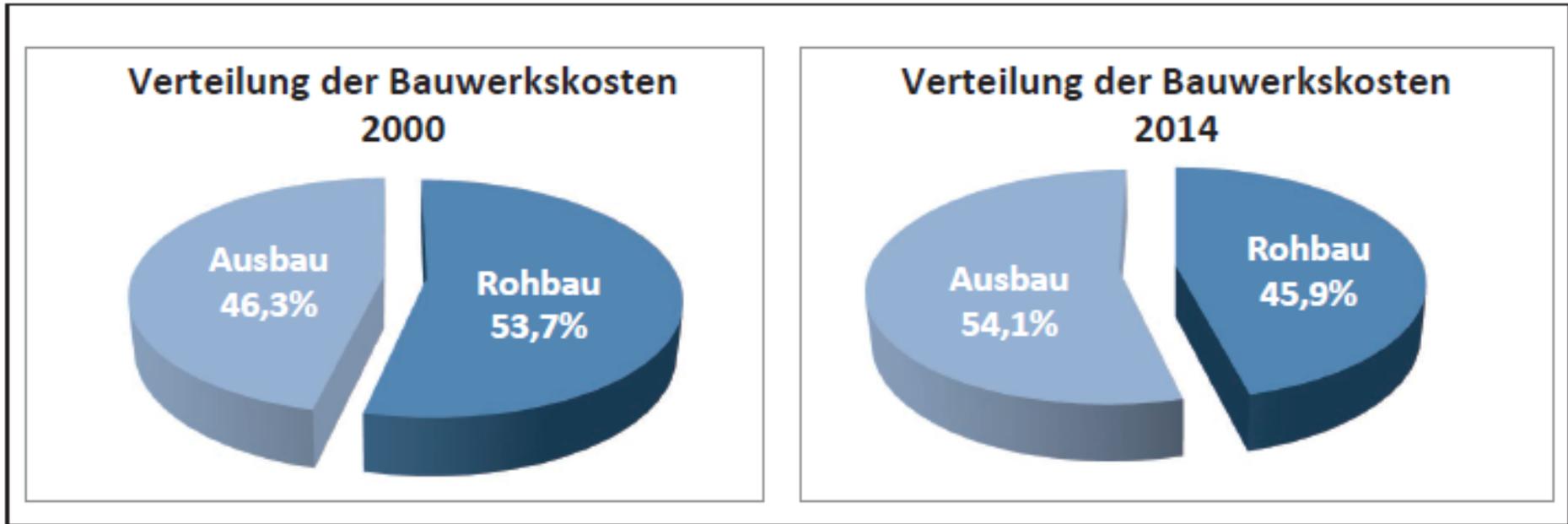


Abbildung 21: Verteilung der Bauwerkskosten in den Jahren 2000 und 2014<sup>53</sup>

Bericht der Baukostensenkungskommission – Berlin November 2015

Planungskosten sind in den letzten 15 Jahren um 60% gestiegen Hegner BMUB

## Erhöhter Anstieg der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen

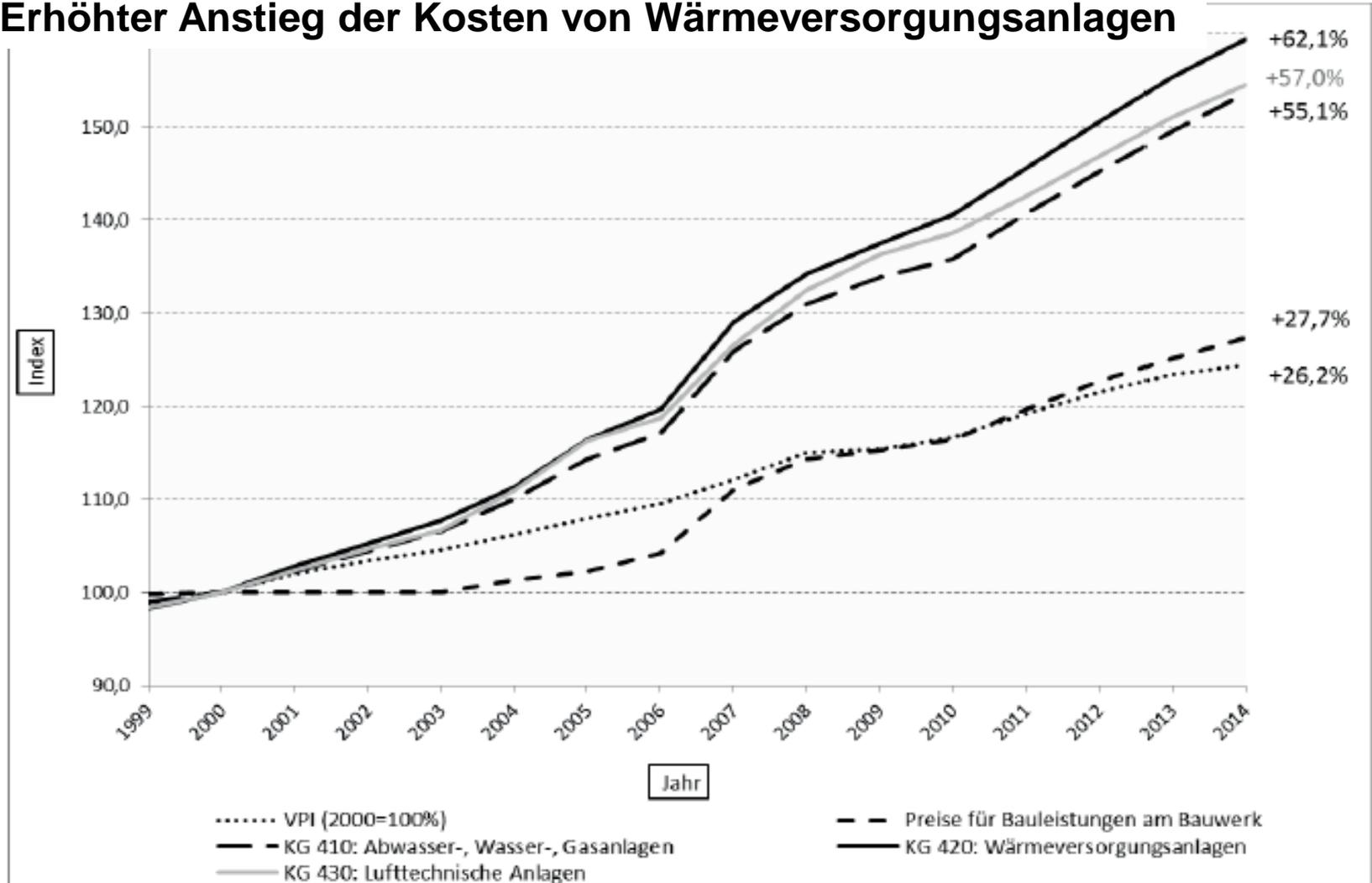
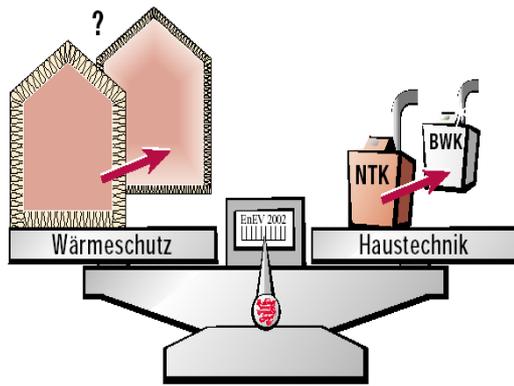


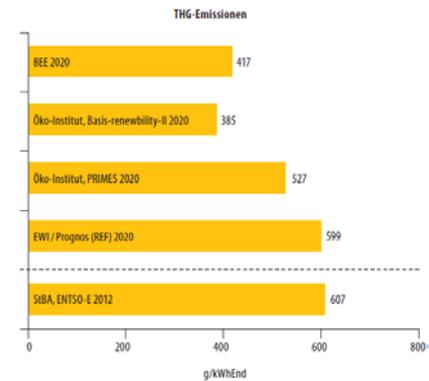
Abbildung 5: Steigerungsraten ausgewählter Preistreiber in der Kostengruppe 400 – Bauwerk – Technische Anlagen Bericht der Baukostensenkungskommission – Berlin November 2015



Primärenergiebezug und Kompensationsprinzip:

## EnEV-Arbeitsentwurf auf dem Holzweg

Die Bundesregierung will den Wärmebedarf des Gebäudebestands langfristig mit dem Ziel senken, bis 2050 einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand zu haben. Bis 2020 soll der Wärmebedarf um 20 % gesenkt werden. „Nahezu klimaneutral“ setzt das Energiekonzept der Bundesregierung mit einer „Minderung des Primärenergiebedarfs in der Größenordnung von 80 %“ gleich. Der aktuelle Arbeitsentwurf für die EnEV 2012 zeigt, dass dies und die maximale Wahlfreiheit bei den Maßnahmen falsche Anreize schafft und die übergeordneten Klimaschutzziele untergräbt.



3 Studienergebnisse zum möglichen Treibhausgas-Emissionsfaktor im Jahr 2020 [13]

### 3. Empfehlungen für eine einfache Gebäude- und Anlagentechnik

EnEV und EEWärmeG (KfW / BAFA) sind nicht teamfähig:

es gibt derzeit keine Lösungen, die gleichzeitig wirtschaftlich sind und zu wesentlichen CO<sub>2</sub>-Minderungen führen:

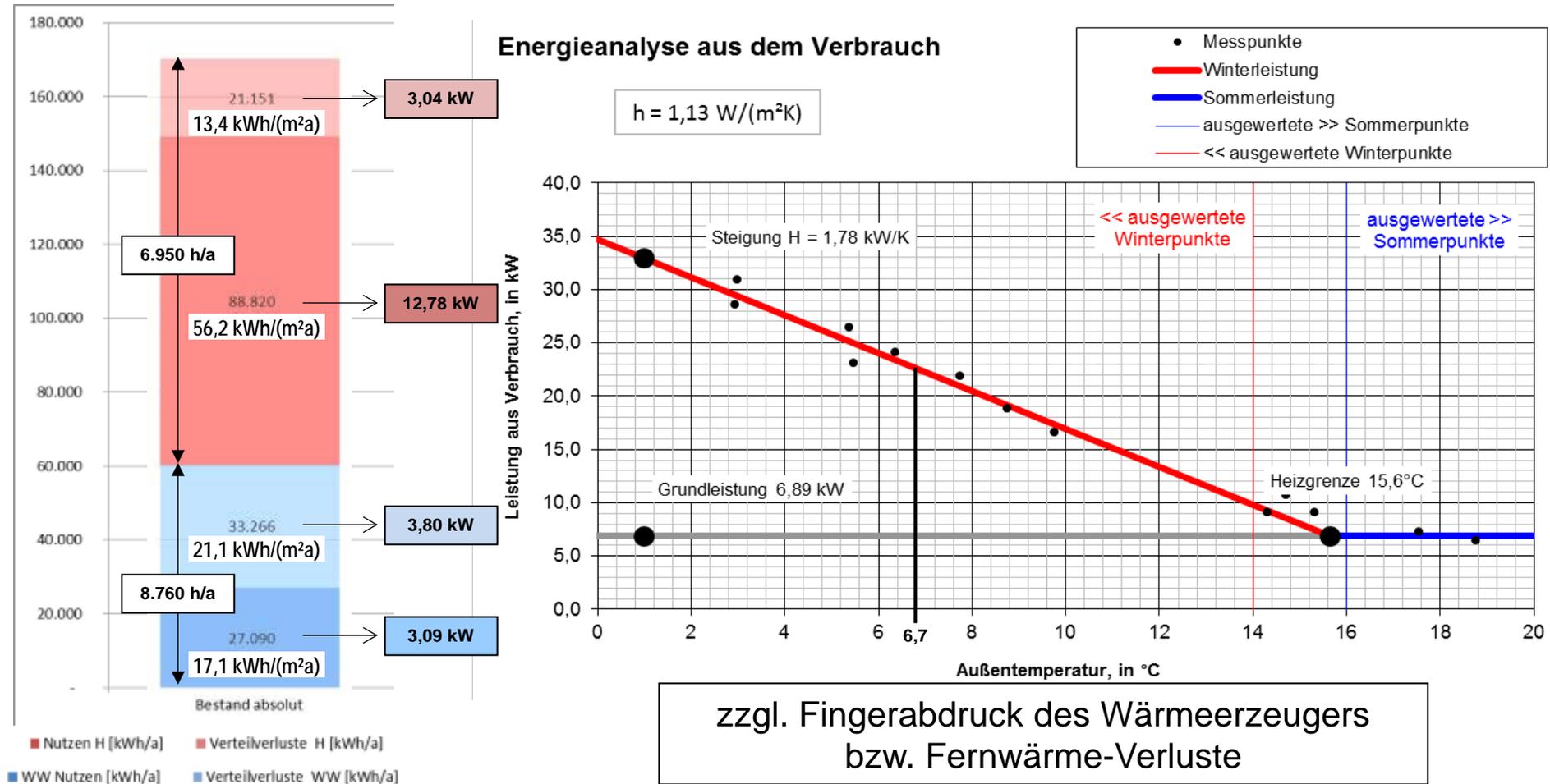
- Gasbrennwerttechnik: geht nicht allein, z.B. ohne Solar
- Elektrowärmepumpe: z. Z. nur sinnvoll bei grünem Strom
- Nah- / Fernwärme: nur sinnvoll bei hoher Anschlussdichte, geringen Netzverlusten und ohne Kohle

## Vorschläge für eine Bestandsaufnahme auf Basis einer E – A – V

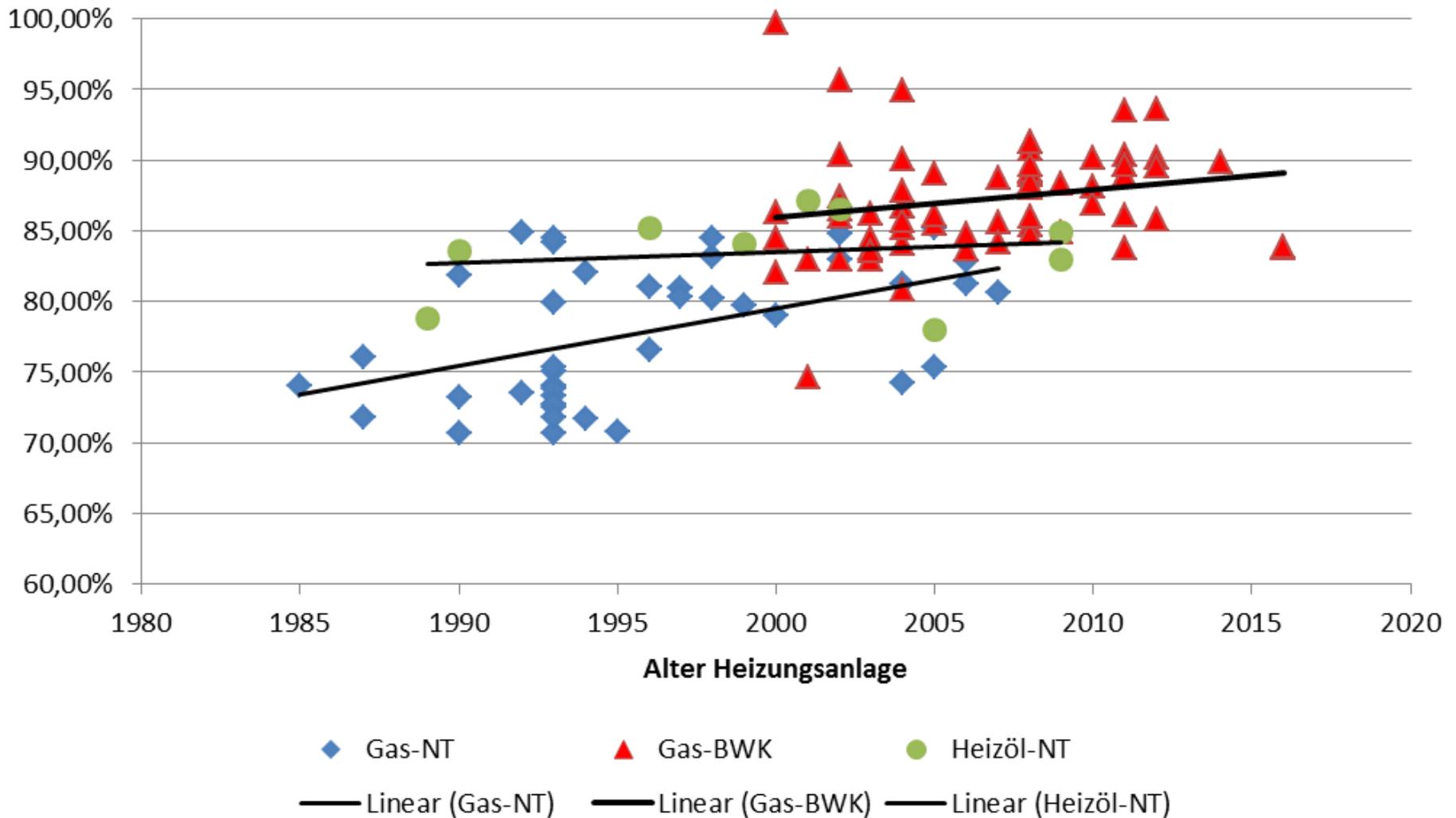
- Es ist zukünftig eine mindestens einjährige Verbrauchsmessung von unterjährigen Messdaten mit Gas- und Wärmemengenzählern vor der Umsetzung einer energetischen Modernisierung durchzuführen. Zusätzlich sind Daten zur Gebäudesubstanz und Anlagentechnik aufzunehmen.
- Mit den Verbrauchswerten ist eine EAV zu erstellen, um reale Daten zur Gebäudequalität, zur Heizlast, zu den Anlagenverlusten und zur Grundlast aus der Warmwasserbereitung zu erhalten.
- Auf dieser Grundlage können anschließend Berechnungen zur Modernisierung von Gebäudehülle und Anlagentechnik stattfinden. Erfolgt vorher allein die Sanierung der Gebäudehülle, ist eine Verbrauchsmessung spätestens nach Abschluss der Modernisierung durchzuführen.

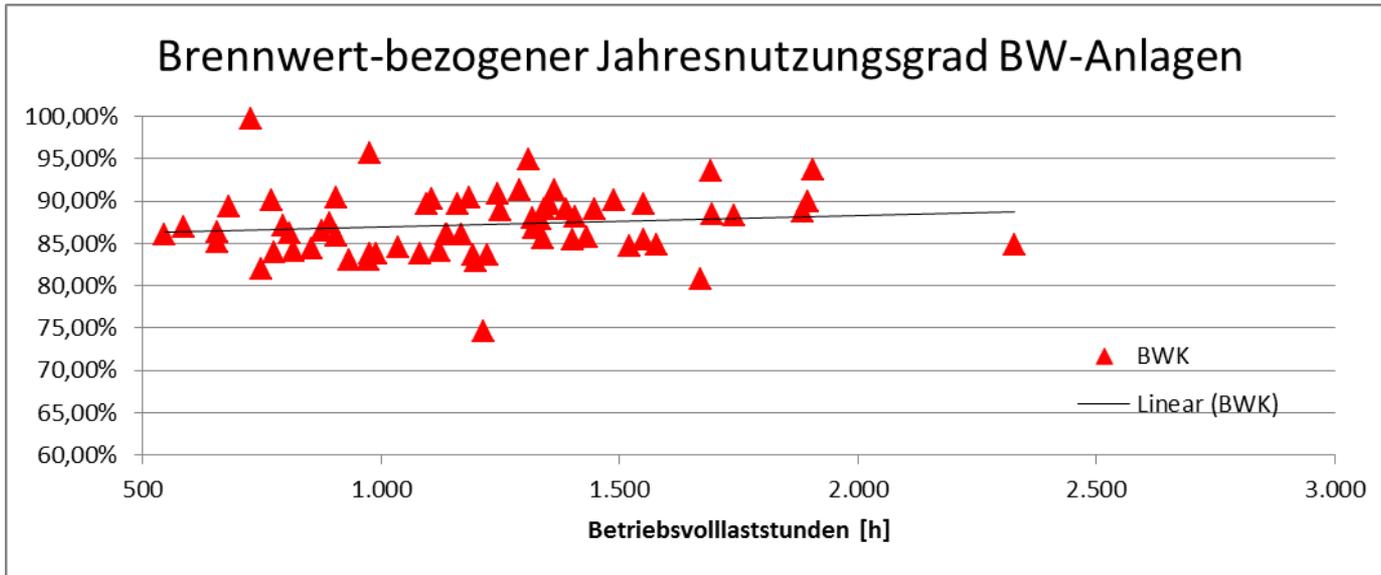
# Fehlentwicklungen in Bilanzierung

## Verbrauchsbasierte Bilanzierung (E-A-V) am besten: vorher - nachher



## Brennwert-bezogener Jahresnutzungsgrad

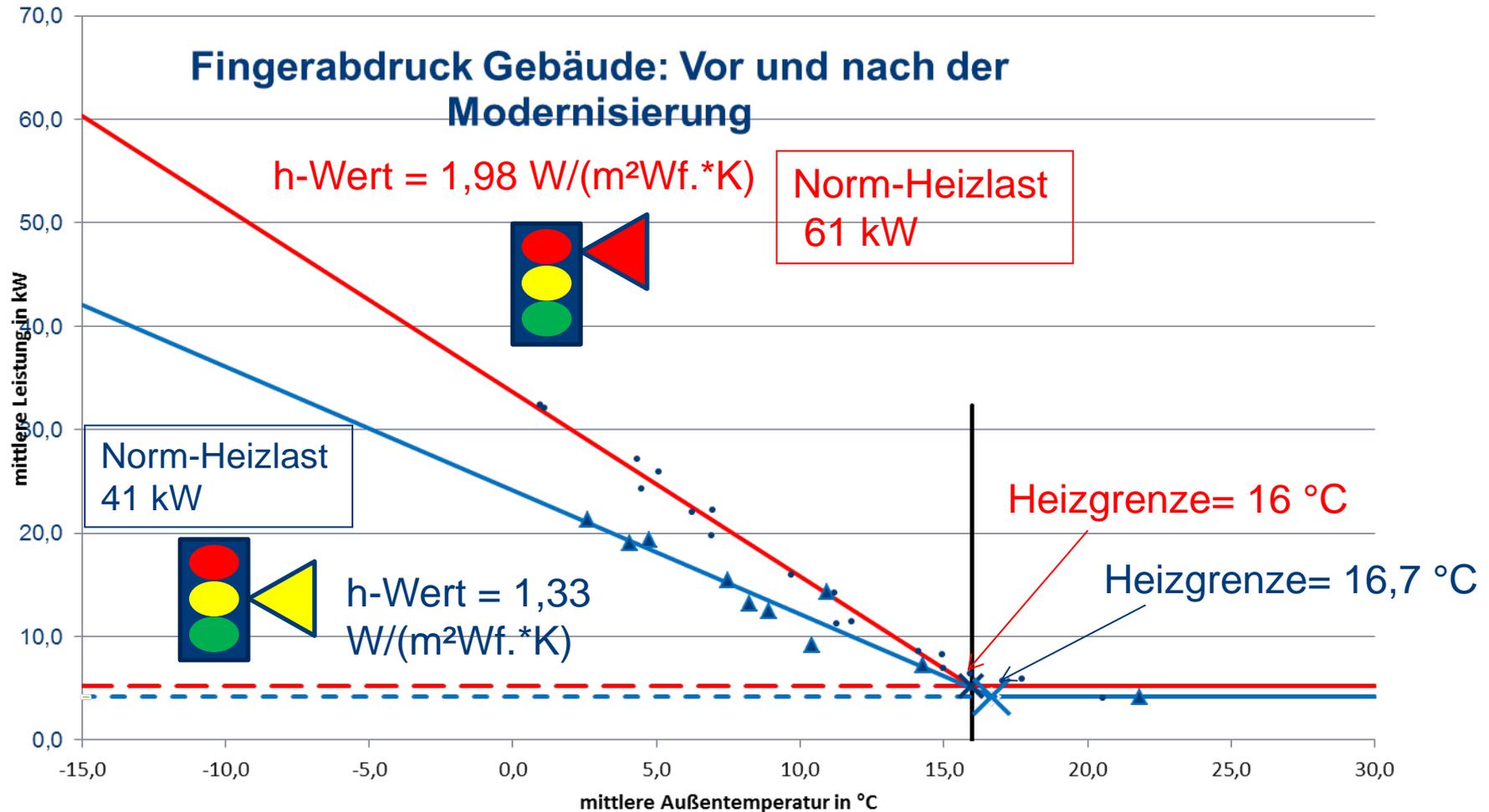




# Beispiel Außenwanddämmung



Wolfenbüttel



Sockelverbrauch nachher 41 kWh/(m<sup>2</sup>a) / vorher 50 kWh/(m<sup>2</sup>K)



## Bestandsanalyse Erzeuger 2 x Hydro- Therm ET-34 1992

Fingerabdruck Kessel



Kesselinput in kW (Endenergie)

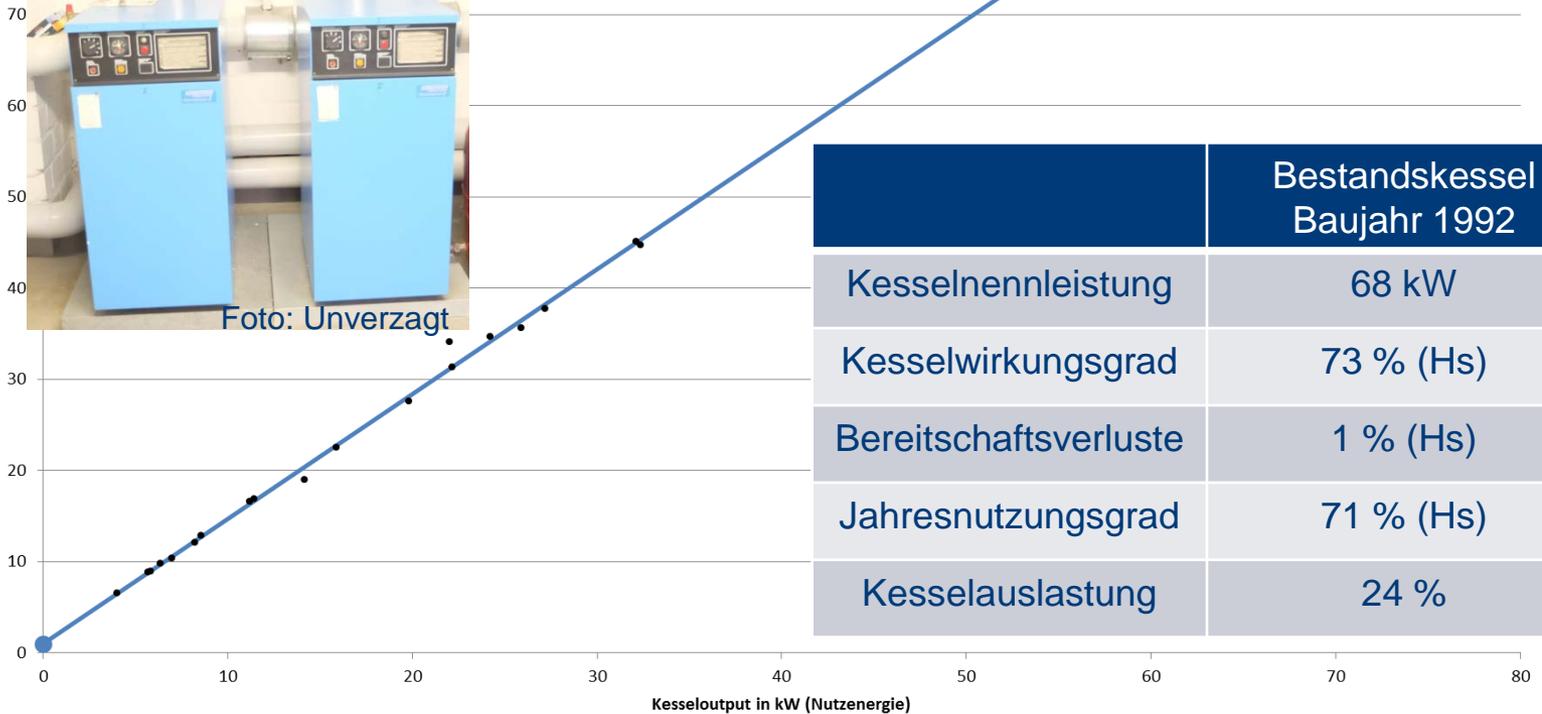
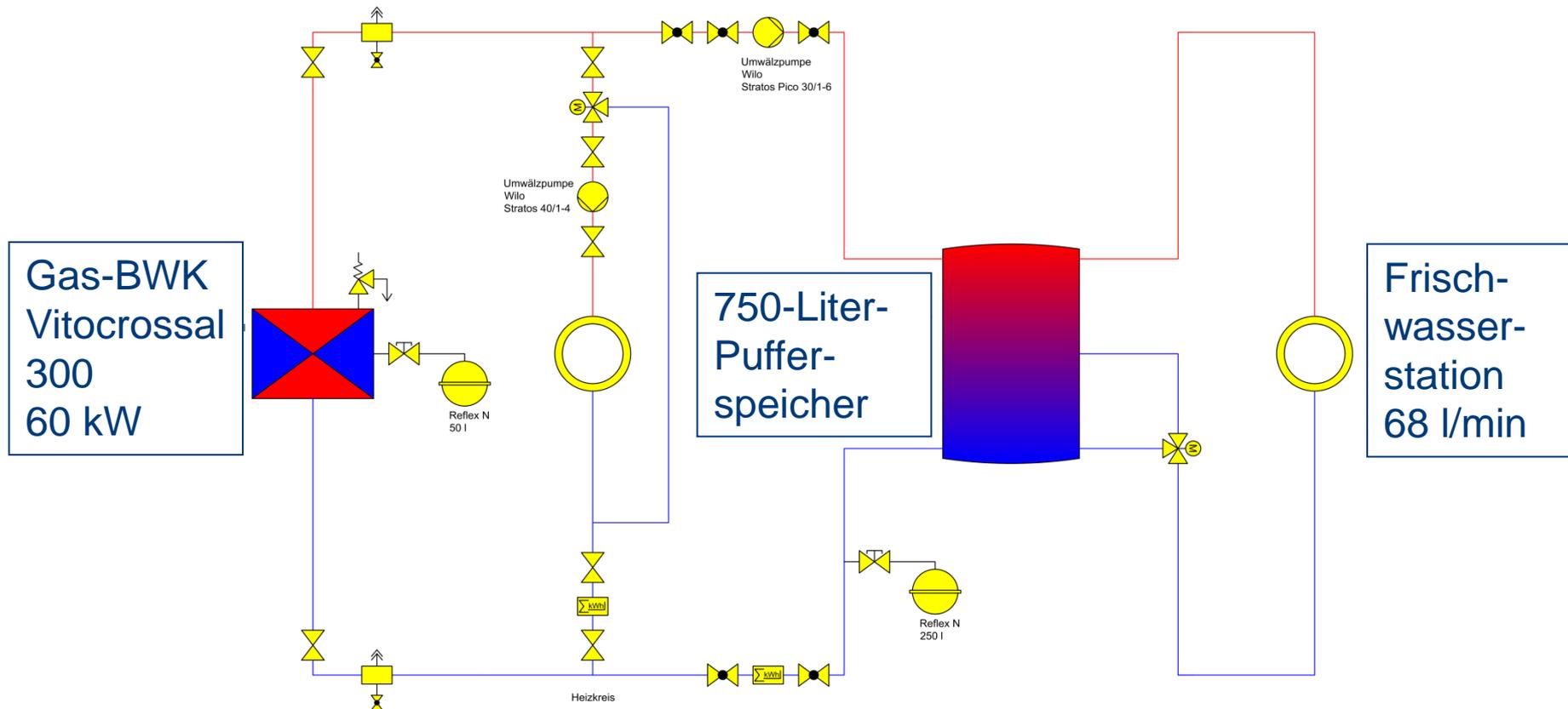


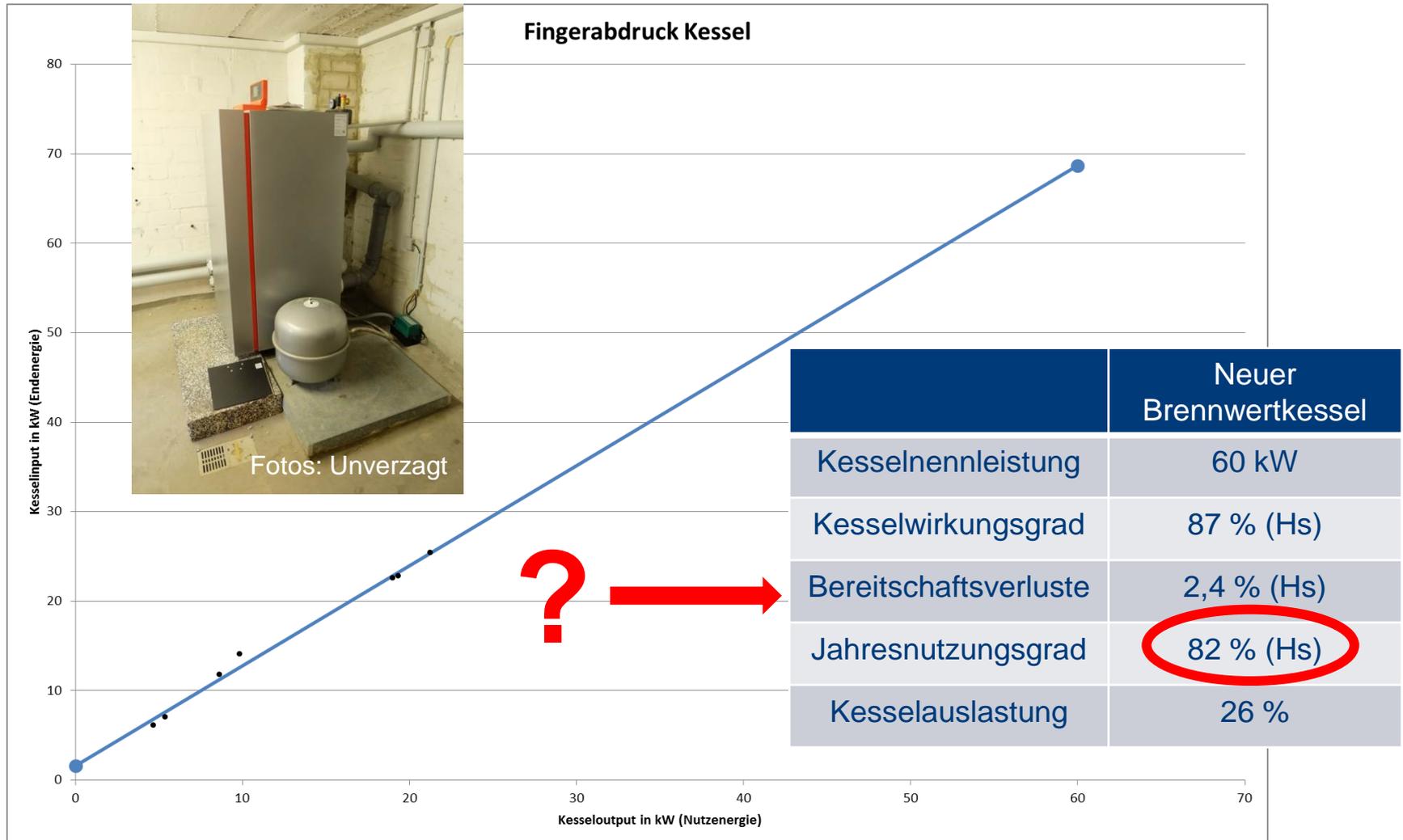
Foto: Unverzagt

Kesseloutput in kW (Nutzenergie)



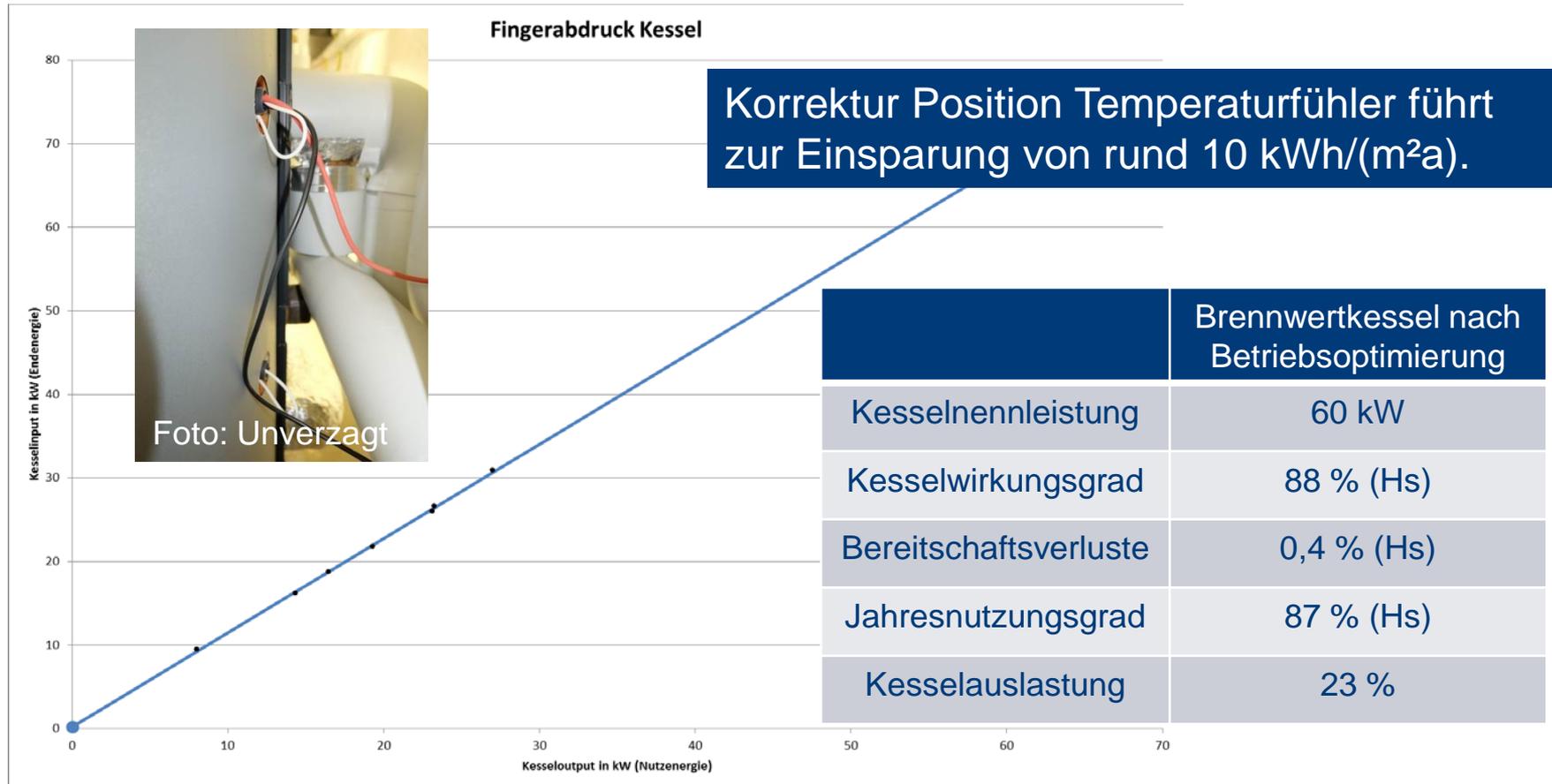
## Neue Heizungsanlage mit Gas-Brennwertkessel



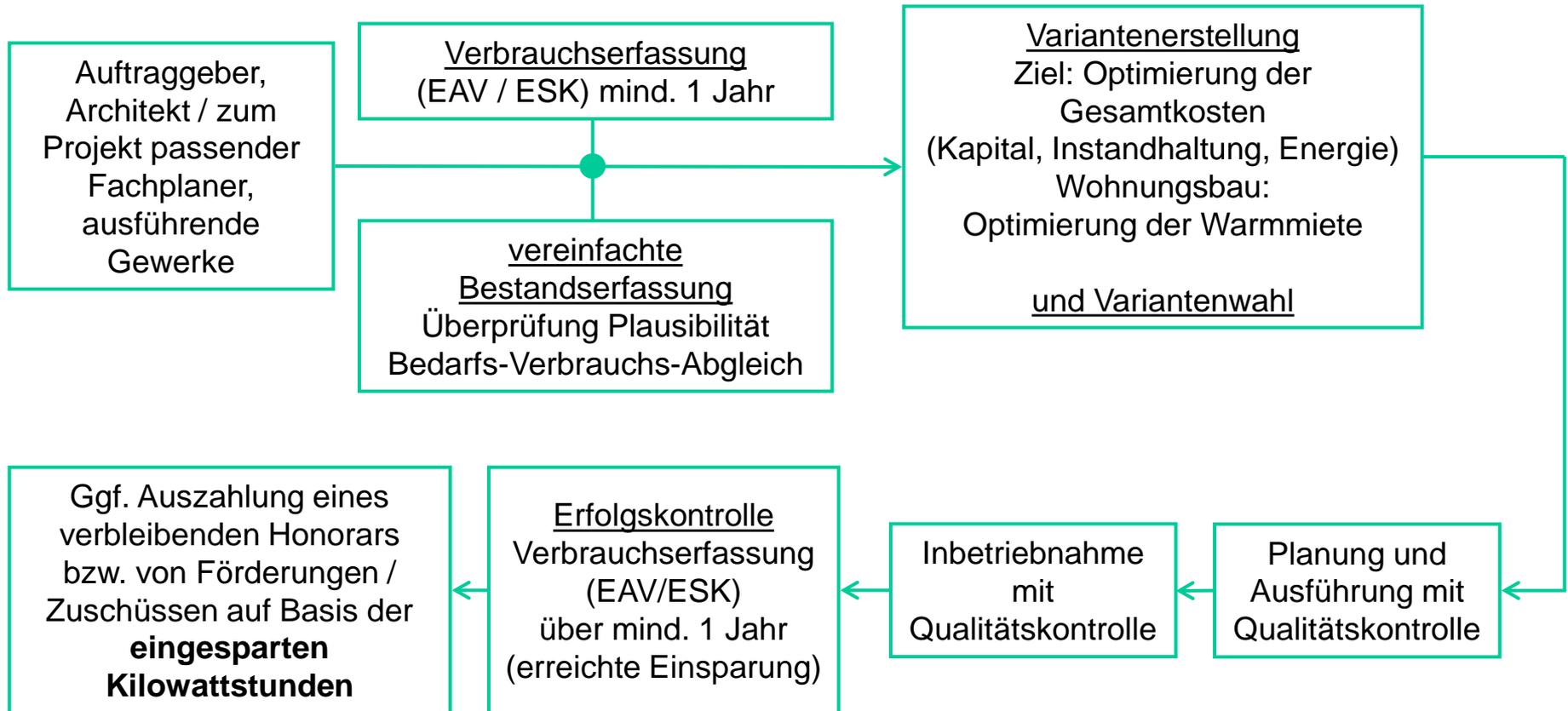




## Erfolgsnachweis nach Betriebsoptimierung



# ***Fehlentwicklungen in der energetischen Modernisierung ... Abhilfe durch "Verträge mit Erfolgsgarantie,, nach neuer HOAI möglich***



## Ein typisches Beispiel (1) im Schnelldurchgang

### Gebäude

- zwei Mehrfamilienhäuser mit gesamt 30 WE (ca. 1 350 m<sup>2</sup>); Baujahr 1973

### Anlage

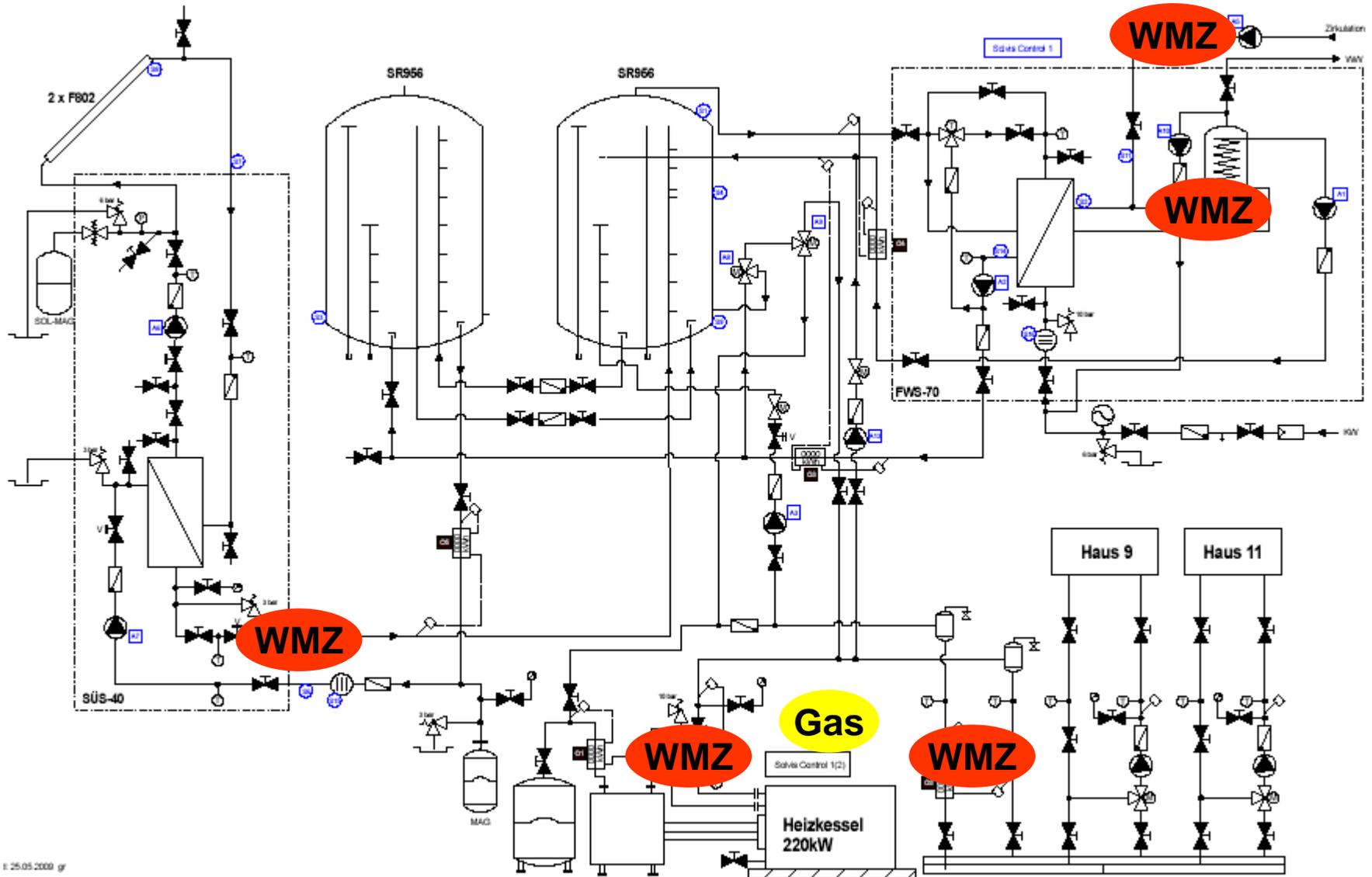
- 33,6 m<sup>2</sup> Flachkollektoren; 2 Pufferspeicher mit je 950 Liter Inhalt
- Trinkwarmwasserbereitung und Heizungsunterstützung
- Frischwasserstation
- eine Zentrale mit Gas-Brennwertkessel: 220 kW Leistung
- verbunden über Vierleitersystem Heizung und Zirkulation Trinkwarmwasser

ca. 40 000 € Mehrinvestition

### Messwerterfassung

- WMZ für Kessel, Solar, TWW, Zirkulation und Raumheizung seit Okt. 2007
- Tausch der WMZ am 18.03.2010

# Feldanlage – komplexes Anlagenschema



1:25.05.2009 gr

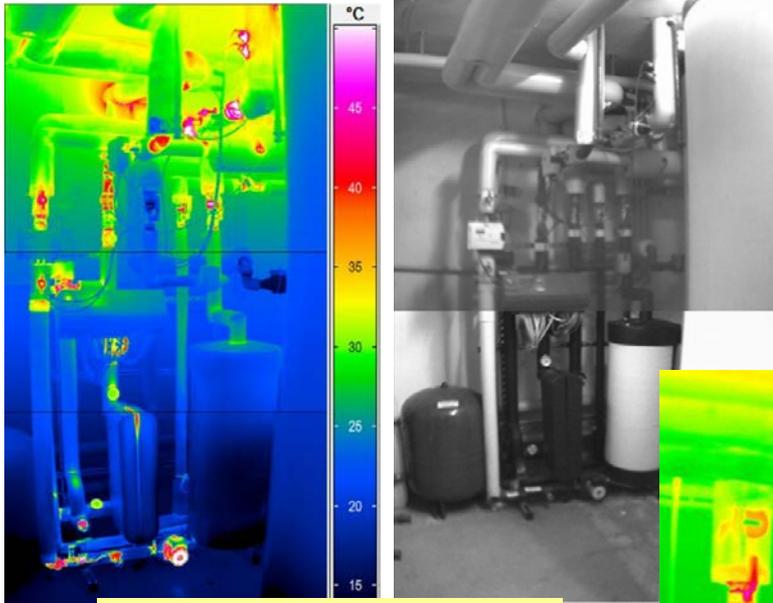
## Kollektorfeld



Flachkollektoren  
Kollektorfläche  
33,6 m<sup>2</sup>

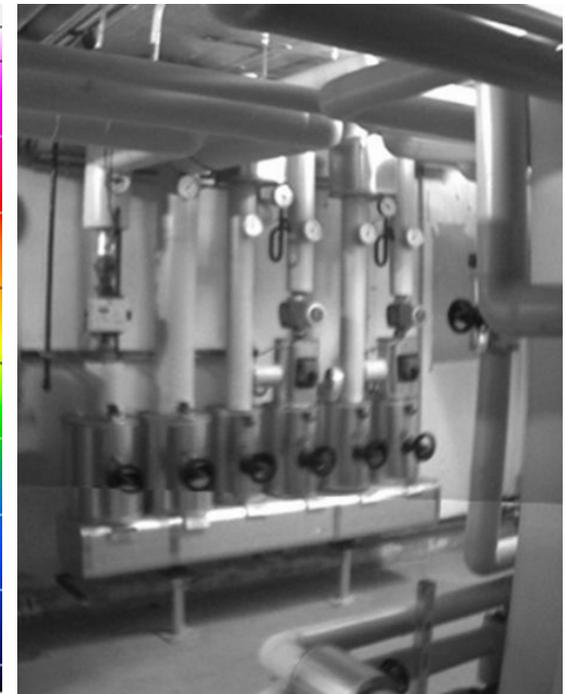
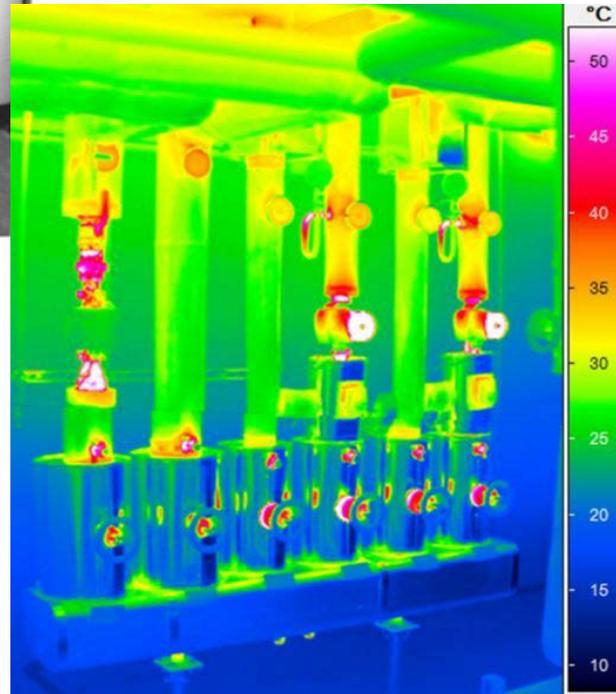


## Wärmeverluste der Heizzentrale – Thermografie



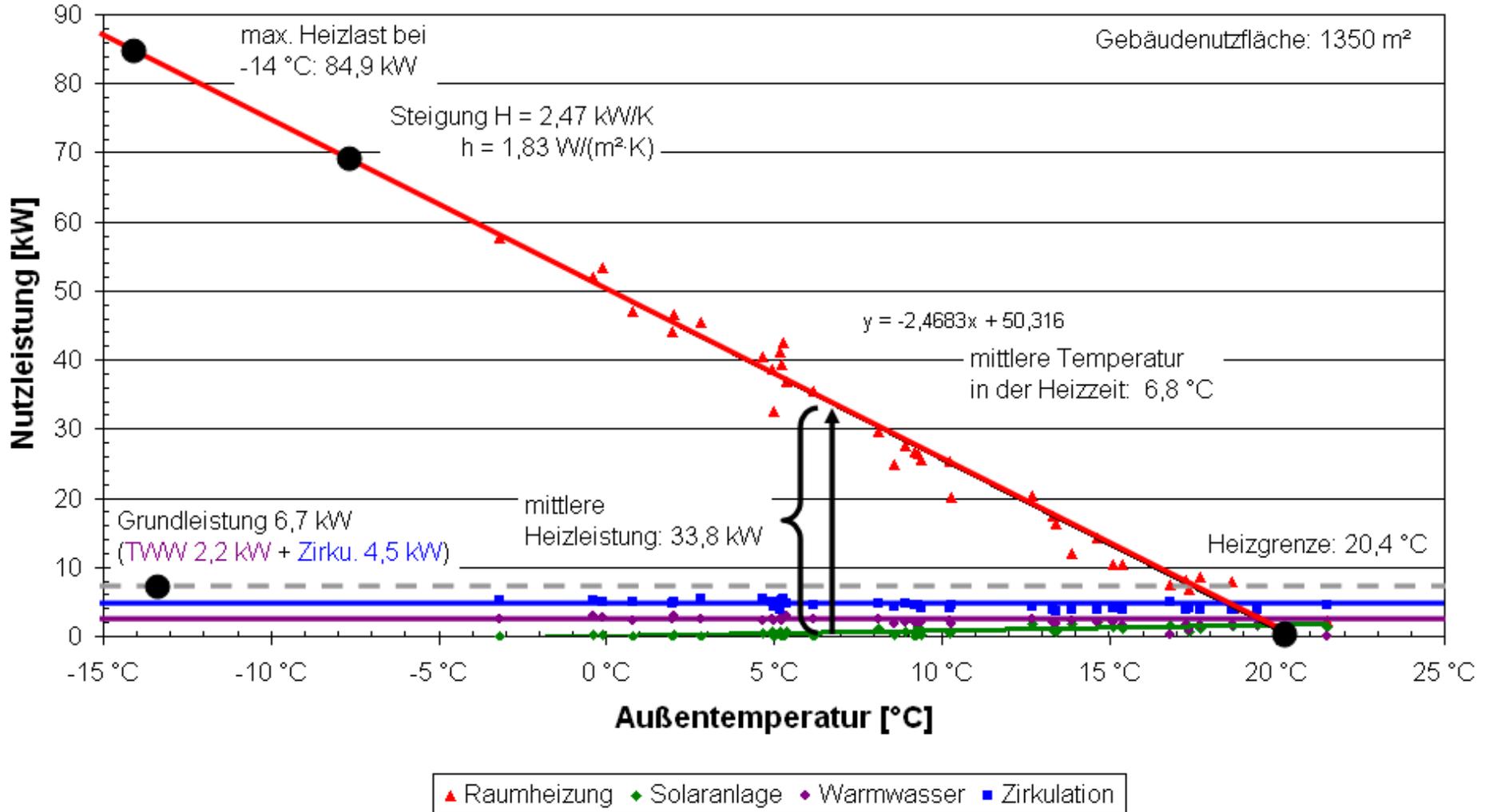
Frischwasserstation

Heizkreis Verteiler/Sammler



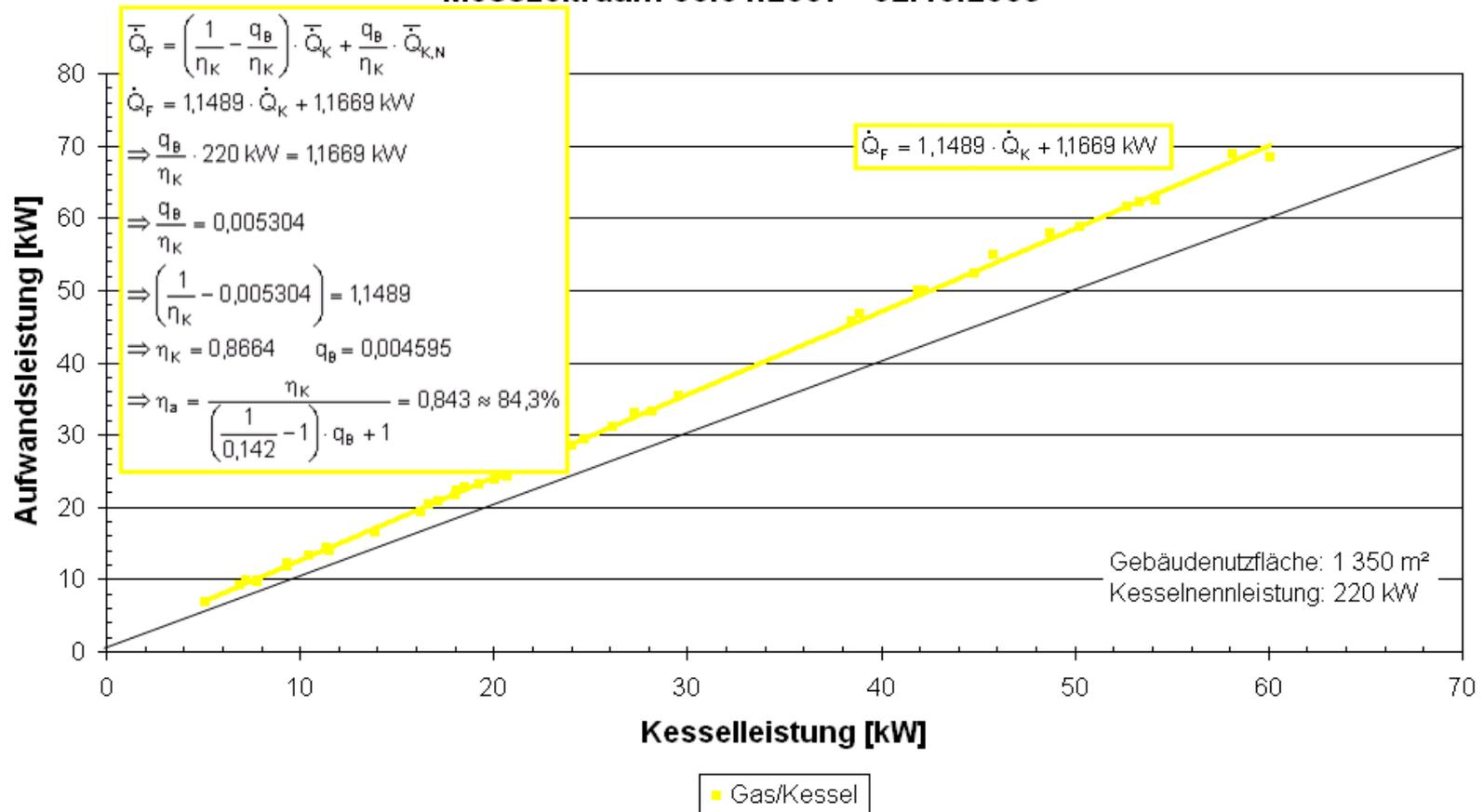
# Nutzleistungen

Messzeitraum Oktober 2007 bis November 2010

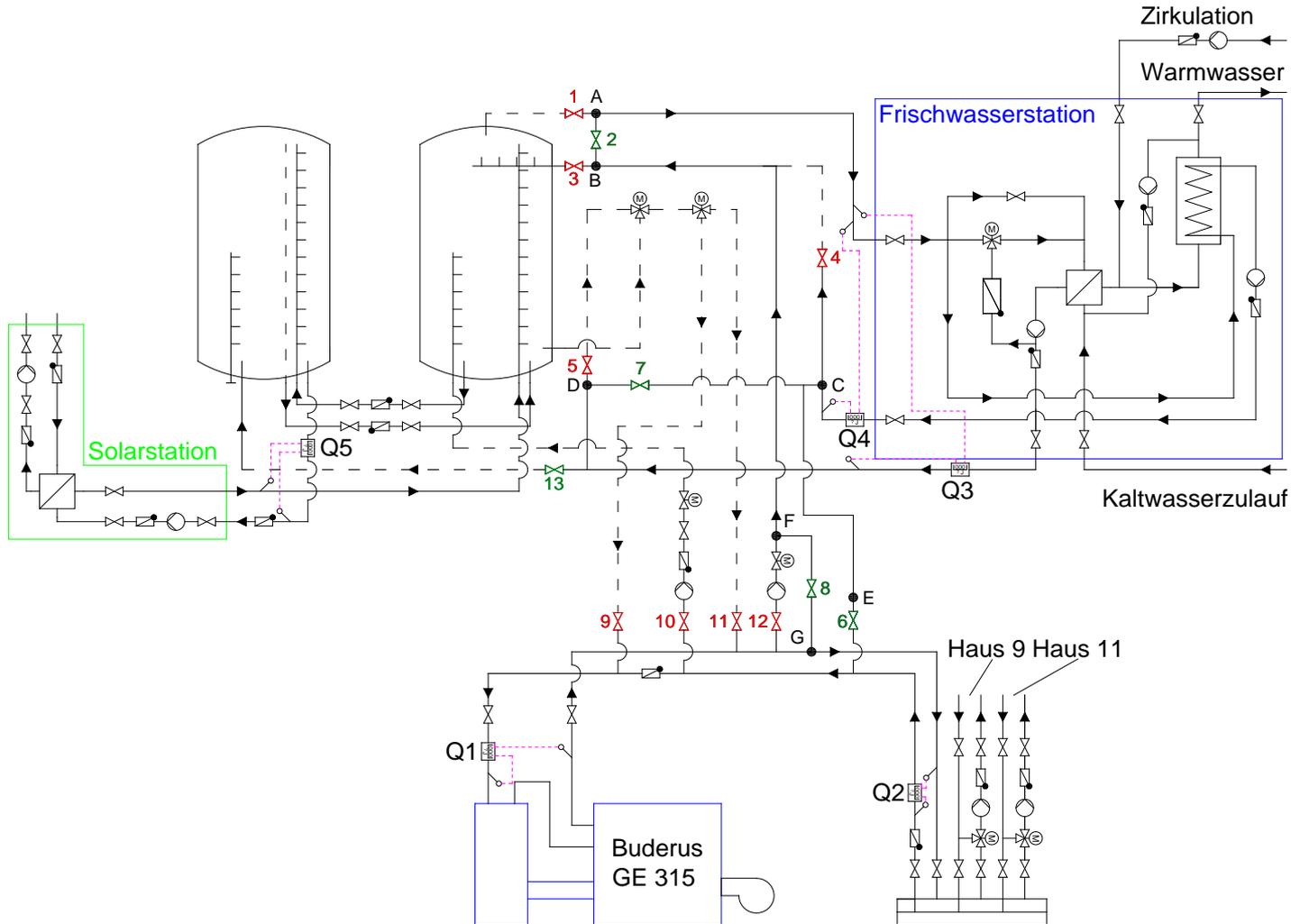


Bilanzzeitraum 30.01.2007 bis 02.10.2009

Hannover Olbersstraße  
Messzeitraum 30.01.2007 - 02.10.2009

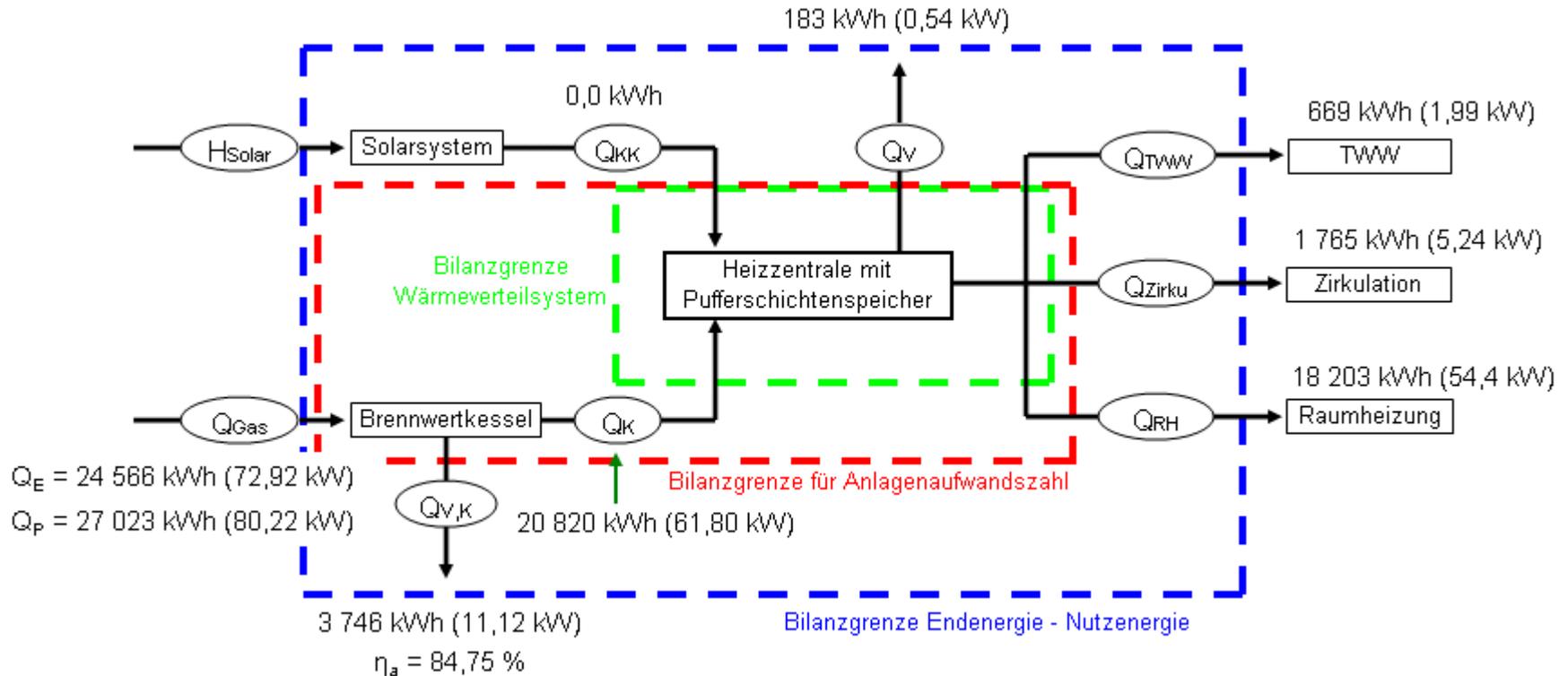


# Anlagenskizze (ohne Speicher)



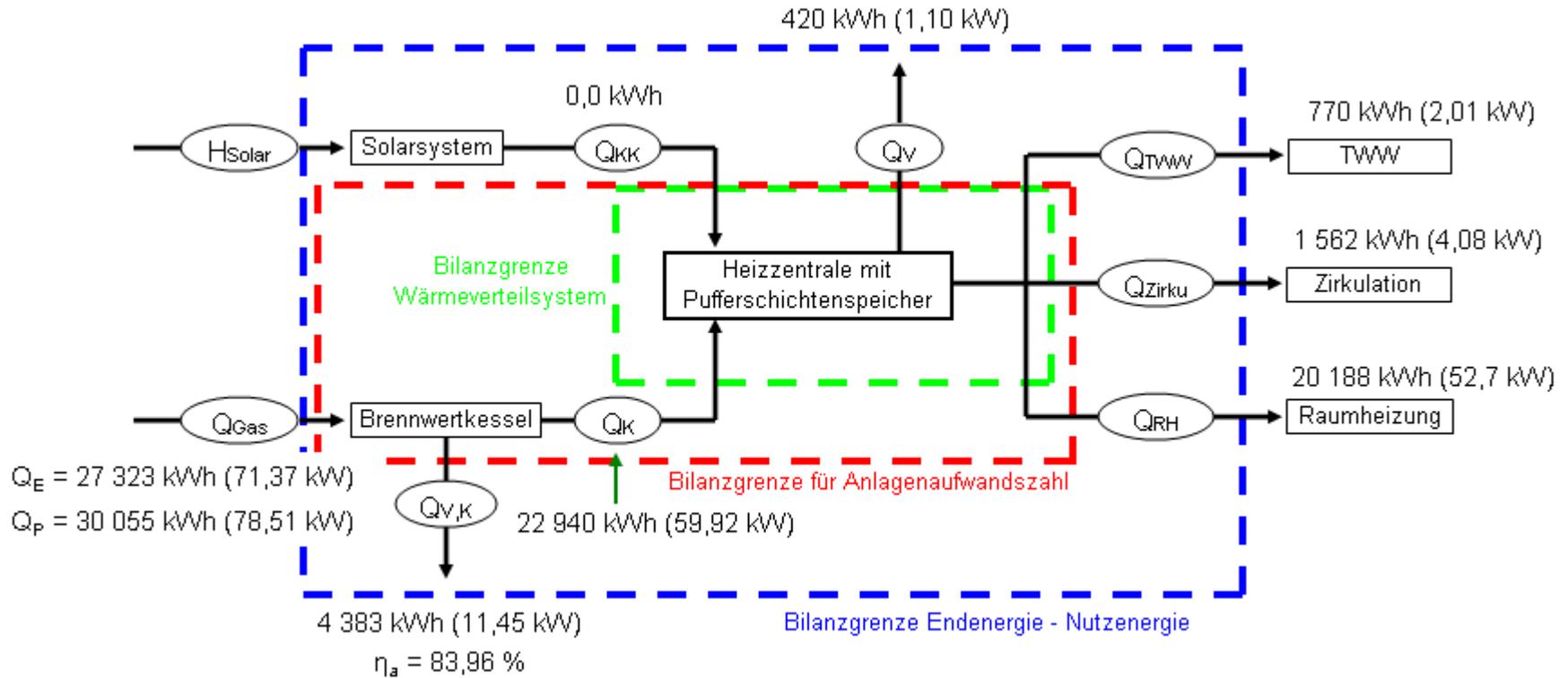
Energiebilanz „Versuchsbetrieb“

Bilanzzeitraum 06.12.2010 bis 20.12.2010  
(Außentemperatur -2,6°C)

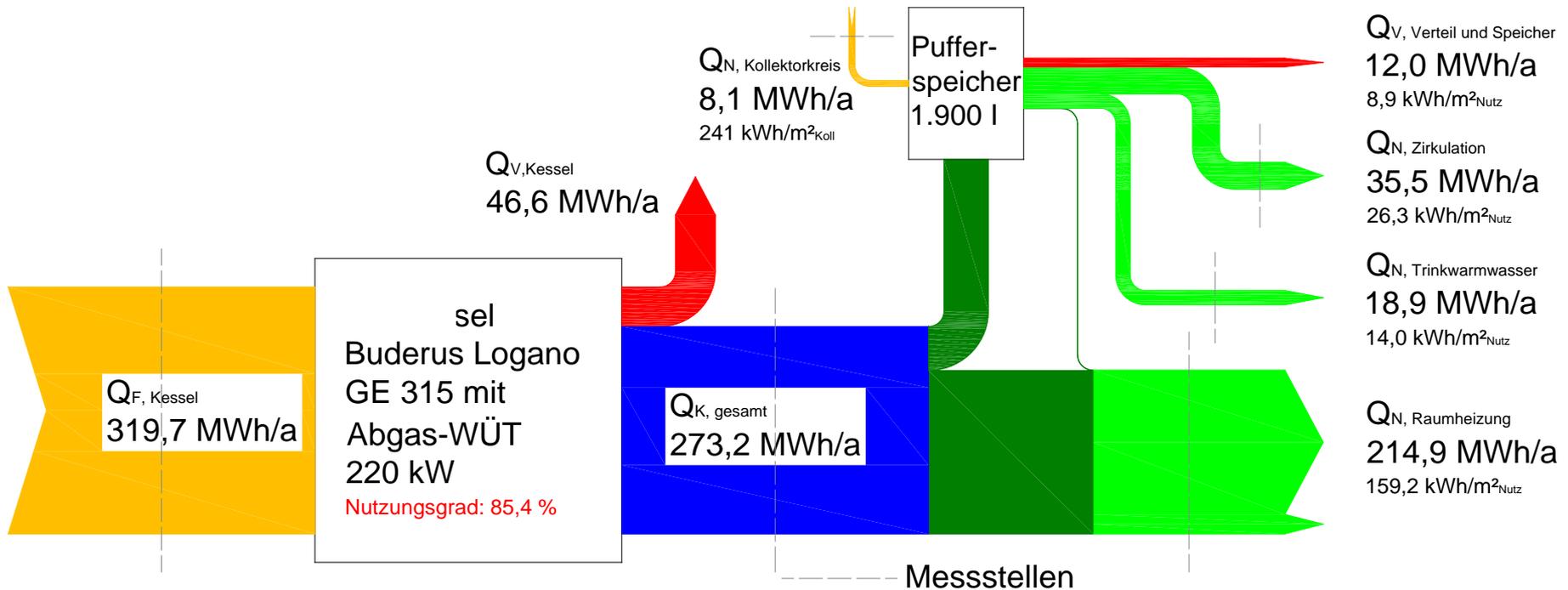


Energiebilanz „Normalbetrieb“

Bilanzzeitraum 22.12.2010 bis 05.01.2011  
(Außentemperatur -2,5°C)



# Energiebilanz



Der spezifische Kollektorkreisenertrag ist als gering anzusehen.  
Der Kesselnutzungsgrad ist schlecht.  
Die Zirkulationsverluste sind viel zu hoch.

## Alternative Energiebilanz

welcher Aufwand an Gas hätte sich ergeben, wenn

- die Solaranlage nicht vorhanden wäre
- die Anlage eine dann übliche Trinkwarmwasserbereitung gehabt hätte
- der Kessel einen dann üblichen Nutzungsgrad hätte (86 – 90 – 94 %)

Randdaten: ohne thermische Solaranlage

Wärmebedarf für Raumheizung, Warmwasser und Zirkulation aus Messwerten

Speicher- und Verteilverluste näherungsweise 50 % der Messwerte

Kesselnutzungsgrad Variation 86 %, 90 %, 94 %

Kessel- nutzungsgrad	Gasverbrauch [kWh/a]	Einsparung o. Solar		Mehraufwand o. Solar	
		[kWh/a]	[kWh/m <sup>2</sup> /a]	[kWh/a]	[kWh/m <sup>2</sup> /a]
86%	320.077			365	0,27
90%	305.851	13.861	10,27		
94%	292.836	26.876	19,91		

## Gebäudesteckbrief

### Feldanlage Oibersstraße Hannover

10



Adresse: Oibersstraße 2 / 11  
 30519 Hannover / Döhren  
 Nutzung: 2 Mehrfamilienhäuser  
 Baujahr: 1973  
 Nutzfläche: 1.250 m<sup>2</sup> (30 Wohneinheiten)  
 Bewohner: 34 Personen  
 Sonstiges: Modernisierung der Anlagentechnik 2008  
 Messstellen: WNZ für Kessel, Kollektoren, RH, TWW und Zirkulation, Gaszähler

#### Anlagendaten

- Warmwasserbereitung
- Raumheizung
- Zirkulation
- Nahwärmenetz
- Raumlufttechnische Anlage

#### Wärmeerzeuger

Typ: Buderus Logano GG 215  
 Leistung: 232,2 kW (bei 50/50)  
 Brennstoff: Erdgas  
 Wassinhalt: 276 Liter (1,55 kW)  
 hydraulische Weiche  
 Kessel arbeitet auf Puffer

#### Thermische Solaranlage

Warmwasserbereitung

Kollektorfläche: 33,6 m<sup>2</sup> (Flachkollektoren)  Heizungsunterstützung  
 Typ: -  
 Pufferspeicher: 2 Speicher mit je 250 Liter  
 Typ: SR 250

#### Trinkwarmwasserbereitung

Trinkwasserreservoir: nein  
 Typ: -  
 Frischwasserzirkulation: ja  
 Typ: FWSTO

#### Sonstiges

Regelung: Buderus Kessel-Regelung – Übergabeneil-Solva Anlagenregelung  
 Anzahl Pumpen: 10 Stück

#### Verbrauchsdaten / Gebäude- und Anlagenkennwerte 2011

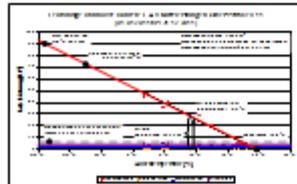
##### Messzeitraum (01.01.2011 – 31.12.2011)

Gesamtverbrauch (Hg): 219,7 MWh/a 237 kWh/(m<sup>2</sup>a) 2.403 kWh/(Person a)  
 Warmwasser: - m<sup>3</sup>/a - m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>a) - m<sup>3</sup>/(Person a)  
 Kollektorenertrag: 5.091 kWh/a 241 kWh/(m<sup>2</sup>a) 226 kWh/(Person a)

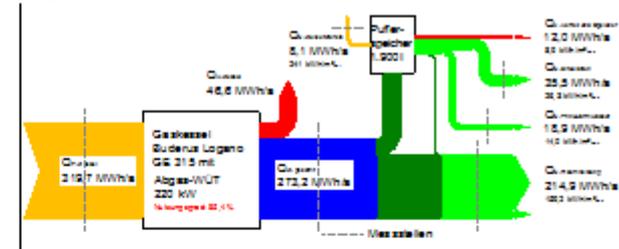
##### Kennwerte aus der Energieanalyse:

mit WNZ (Messstellen gebäud. RH, TWW, Zirkulation)

flächenbezogene Steigung H<sub>0</sub>: 2,01 W/(m<sup>2</sup>K)  
 Gebäudeheizlast: 22,1 kW  
 Heizgrenze: 19,5 °C  
 flächenbezogene Grundlast: 4,59 W/m<sup>2</sup>  
 personenbezogene Grundlast: 163 W/Person



#### Energiebilanz



#### „Nutzen“

Raumheizung:	214,9 MWh/a	199,2 kWh/(m <sup>2</sup> a)	6.320 kWh/(Person a)
Warmwasser:	15,9 MWh/a	14,0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	557 kWh/(Person a)

#### Anlageverluste (alle Wärmeerzeugerkennwerte bezogen auf H<sub>0</sub>)

Gesamt:	94,0 MWh/a	85,6 kWh/(m <sup>2</sup> a)	2.785 kWh/(Person a)
Wärmeerzeuger:	48,5 MWh/a	34,4 kWh/(m <sup>2</sup> a)	1.385 kWh/(Person a)
Speicher u. Verteilung:	12,0 MWh/a	9,9 kWh/(m <sup>2</sup> a)	334 kWh/(Person a)
Zirkulation:	25,5 MWh/a	23,3 kWh/(m <sup>2</sup> a)	1.034 kWh/(Person a)
Nahwärme:	- MWh/a	- kWh/(m <sup>2</sup> a)	- kWh/(Person a)

Jahresnutzungsgrad Wärmeerzeuger: 55,7 %  
 Jahresnutzungsgrad Anlage: 72,1 %

#### Energetischer Vergleich

Randdaten: ohne thermische Solaranlage  
 Wärmebedarf für Raumheizung, Warmwasser und Zirkulation aus Messwerten  
 Speicher- und Verteilverluste näherungsweise 30 % der Messwerte  
 Kesselnutzungsgrad Variation 85 %, 90 %, 94 %

Kesselnutzungsgrad	Gesamtverbrauch (MWh/a)	Erspargnis o. Solar (MWh/a)	Mehraufwand o. Solar (MWh/a)	(MWh/m <sup>2</sup> a)	(MWh/Person a)
85%	220,077		265	0,27	
90%	225,551	13,561	10,27		
94%	222,536	26,576	19,91		

#### Fazit

Der spezifische Kollektorenertrag ist als schlecht anzusehen.  
 Die Zirkulationsverluste sind zu hoch.  
 Der energetische Vergleich zeigt, dass eine Anlage ohne thermische Solaranlage und gut eingestelltem Kessel eine Einsparung an Endenergie zur Folge hätte.

#### Bemerkungen

Es beinhaltet Verteilverluste innerhalb der Gebäude und Nahwärmeverluste zum zweiten Gebäude  
 Messzeitraum 30.11.2010 – 30.11.2011



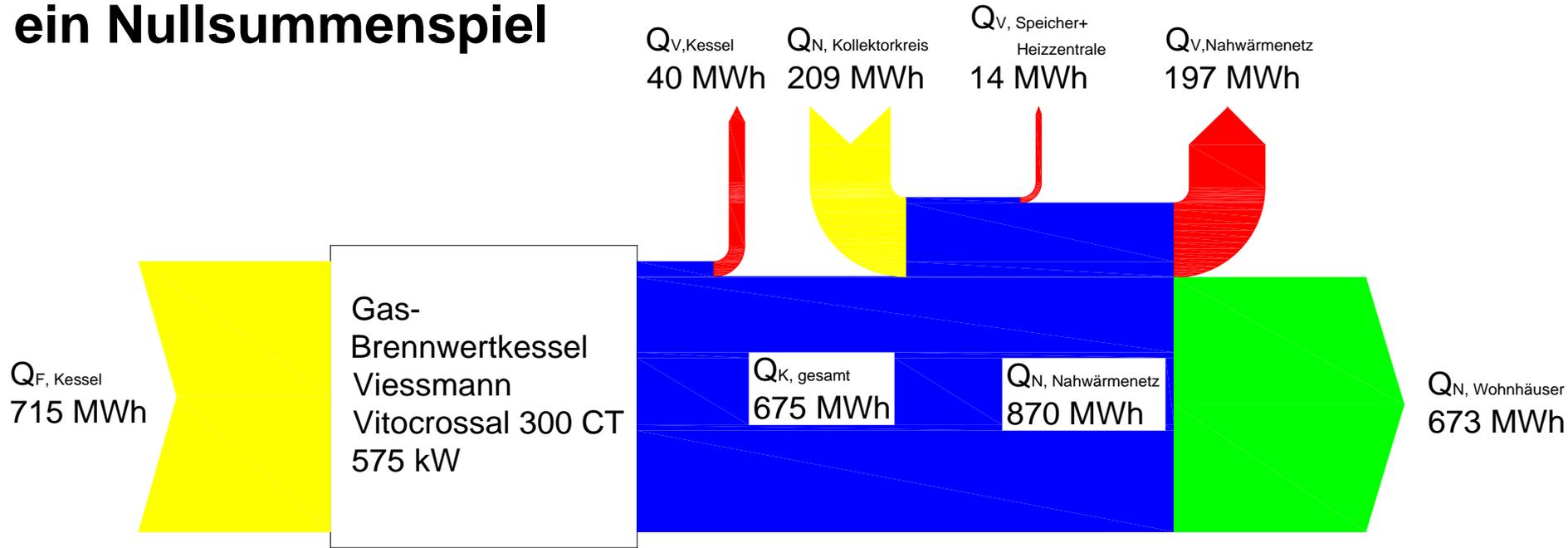
## Solare Nahwärme - Macht das Sinn?



550 m<sup>2</sup> Kollektorfläche und  
100 m<sup>3</sup> Speicher mit Nahwärme  
für 61 Einfamilienhäuser

# Jahresbilanz – leider ein Nullsummenspiel

## Kollektorertrag 380 kWh/m<sup>2</sup><sub>Koll.</sub>



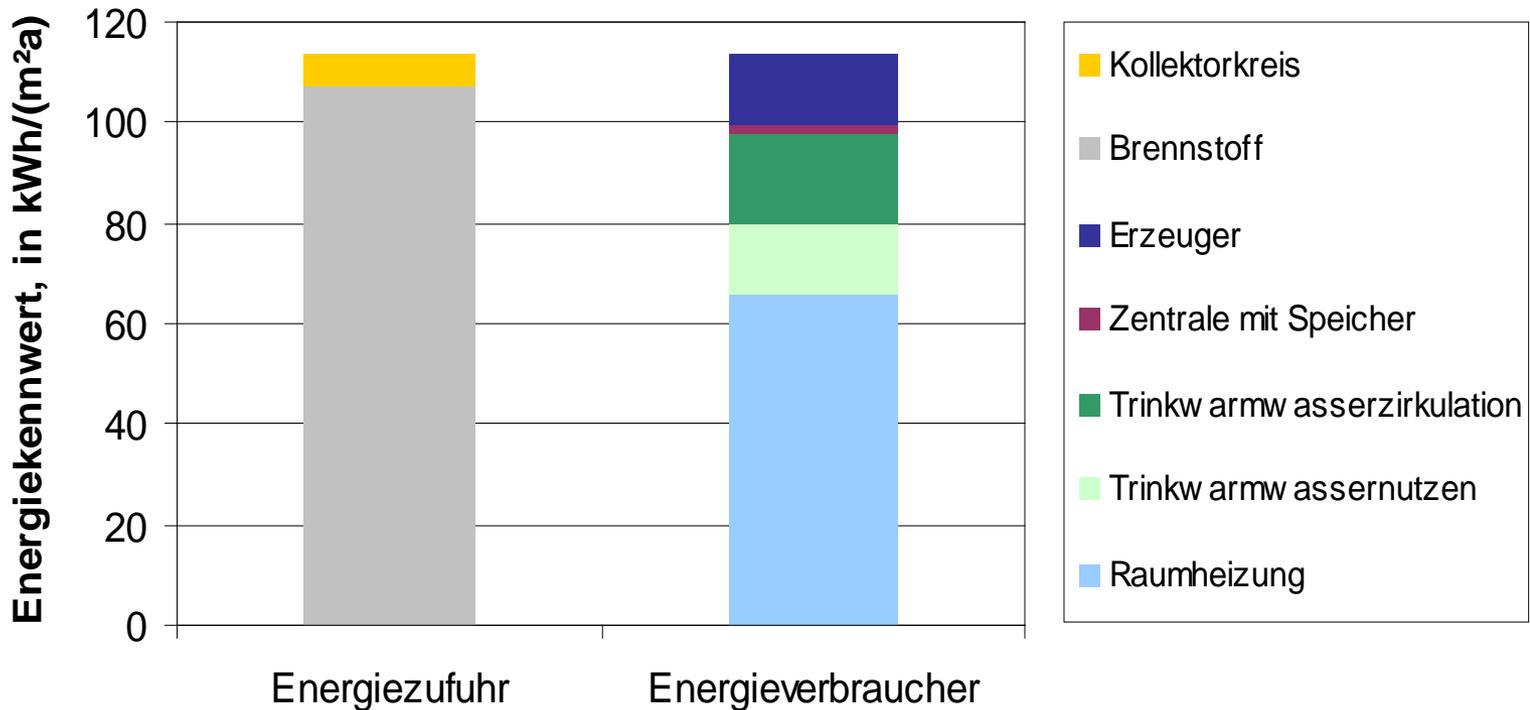
**Kesselnutzungsgrad > 94%  
> 104% (Heizwertbezug)**

**24% regenerativer Anteil  
am Wärmeenergiebedarf**

**Aber: Keine Endenergieeinsparung gegenüber dezentraler Gasbrennwerttechnik und doppelt so hohe Energiekosten**

**Beispiel 2: Mehrfamilienhäuser – BMU-Projekt: Solar-Kessel**  
**Solarertrag 8 kWh/(m<sup>2</sup> a) – Endenergie minus 7 kWh/(m<sup>2</sup> a)**  
**Durchschnittlicher Anlagennutzungsgrad: 70% (Brennwert)**

**Energiebilanz, gewichteter Ø 8 Feldanlagen,  
(Σ 17.967 m<sup>2</sup>, ohne Nahwärme, mit Gasbrennwertkessel)**



## Verlegedichte von Trinkwarmwasserleitungen - Zirkulationsleitungen und **zukünftige elektrische Konsequenzen**

ungünstig: lange flache Baukörper

günstig: kompakte, hohe Baukörper



0,38 m/m<sup>2</sup>



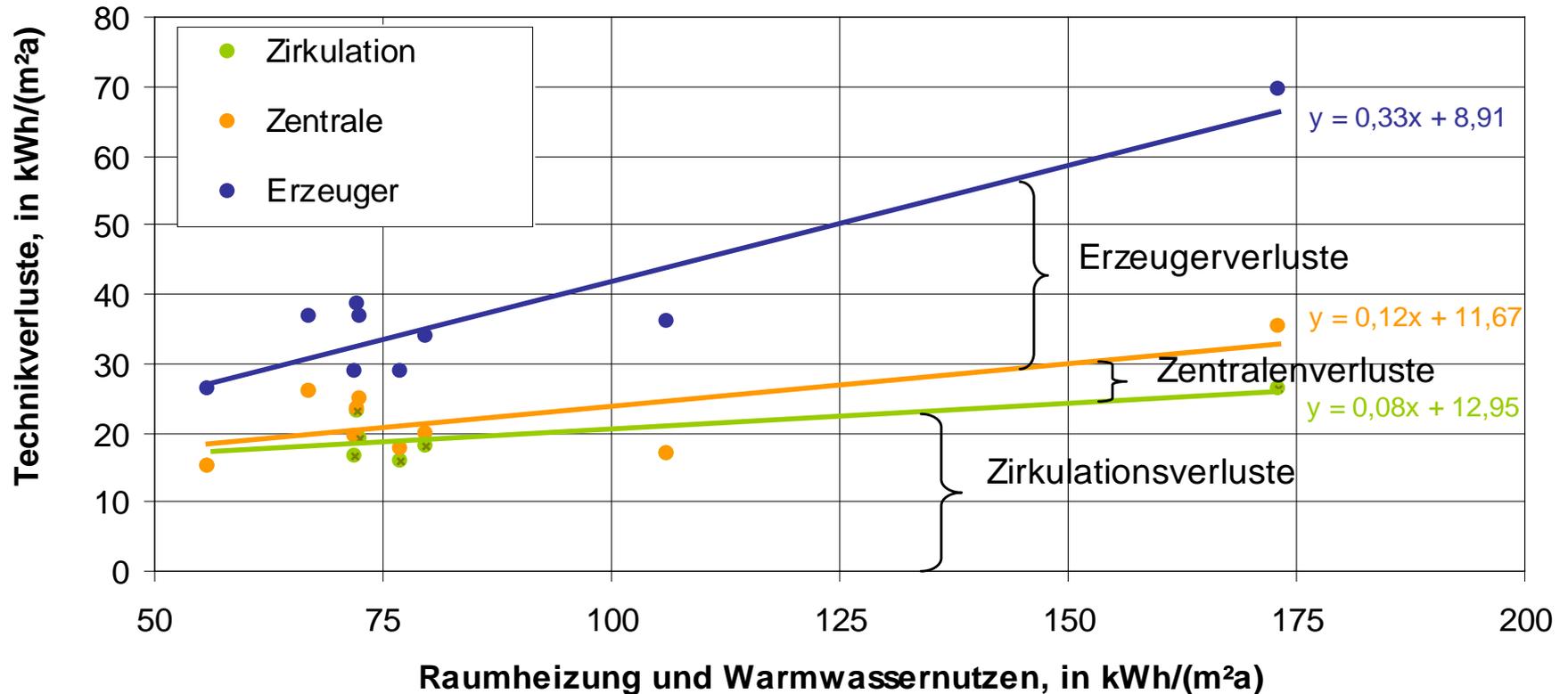
0,14 m/m<sup>2</sup>

- im Beispiel links ergeben sich gemessen für 2011:  
19 kWh/(m<sup>2</sup>a) Zirkulationsverlust bei 12 kWh/(m<sup>2</sup>a) Warmwassernutzen
- selbst mit Solarthermie (hier 34 %) und einem üblichen Kessel  
(88 % brennwertbezogen) rückt **elektrische Versorgung in den Fokus der Überlegungen**

# Anlagentechnische Verluste - Mehrfamilienhäuser

**Aufteilung der Anlagenverluste der Gebäudeanlagen**

8 Feldanlagen; nur Gebäudeanlagen mit Gaskessel; alle Werte bezogen auf die beheizte Fläche



# Was ist in Neubau und Bestand heute erreichbar?

Endenergie: 40 – 60 kWh/(m<sup>2</sup> a)  
Raumheizung: 20 – 40 kWh/(m<sup>2</sup> a)  
TWW: 10 – 20 kWh/(m<sup>2</sup> a)  
Strom: 10 – 20 kWh<sub>el</sub>/(m<sup>2</sup> a)

## Maßstab ist für die Mehrheit das Kostenkriterium:

Als Zielwerte (heute typisch etwa das 2 – 3 fache):

Raumheizung: 40 kWh/(m<sup>2</sup> a) mal 43 m<sup>2</sup>/P mal 0,09 €/kWh = 155 €/(P a)

Warmwasser: 600 kWh/(P a) mal 0,25 €/kWh<sub>el</sub> = 150 €/(P a)

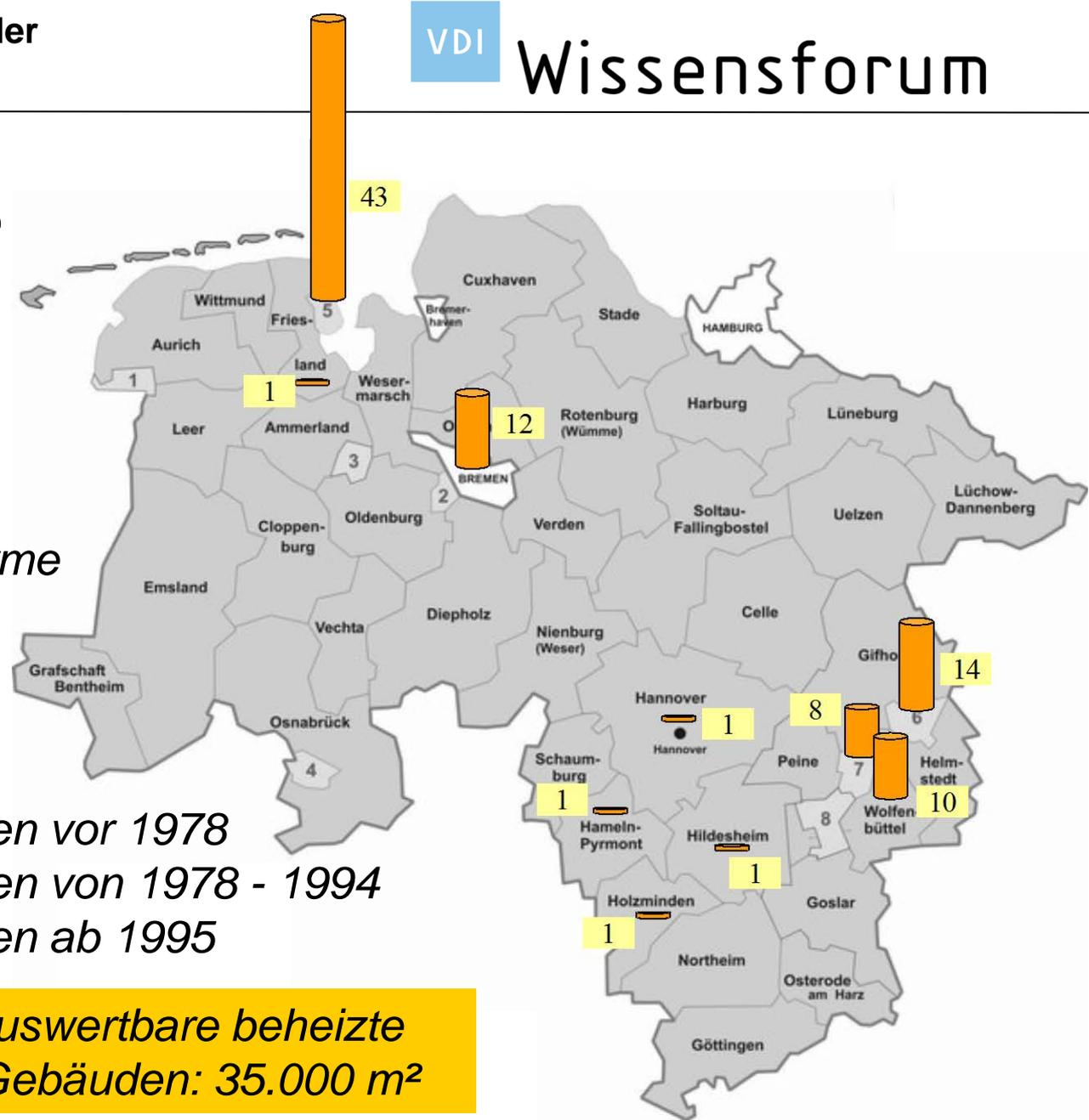
Haushaltsstrom: 1000 kWh/(P a) mal 0,25 €/kWh<sub>el</sub> = 250 €/(P a)

**MOTIVATION**  
**HYDRAULISCHER ABGLEICH:**  
**DBU-PROJEKT OPTIMUS**

## Gewählte Gebäude

- 92 Gebäude
- 59 mit Kessel
- 33 mit Fernwärme
- 52 EFH
- 40 MFH
- 47 mit Baujahren vor 1978
- 20 mit Baujahren von 1978 - 1994
- 25 mit Baujahren ab 1995

Energetisch auswertbare beheizte Fläche in 75 Gebäuden: 35.000 m<sup>2</sup>



## Optimierungsarbeiten

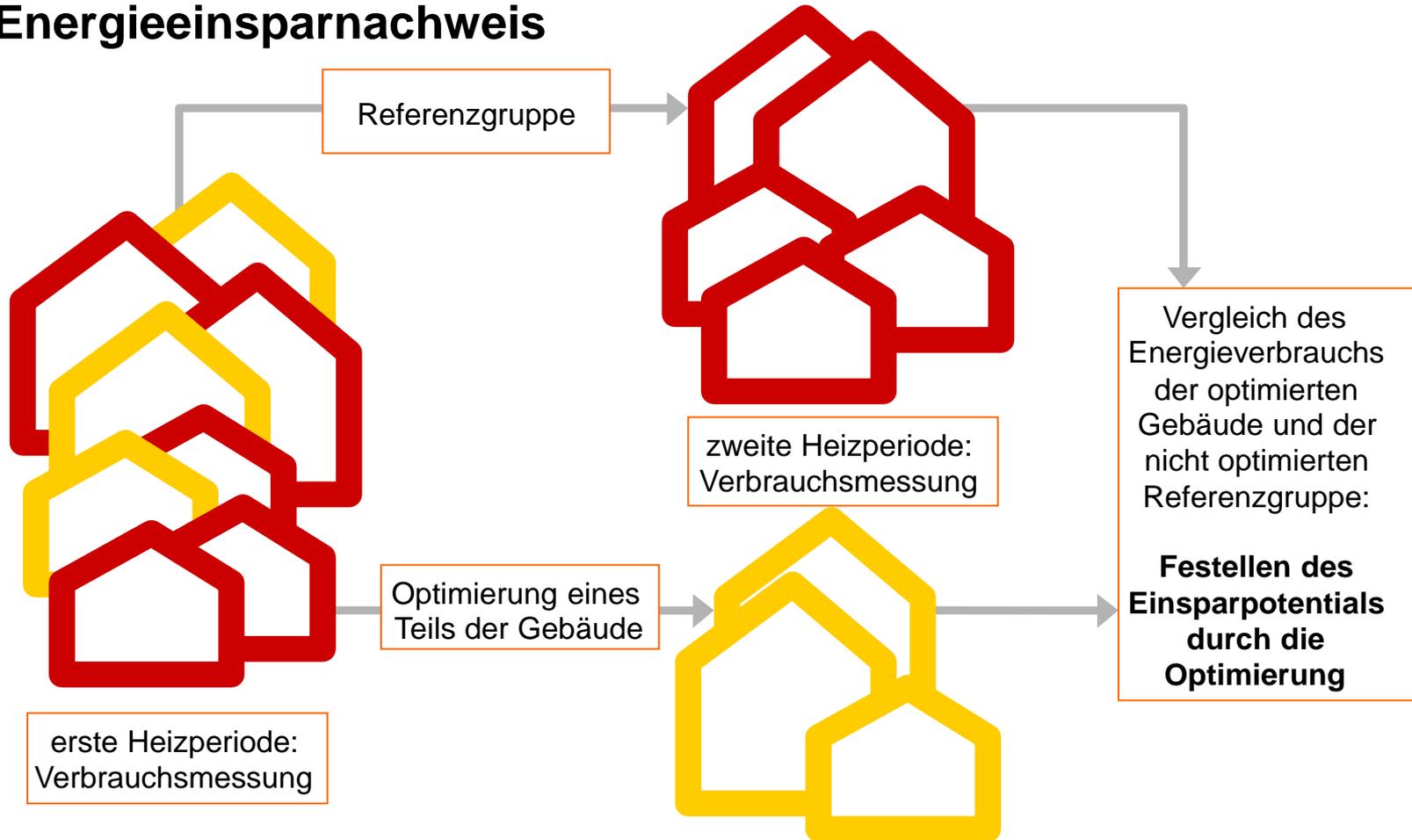
Die Optimierung in der Planung und Ausführung umfasst:

1. den hydraulischen Abgleich mit Voreinstellung von Thermostatventilen,
2. die Einstellung der ausreichenden Förderhöhe an der Pumpe
3. die Einstellung der Vorlauftemperatur am zentralen Regler.



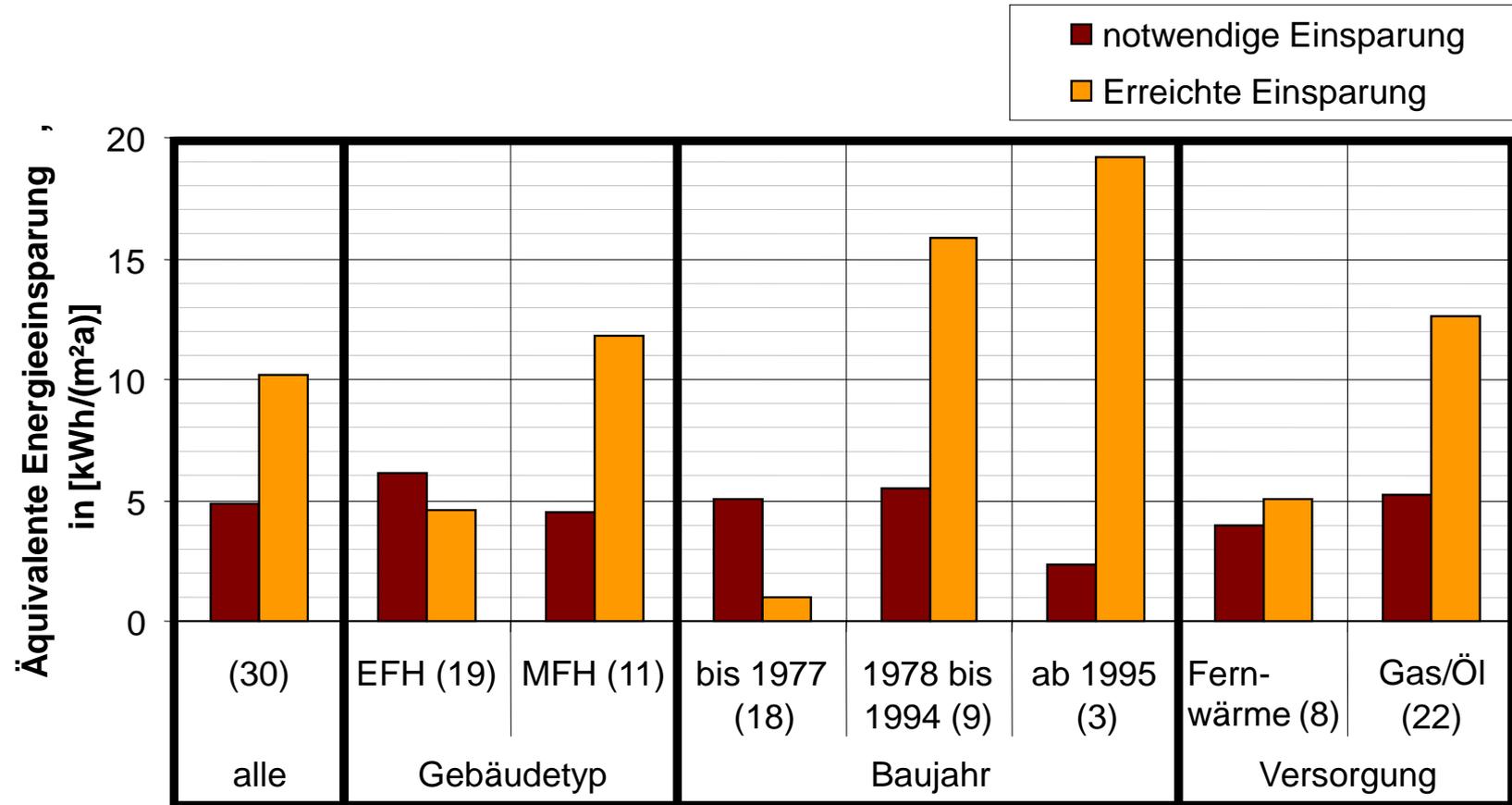
Optimierung, um Verschwendung von Heizenergie und elektrischer Hilfsenergie für die Pumpe zu vermeiden sowie den Komfort zu steigern

## Energieeinsparnachweis



**Einsparpotentiale messtechnisch nachweisen: monatliche Erfassung des Energieverbrauchs aller Gebäude über 2 Heizperioden**

## Wirtschaftlichkeit der Optimierung



## *Einzelbetrachtung: neues MFH in Braunschweig*

*Mehrfamilienhaus mit 18 Wohneinheiten,  
Baujahr 1998, 1250 m<sup>2</sup> Wohnfläche*



*Optimierungsmaßnahmen ohne  
Investitionen in Komponenten:*

- *Voreinstellung der  
Thermostatventile*
- *Einstellung der optimalen  
Pumpenförderhöhe*
- *Optimale Einstellung der  
Regelung*

*Verringerung des Verbrauchs thermischer Energie durch Optimierung  
von **99 auf 78 kWh/(m<sup>2</sup>a)** ↘ **21 %***

## Optimierung von:

- Wärmeerzeugung (Art, Leistung)
- Wärmeverteilung (Dämmung, Leitungslängen)
- Regelung und Hydraulik  
(Vermeidung eines Verschwendungspotentials)

- 1. Berechnung der Raumheizlast und der benötigten Vorlauftemperatur**
- 2. Berechnung der Druckverluste im Rohrnetz**
- 3. Auslegung der Umwälzpumpe**
- 4. Auswahl und Voreinstellung der Thermostatventile**
- 5. Anpassung der Heizungsregelung**

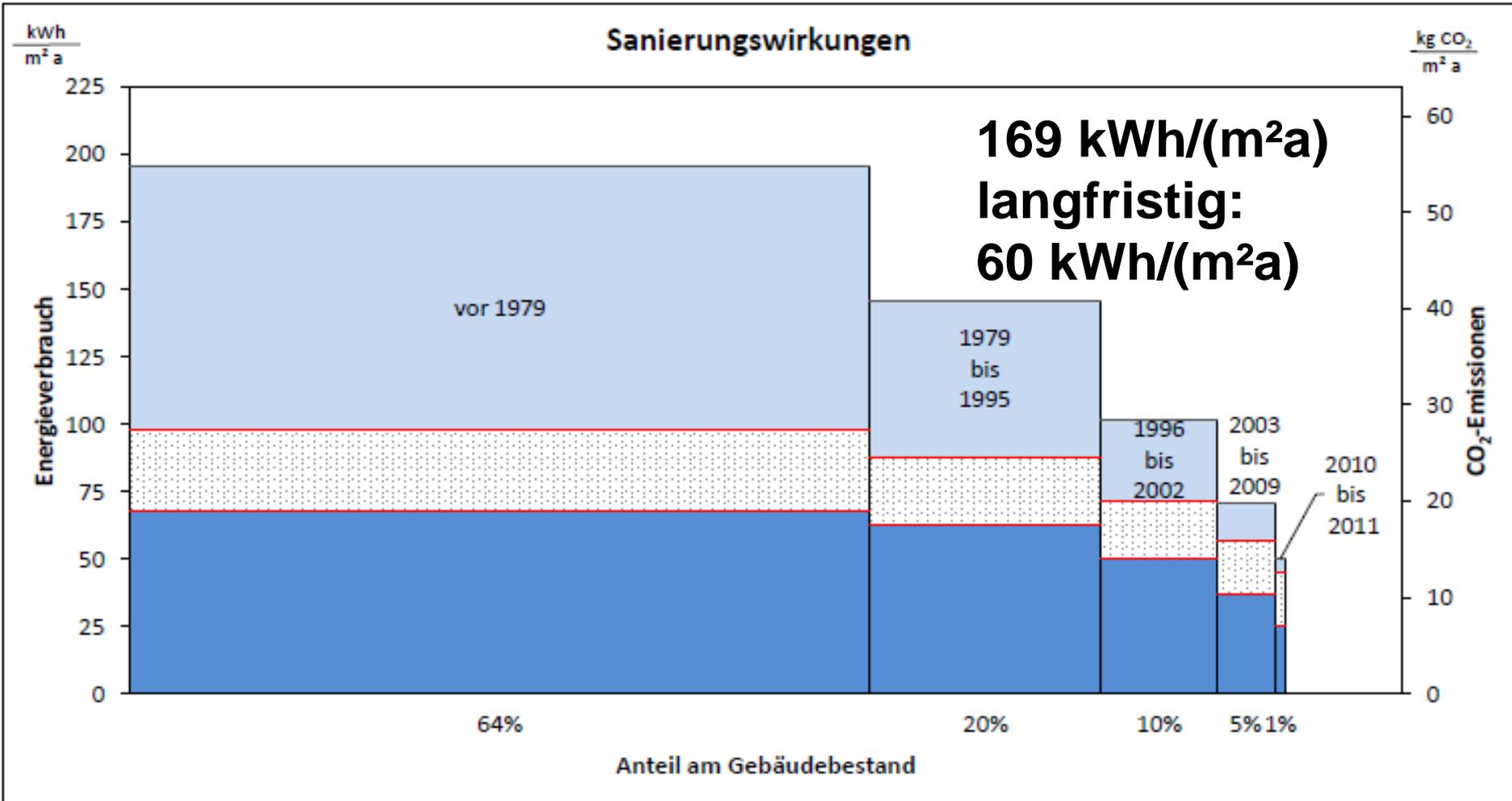
***Zukünftiges Primärenergie-Einsparpotenzial  
bei Optimierung und Qualitätssicherung von  
Planung, Ausführung und Betrieb im Neubau  
und nach einer baulichen Modernisierung:***

$$\Delta Q = 20 - 50 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$$

***Weitere Informationen:***

***<http://delta-q.de>***

Einsparpotenzial Wohngebäude bis 2050 durch energetische Modernisierung:  
 (169 – 60) kWh/(m<sup>2</sup>a) x 3,5 Mrd. m<sup>2</sup> = 382 TWh/a - minus 64%



**Potenzial von Maßnahmen im Gebäude zur Endenergieeinsparung und CO<sub>2</sub>-Minderung**

## Fazit

- Gasbrennwerttechnik, Wärmepumpen und Nah-/Fernwärme werden zukünftig wesentlich im Wettbewerb stehen. Einfache Systeme (PV) sind komplexen Hybridtechniken ökonomisch und ökologisch vorzuziehen
- Wettbewerb zwischen vorhandenen Gas- und Fernwärmenetzen führt meist zu der Empfehlung: Gasanschluss bleibt Gasanschluss und Fernwärmeanschluss bleibt Fern-/Nahwärmeanschluss – Neubau: Wärmepumpen (Elektro versus Power-To-Gas) versus Nah-/Fernwärme
- Zukünftiges Gebäudeenergiegesetz: Zielbezug auf Endenergien und CO<sub>2</sub> –Emissionen anstelle Primärenergiebezug – Einzelanforderungen ersetzen das Kompensieren zwischen Hülle und Anlagentechnik
- Nur die Qualitätssicherung in Planung und Ausführung verbunden mit einem Erfolgsnachweis nach Inbetriebnahme durch Energieanalysen aus dem Verbrauch gewährleisten das Einhalten von Planwerten – Zukünftige Dokumentation der Kenngrößen Heizwärme – Trinkwarmwasser – Erzeugerverluste in einem fortzuschreibenden Energieausweis

**Einführung:**

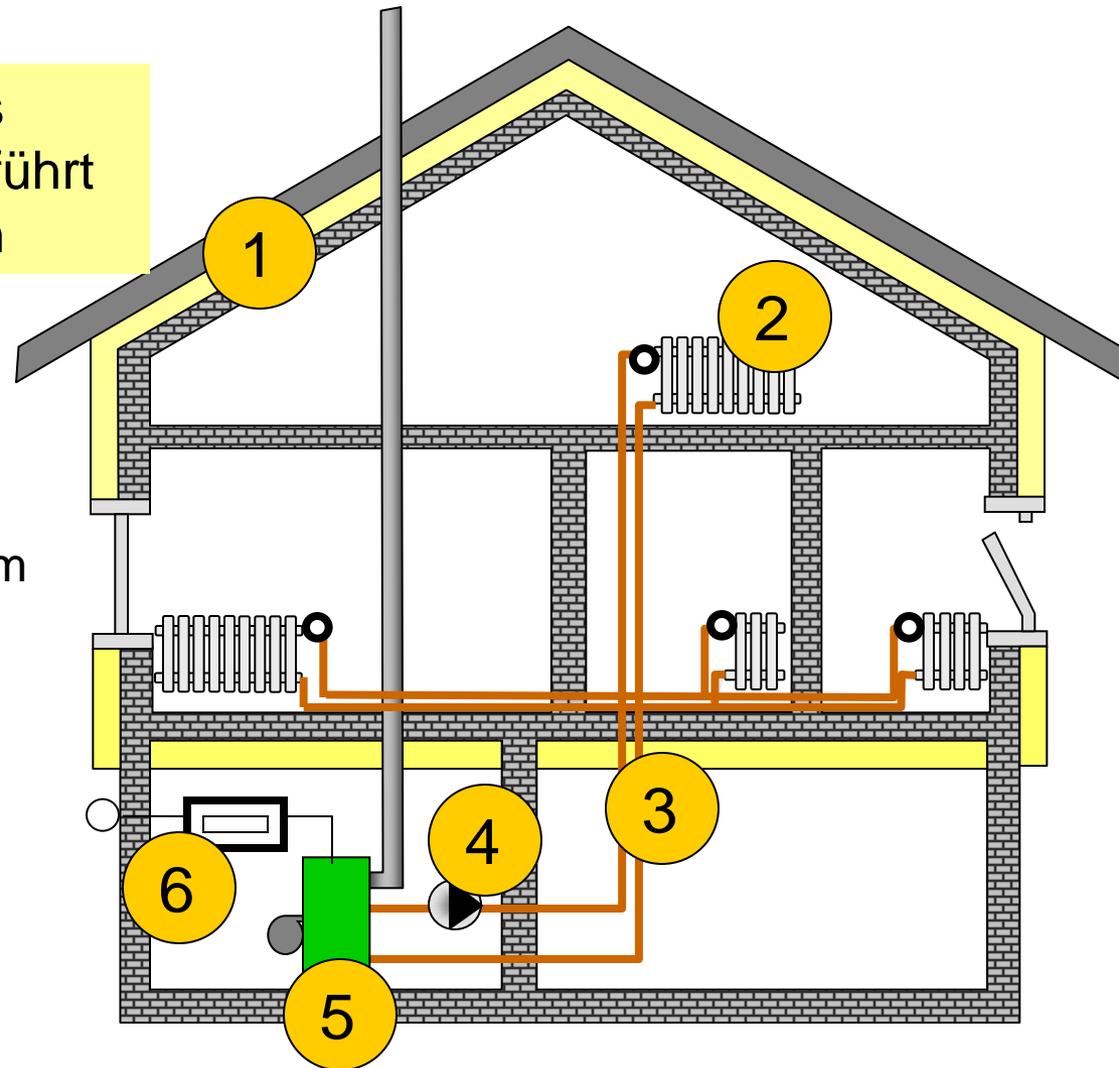
**Wiederholung,  
Grundlagen,  
Kennwerte**

## Früher: Anlagenauslegung vor 30 Jahren

## Heute: "Plug & Play"

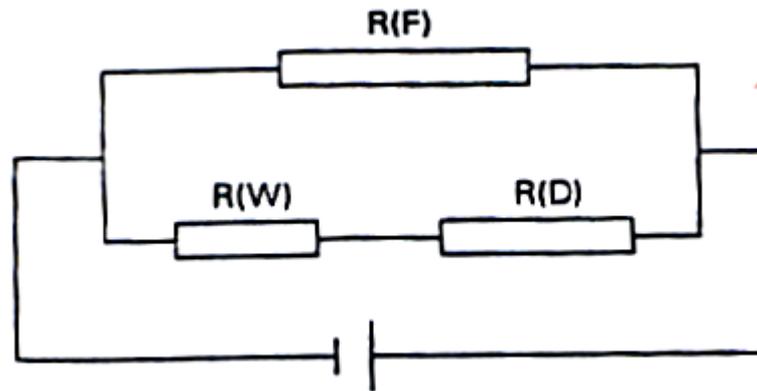
... so wird es gelehrt, so wurde es  
auch früher mit Erfolg durchgeführt  
und so muss es wieder werden

1. Heizlastermittlung (DIN 12831)
2. früher Heizkörperauslegung mit 90/70 °C einheitlich
3. Rohrnetzberechnung mit 100 Pa/m, Ventilautorität 0,5 am ungünstigsten Heizkörper,  $X_P = 2$  K für die TH-Ventile
4. Angepasste Auslegung der Pumpe
5. Kessel passend zum Gebäude ohne oder mit geringem hydraulischen Widerstand
6. Einstellung der Heizkurve gemäß Heizkörperauslegung



## Analogien (1):

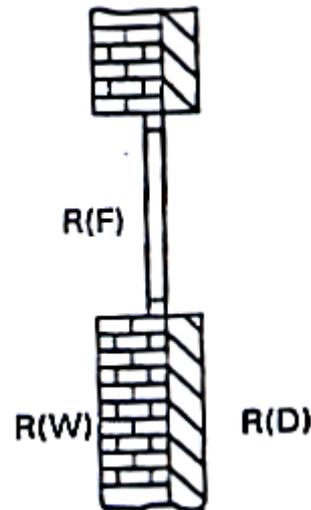
### Elektrotechnik



$$U = R \cdot I$$

## Analogien (2):

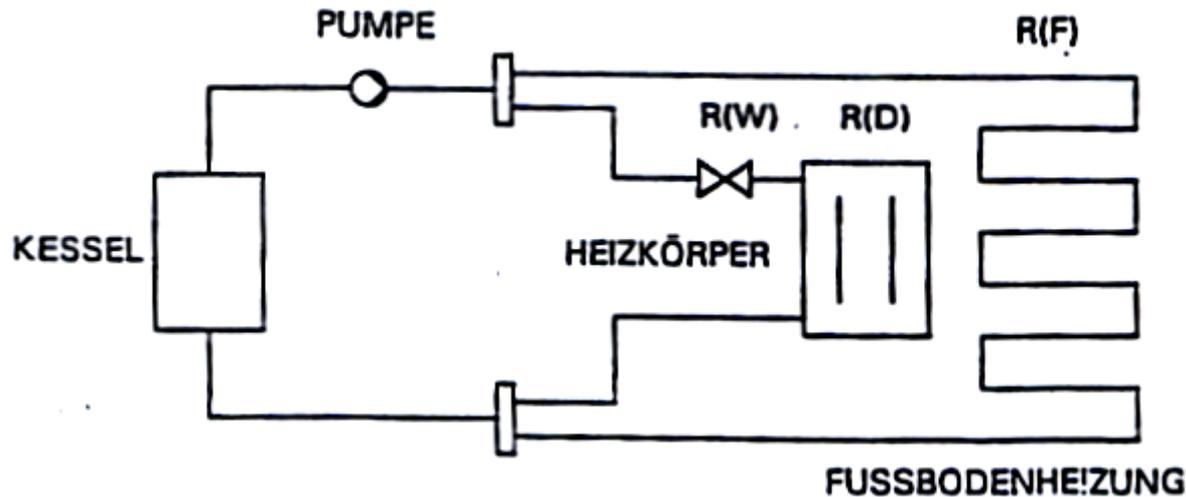
### Wärmetechnik



$$\Delta\vartheta = \frac{1}{U \cdot A} \cdot \dot{Q}$$

## Analogien (3):

### Hydraulik



$$\Delta p = C \cdot V^2$$

Exkurs: Was versteht man unter Druck und unter Druckverlusten?

## Bernoulli – Gleichung für reibungsbehaftete Flüssigkeiten

Kraft pro Fläche oder besser: **Energie pro Volumeneinheit**

$$\rho \cdot g \cdot h_1 + p_1 + \frac{\rho \cdot w_1^2}{2} + \Delta p_P = \rho \cdot g \cdot h_2 + p_2 + \frac{\rho \cdot w_2^2}{2} + \Delta p_{v1-2}$$

## Druckverlust von Rohrstrecke und Einzelwiderstand:

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2 + \sum_{i=1}^n \zeta_i \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w_i^2$$

Mit

$$R = \frac{\Delta p}{l} = \lambda \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2 \quad \text{und} \quad Z = \sum_{i=1}^n \zeta_i \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w_i^2$$

folgt

$$\Delta p = R \cdot l + \sum Z$$

## Stoffkennzahlen zum Merken

- Produkt aus Dichte und Wärmekapazität
- wird benötigt für wärmetechnische Berechnungen

$$\rho \cdot c_p$$

Luft (üblicher Temperaturbereich im Gebäude):

$$\rho \cdot c_p = 0,34 \text{ Wh}/(\text{m}^3\text{K})$$

Wasser (üblicher Temperaturbereich in der Versorgungstechnik):

$$\rho \cdot c_p = 1,163 \text{ kWh}/(\text{m}^3\text{K})$$

## Der Hydraulische Widerstand – (Reihen- und Parallelschaltung)

- Der hydraulische Widerstand ist der Quotient aus Druckverlust und dem Quadrat des Volumenstroms
- Der hydraulische Widerstand ist ein Maß für die Abhängigkeit von Druckverlust und Volumenstrom in einem Rohrnetz
- großer Widerstand bedeutet:
  - geringer Durchfluss bei gegebenem Differenzdruck oder
  - hoher Druckverlust bei gegebenem Volumenstrom

$$C = \frac{\Delta p}{\dot{V}^2}$$

$$\Delta p = C \cdot \dot{V}^2$$

**Merke:** Der Druckverlust hängt quadratisch vom Volumenstrom ab!

## Der Hydraulische Widerstand:

Die hydraulische Leistung einer Rohrstrecke berechnet sich nach:

$$P_{\text{Hydr}} = (R \cdot l + \sum Z) \cdot \dot{V}$$

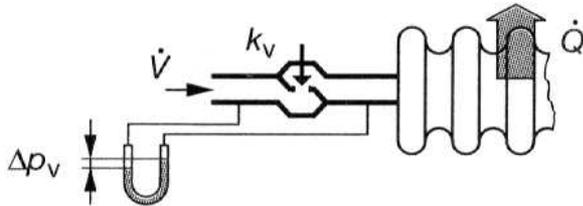
Der hydraulische Widerstand ist der Quotient aus Druckverlust und dem Quadrat des Volumenstroms:

$$C = \frac{\Delta p}{\dot{V}^2}$$

Berechnet man die hydraulische Leistung über den hydraulischen Widerstand, folgt:

$$P_{\text{Hydr}} = C \cdot \dot{V}^3$$

## Ventilkennwert (Durchlasswert - Beispiel) und hydraulischer Widerstand von Stellventilen - Ventilautorität



Der  $k_v$ -Wert gibt den  
Volumenstrom in  $\text{m}^3/\text{h}$  bei einem  
Druckverlust im Ventil von 1 bar  
(= 100000 Pa) an.

- hydraulischer  
Widerstand  
für Stellventile:

$$C = \frac{1\text{bar}}{k_v^2}$$

$$k_v = \dot{V} \cdot \sqrt{\frac{1\text{bar}}{\Delta p_v}}$$

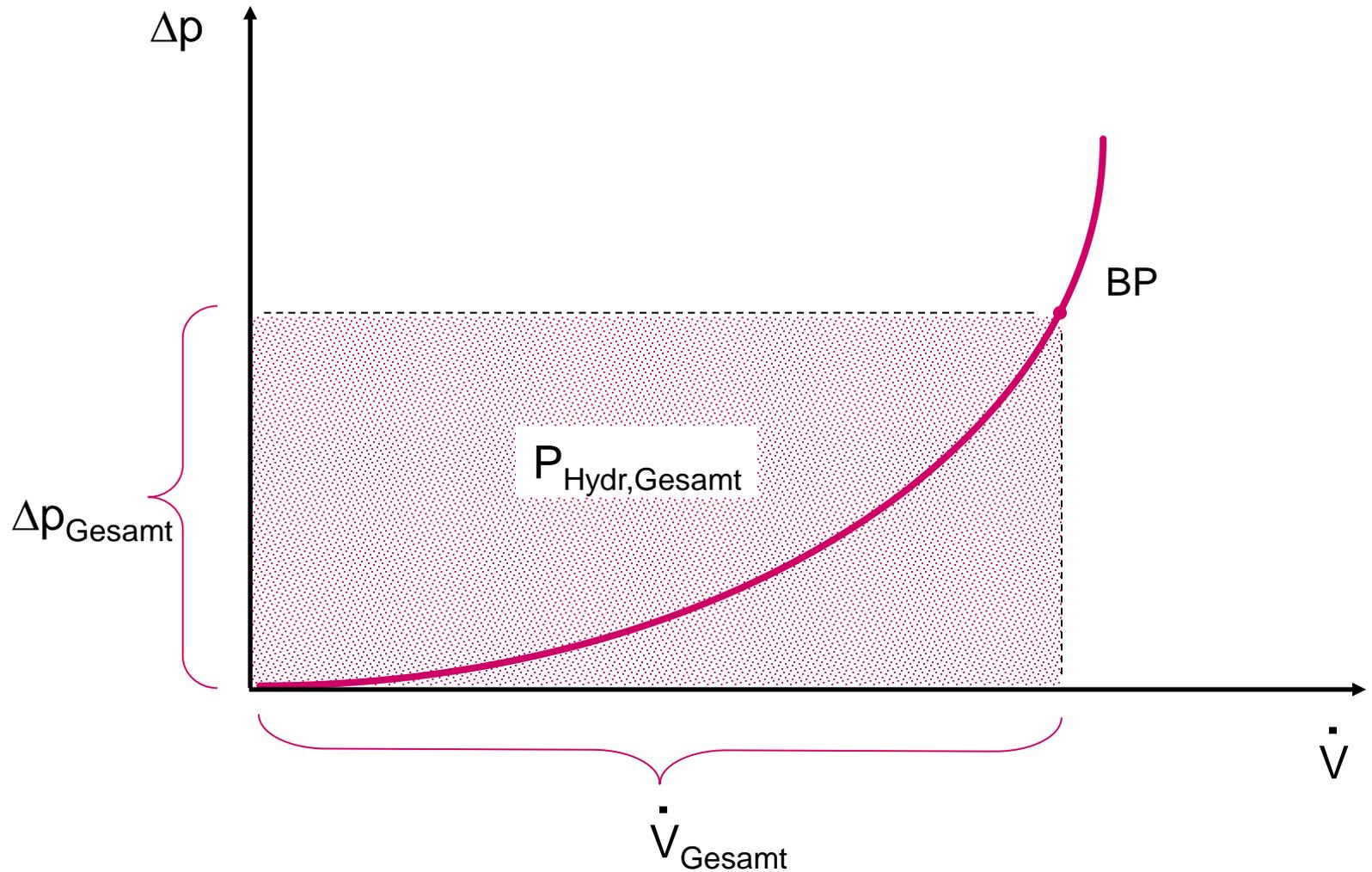
### Merke:

Der  $k_v$ -Wert wird vom Hersteller  
gemessen und ist ein Produktwert.

Liegt an einem Ventil ein geringerer  
Differenzdruck an, fließt ein geringerer  
Volumenstrom ( $k_v$  ist gleich!)

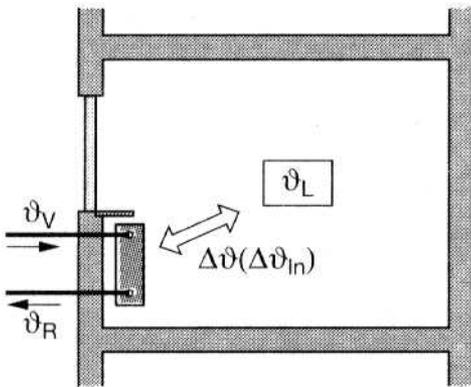
Oder: fließt durch ein Ventil ein  
geringerer Volumenstrom als auf dem  
Prüfstand, fallen weniger als 100.000  
Pa Druck ab ( $k_v$  ist gleich!)

## Anlagenkennlinie und hydraulische Leistung



## Wärmeübertragerkennlinie - Heizkörperverhalten

### Übertemperatur zwischen Heizkörper und Raum



Arithmetische Mittelung:

$$\Delta\vartheta = \frac{\vartheta_V + \vartheta_R}{2} - \vartheta_L$$

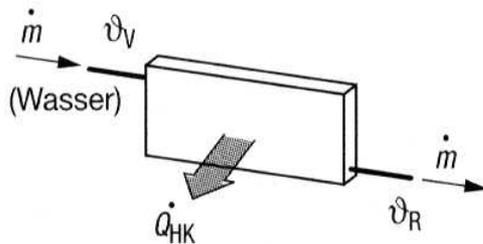
Logarithmische Mittelung:

$$\Delta\vartheta_{ln} = \frac{\vartheta_V - \vartheta_R}{\ln \frac{\vartheta_V - \vartheta_L}{\vartheta_R - \vartheta_L}}$$

$\Delta\vartheta$  : arithmetisch gemittelte  
Übertemperatur in K  
 $\vartheta_V$  : Vorlauftemperatur in °C  
 $\vartheta_R$  : Rücklauftemperatur in °C  
 $\vartheta_L$  : Bezugslufttemperatur in °C  
 $\Delta\vartheta_{ln}$ : logarithmisch gemittelte  
Übertemperatur in K

1. Gleichung:

Massenstrom des Heizmittels



Heizkörpergleichungen

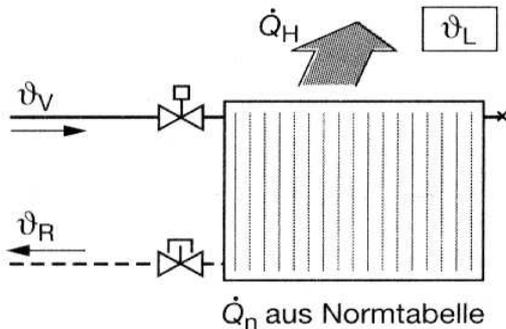
$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_{HK}}{c \cdot \Delta\vartheta}$$

$$\Delta\vartheta = \vartheta_V - \vartheta_R$$

- $\dot{m}$  : Massenstrom des Heizmittels in kg/h
- $\dot{Q}_{HK}$  : Wärmeleistung der Heizfläche in W
- $c$  : spezif. Wärmekapazität Wasser in Wh/(kg · K) ( $c = 1,163$  Wh/kg · K)
- $\Delta\vartheta$  : Temperaturunterschied zwischen Vor- und Rücklauf in K (= Temperaturspreizung)

2. Gleichung:

Heizkörperauslegung nach DIN EN 442



$$\dot{Q}_n = \left( \frac{\dot{Q}_H}{\Delta\vartheta_{ln,n}} \right)^n$$

Normbedingungen:

- $\vartheta_V = 75^\circ\text{C}$
- $\vartheta_R = 65^\circ\text{C}$
- $\vartheta_L = 20^\circ\text{C}$
- $\Delta\vartheta_{ln,n} = 49,83$  K

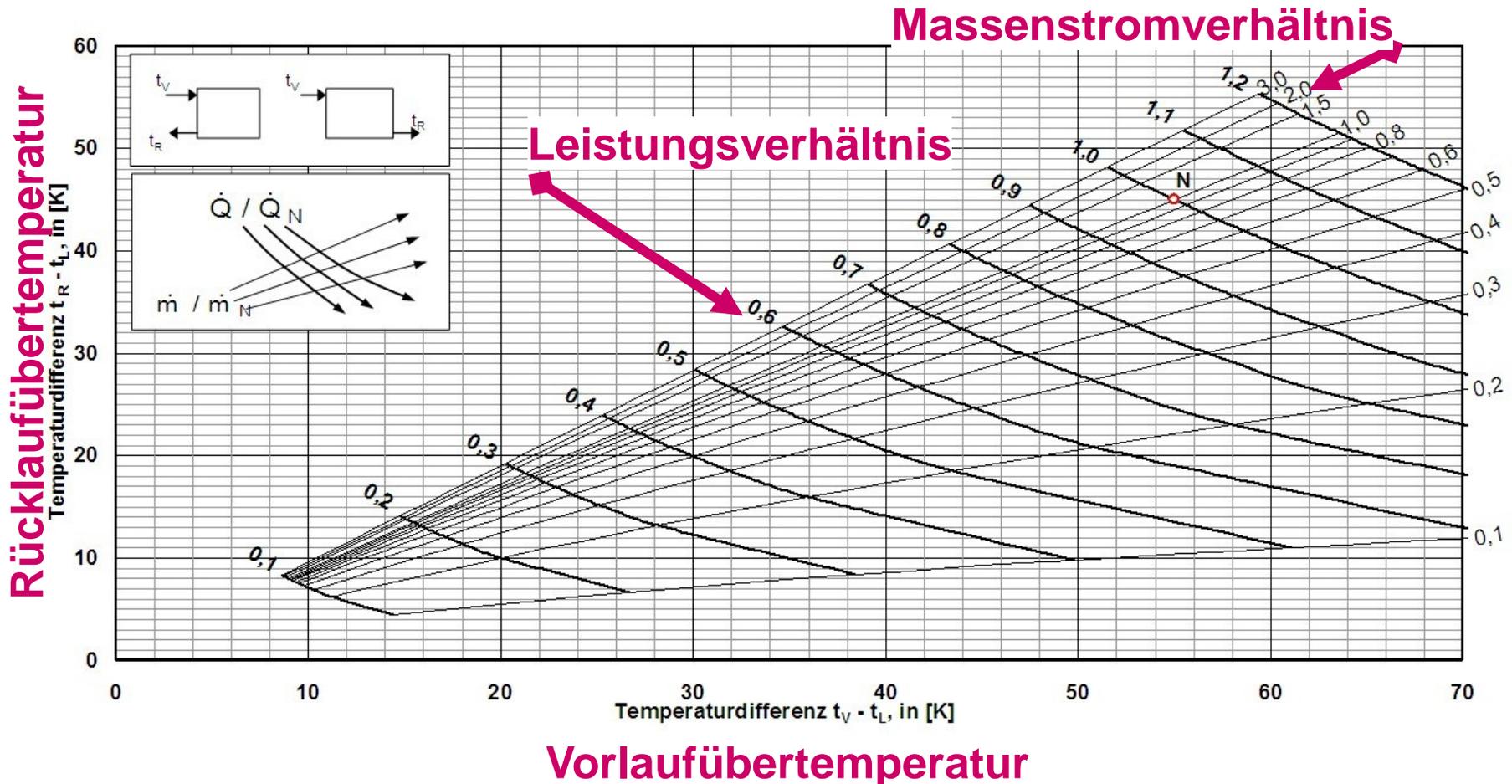
- $\dot{Q}_n$  : Normwärmeleistung in W (→ Normtabelle)
- $\dot{Q}_H$  : Auslegungs-Wärmeleistung in W
- $\Delta\vartheta_{ln}$ : logarithmisch gemittelte Übertemperatur in K
- $\Delta\vartheta_{ln,n}$ : logarithmisch gemittelte Übertemperatur bei Normbedingungen in K
- $n$  : Heizkörperexponent (→ Herstellerangaben)

# Heizkörperdiagramm

Auslegungsdiagramm für Heizkörper

$\dot{Q} / \dot{Q}_N$  ——— (dicke Linie)  
 $\dot{m} / \dot{m}_N$  ——— (dünne Linie)

Heizkörperexponent n: 1,3  
 Normauslegung: 75 / 65 / 20 °C



## Frage

Ein Heizkörper hat nach Hersteller bei 75/65/20 °C eine Leistung von 1000 W.

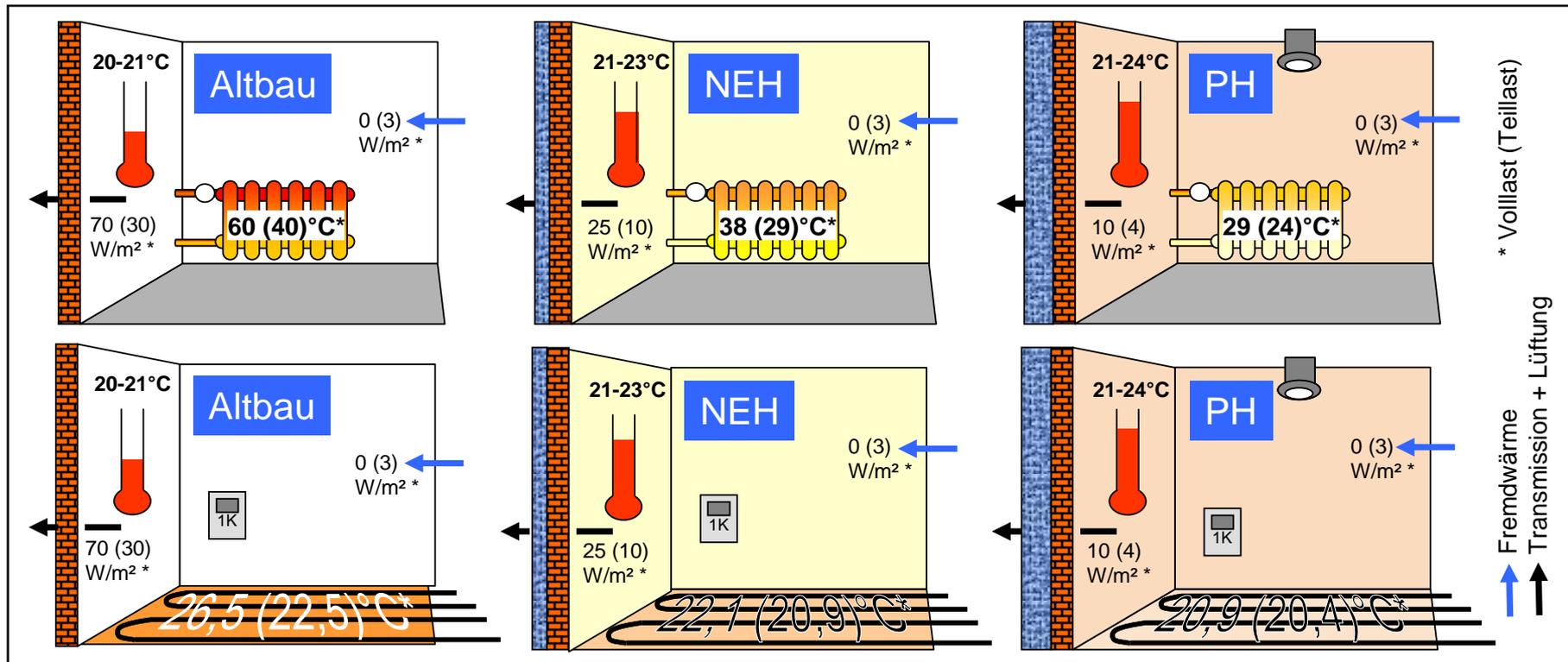
- a) Welcher Volumenstrom muss bei diesem Heizkörper im Katalog stehen? Rechnen Sie mit 1,163 kWh/(m<sup>3</sup>K)!

Der Heizkörper soll in einem Raum installiert werden, in dem nur 600 W Wärmeleistung gebraucht werden. Die Vorlauftemperatur beträgt auch nur 60 °C.

- b) Wie groß ist das „Leistungsverhältnis“?  
c) Wie hoch ist die Rücklauftemperatur?  
d) Wie groß ist das „Massenstromverhältnis“?  
e) Wieviel Heizwasser fließt nun?

## Regelbarkeit der Wärmeübergabe:

Sind beibehaltene Heizkörper oder Fußbodenheizungen bei geringen Heizlasten überhaupt noch vernünftig stetig regelbar?



## ***Problematik Fußbodenheizungen in EnEV-Gebäuden***

***Heizlast typisch: 20 – 30 W/m<sup>2</sup> - Anteil innerer und solarer Quellen hoch***

***Trägheit führt zu Verschwendung: 10 – 20 kWh/(m<sup>2</sup> a)***

***(„Un“)Regelbarkeit führt zu Verschwendung: 10 – 20 kWh/(m<sup>2</sup> a)***

***Anteilige Verluste nach unten nehmen mit sinkenden Heizwassertemperaturen zu! Ungeregelte Wärmeabgabe an beheizte / unbeheizte Räume oder ans Erdreich***

***Auszug: Altbaumodernisierung mit Passivhauskomponenten  
Univ.- Prof. Dr. Feist - Darmstadt 2009***

***6.4.2 Flächenheizsysteme***

*Flächenheizsysteme werden häufig aufgrund ihres hohen Strahlungsanteils bevorzugt. In konventionellen Gebäude hat dies seine Berechtigung, nicht mehr jedoch im Passivhaus, im Gegenteil. Ein **Fußbodenheizsystem** ist aufgrund der große Masse sehr träge, und führt daher dazu, dass in der Übergangszeit Räume (durch die solare Einstrahlung über die Fenster) überheizt werden. Diese Überschusswärme wird dann hinausgelüftet, da z.B. der Fußboden als Wärmespeicher nicht zur Verfügung steht; letztlich wird der Energieverbrauch dadurch erhöht.*

## Gedankenmodell Fußbodenheizung

*Zum Verständnis werde folgendes Modell durchgespielt: in einem Niedrigenergiegebäude mit konventioneller, d.h. träger Fußbodenheizung und raumhohen Fenstern in Südost-Richtung tritt ein so hoher Fremdwärme-gewinn durch Sonneneinstrahlung und innere Wärmequellen auf, dass in 50% der Heizperiode, d.h. an ca. 120 Tagen, der 6 cm dicke Heizestrich morgens im Mittel um ca. 3 K über der Rauminnentemperatur aufgeheizt wurde, obwohl keine Wärmezufuhr erforderlich war. Bestimmen Sie das „Verschwendungspotenzial“ dieses Heizflächensystems in kWh/(m<sup>2</sup> a). Stoffwerte für den Heizestrich: Dichte: 2000 kg/m<sup>3</sup>, Spezifische Wärme-kapazität: 1,2 kJ/(kg K).*

**Ergebnis: Verschwendungspotenzial: 14,4 kWh/(m<sup>2</sup> a)**

betrieben werden können. Zum anderen hängt die Effizienz stark von den benötigten Vorlauftemperaturen der Heizflächen ab. Während herkömmliche Heizkörper je nach Gebäudedämmung Temperaturen von circa 65 Grad Celsius erfordern, reichen für Niedertemperaturheizkörper Temperaturen von 45 Grad Celsius aus. Die Auswirkung dieses Temperatureffekts kann beispielhaft für ein Einfamilienhaus mit 160 m<sup>2</sup> Wohnfläche simuliert werden (Abbildung 47): Als Bestandsgebäude mit einem Baualter vor 1978 hat dieses Gebäude im unsanierten Zustand einen Heizwärmebedarf von 188 Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr (kWh/(m<sup>2</sup>\*a)), herkömmliche Heizkörper und im Fall der Luftwärmepumpe eine Jahresarbeitszahl von 2,1. Werden dann im Zuge einer Teilsanierung Fenster und Dach saniert, verringert sich der Heizwärmebedarf auf 145 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) und die Jahresarbeitszahl steigt auf 2,2. Werden zusätzlich die Heizkörper durch Niedertemperaturradiatoren ersetzt, erhöht sie sich auf 3,4. Die Dämmung der Fassade (das heißt Sanierung nach EnEV 2009) reduziert dann zwar den Heizwärmebedarf weiter auf 89 kWh/(m<sup>2</sup>\*a), erhöht die Effizienz der Wärmepumpe aber nur noch geringfügig auf 3,6.

L/W-WP:

65°C - 2,1...2,2

45°C - 3,4...3,6

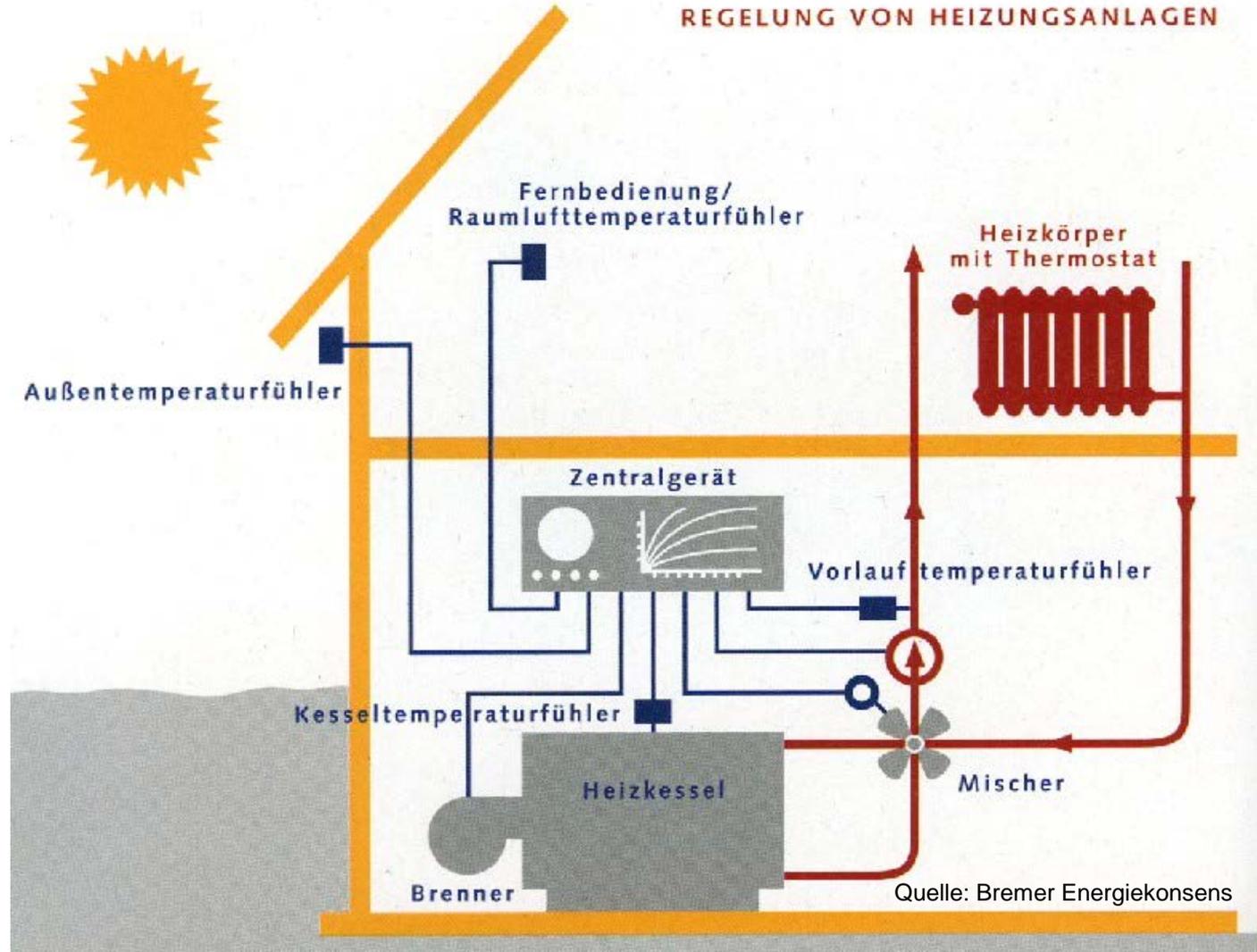
## AGORA – Wärmewende 2030 - 02/2017 – Anhang 7.2 – Einsatz von Niedertemperaturheizkörpern im Bestand

## Empfehlungen zu Heizkörpern, Flächenheizung und Luftheizung

- Konvektoren: mit niedrigen Vorlauftemperaturen sind Konvektoren ohne Einsatz von Gebläsen praktisch nicht regelbar (Verkleinerung der Leistung ist dann nur durch Abschaltung von Konvektoren möglich!)
- alle Flächenheizungen: in hochwärmegedämmten Gebäuden kaum regelbar (wegen der geringen Übertemperatur) 1 K Übertemperatur entspricht  $10 \text{ W/m}^2$  - zusätzlich Vorsicht bei massereichen/trägen Heizsystemen im Niedrigstenergiebau, v. a. im Zusammenhang mit großen Fensterflächen (Estrich-Fußbodenheizung oder Betonkernaktivierung) Zeitkonstanten der Gebäude: 200 – 400 h, Flächenheizsystem: 20 – 40 h
- Heizkörper: durch Auswahl der Auslegungstemperaturen, z. B.  $45/35^\circ\text{C}$  gute Anpassung an wechselnde Lastanforderungen möglich
- Luftheizung PH:  $1 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$  in Wohngebäuden:  $0,34 \text{ W/m}^2$  je 1K Zulufttemperaturerhöhung,  $15 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$  in Schulen  $5,1 \text{ W/m}^2$  je 1 K ZLTE

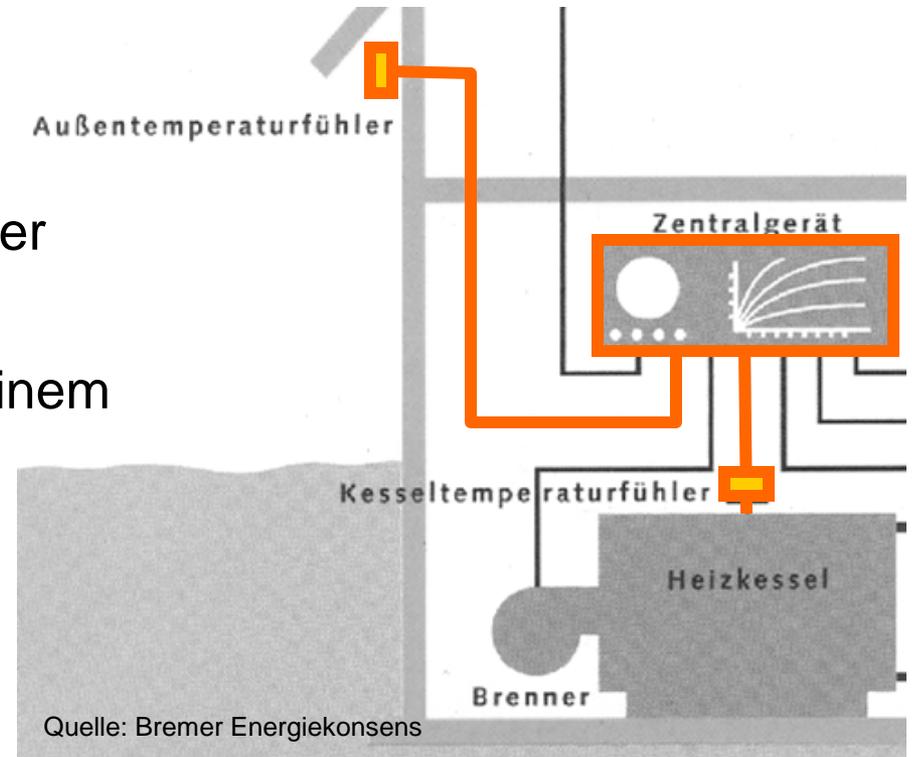
# Wiederholung Regelung - Hydraulik

## Steuerung, Regelung, Hydraulik



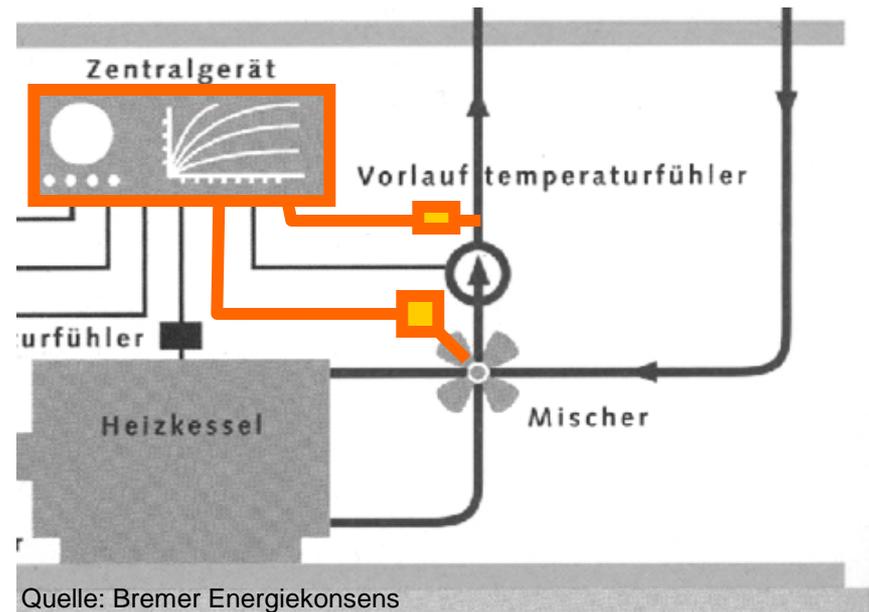
## ... Steuerung

- offener Wirkungsablauf in einer Steuerungsstrecke
- ein Eingangssignal führt zu einem Ausgangssignal
- elektrische, mechanische, hydraulische Umwandlung



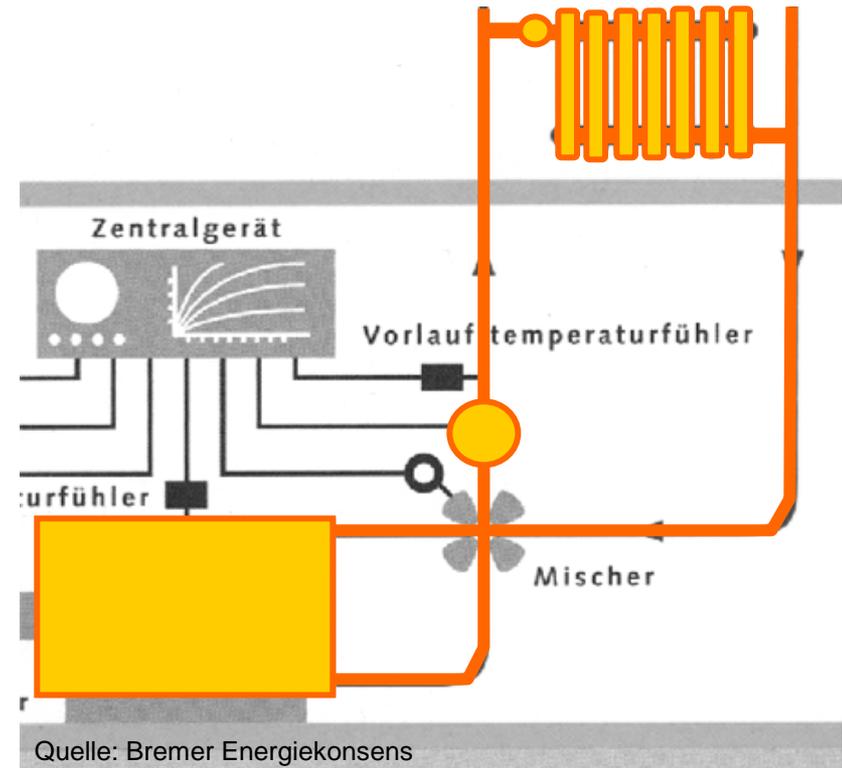
## ... Regelung

- geschlossener Wirkungsablauf in einem Regelkreis
- eine Regelgröße (X) soll auf einem Sollwert (W) gehalten werden
- dazu wird eine Stellgröße (Y) verändert
- das System wird von Störgrößen (Z) immer wieder beeinflusst



## ... Hydraulik

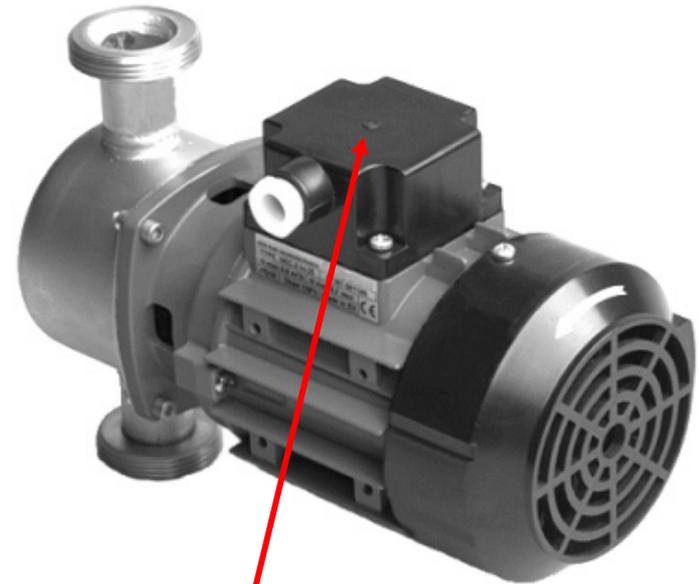
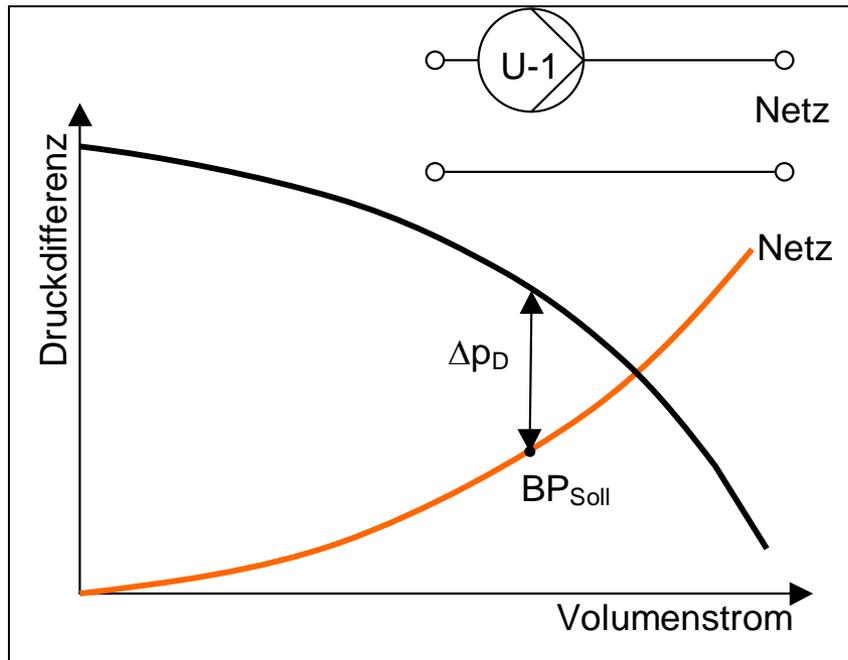
- die "Lehre von den fließenden Medien"
- umfasst alle Probleme und Fragen, die mit dem in der Heizungsanlage fließenden Heizungswasser zu tun haben □
- ein Beispiel für ein hydraulisches Problem ist der hydraulische Abgleich



# Pumpen

## Einstufige ungeregelte Pumpe

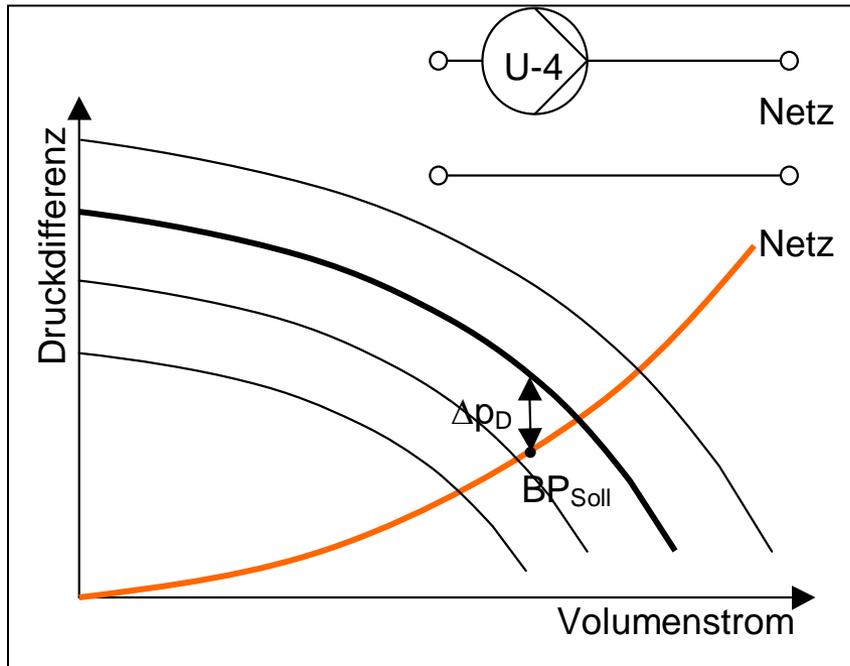
Der gegebene Druck ist meist größer als der benötigte:



nicht einstellbar  
(einfacher Anschlusskasten)

## Mehrstufige ungerregelte Pumpe

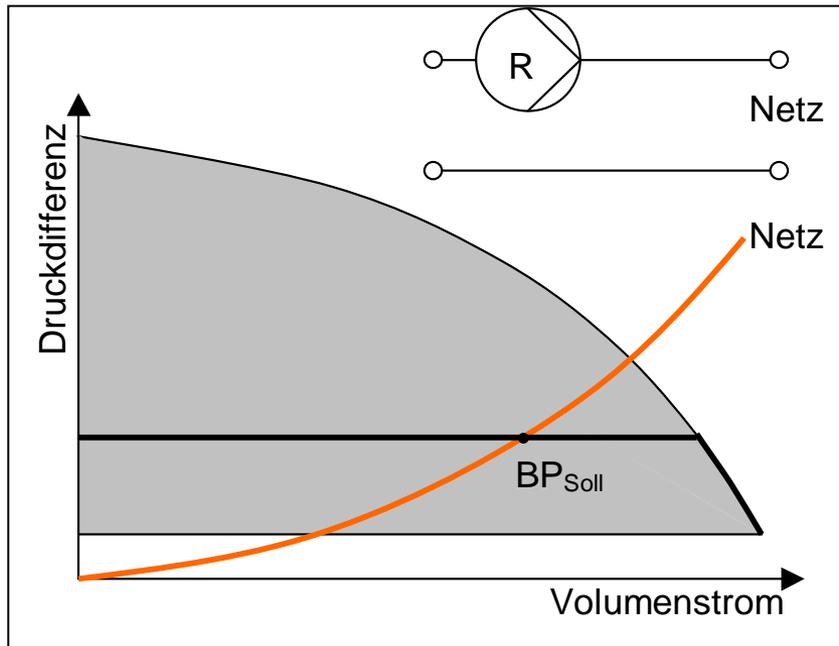
Der gegebene Druck ist meist größer als der benötigte:



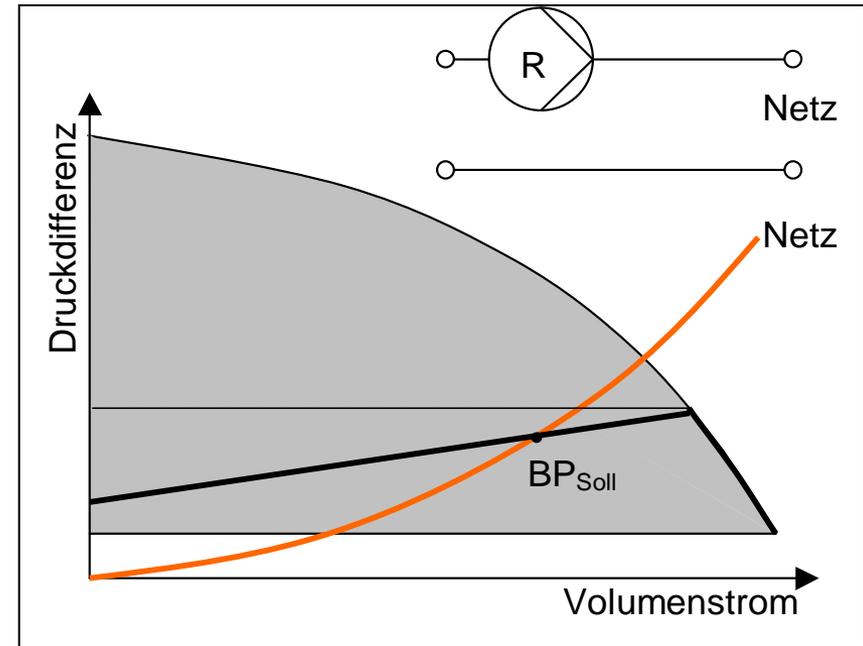
## Geregelte Pumpen (konstant oder variable Druckdifferenz als Soll?)

Kommt eine Regelpumpe zum Einsatz, kann der Druck konstant oder variabel geregelt werden. In beiden Fällen ist eine genaue Einstellung des benötigten Drucks möglich.

regelbare Pumpe,  
 $\Delta p$ -Konstant-Regelung



regelbare Pumpe,  
 $\Delta p$ -Variabel-Regelung



# Hydraulische Grundsaltungen

## VDMA-Richtlinie 24199

# Regelarmatur und Anlagenkennlinie – Regelstrecken mit Wärmeübertrager Anpassung Ventilauslegung $a_v$ an Wärmeübertragerkennlinie $a_w$

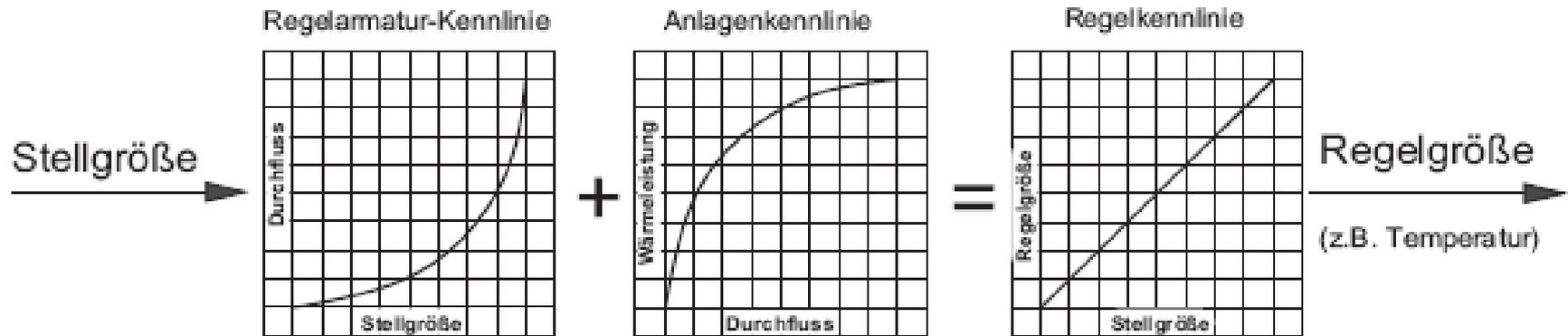


Bild 23 - Zusammenwirken von Regelarmatur- und Anlagenkennlinie

## Stellverhältnis

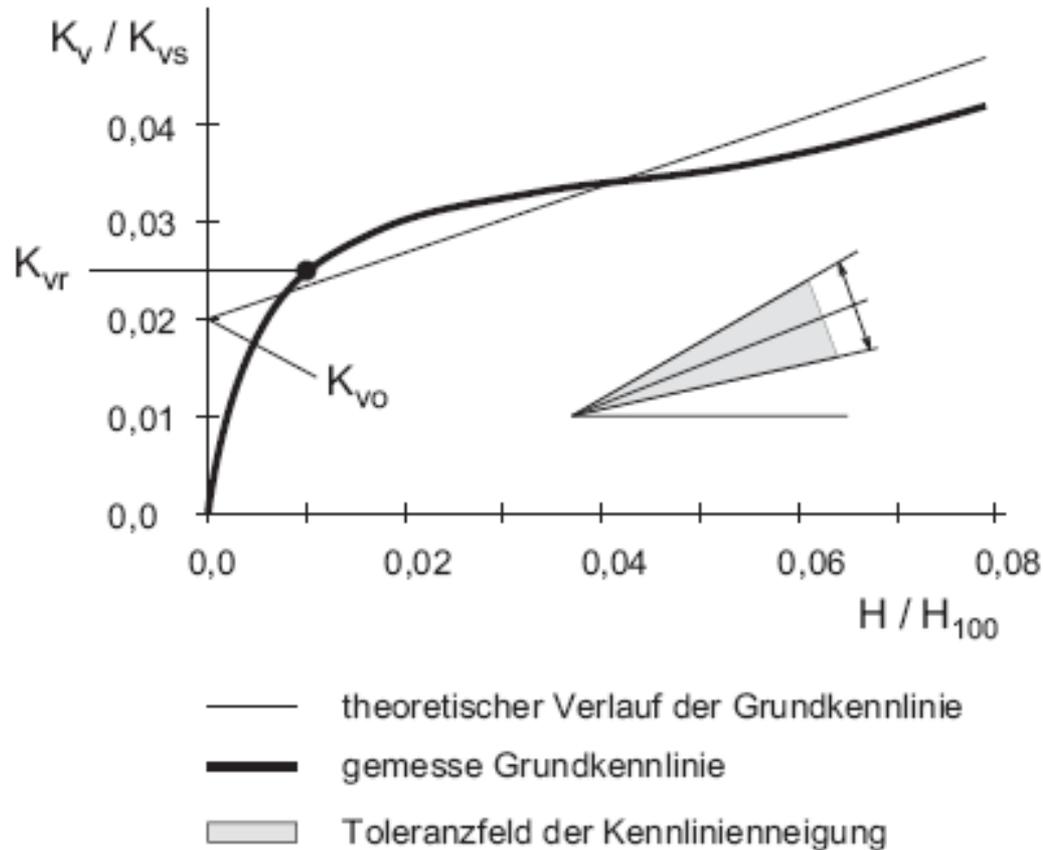


Bild 1 - Darstellung des  $K_{vo}$  -Wertes und des  $K_{vr}$  -Wertes

### 3.20

#### Stellverhältnis $S_v$

Wichtige Kenngröße zur Beurteilung des regelbaren Bereiches eines Stellgliedes.

Man unterscheidet zwischen theoretischem Stellverhältnis  $K_{vs}/K_{vo}$  und praktischem Stellverhältnis  $K_{vs}/K_{vr}$ .

## Kennliniengrundformen

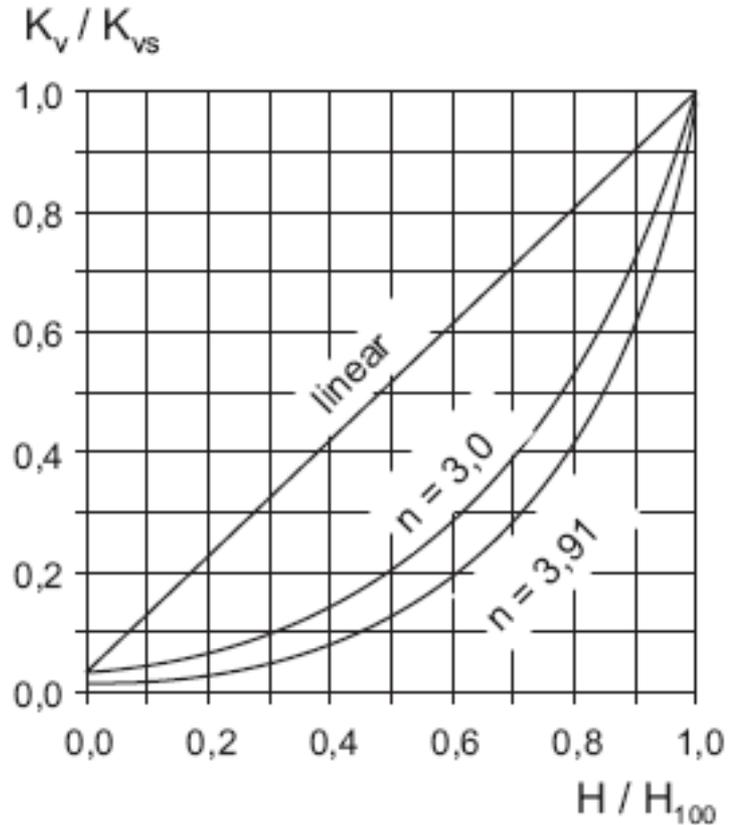


Bild 1 - Lineare und gleichprozentige Kennliniengrundform

## Lineare Grundkennlinie

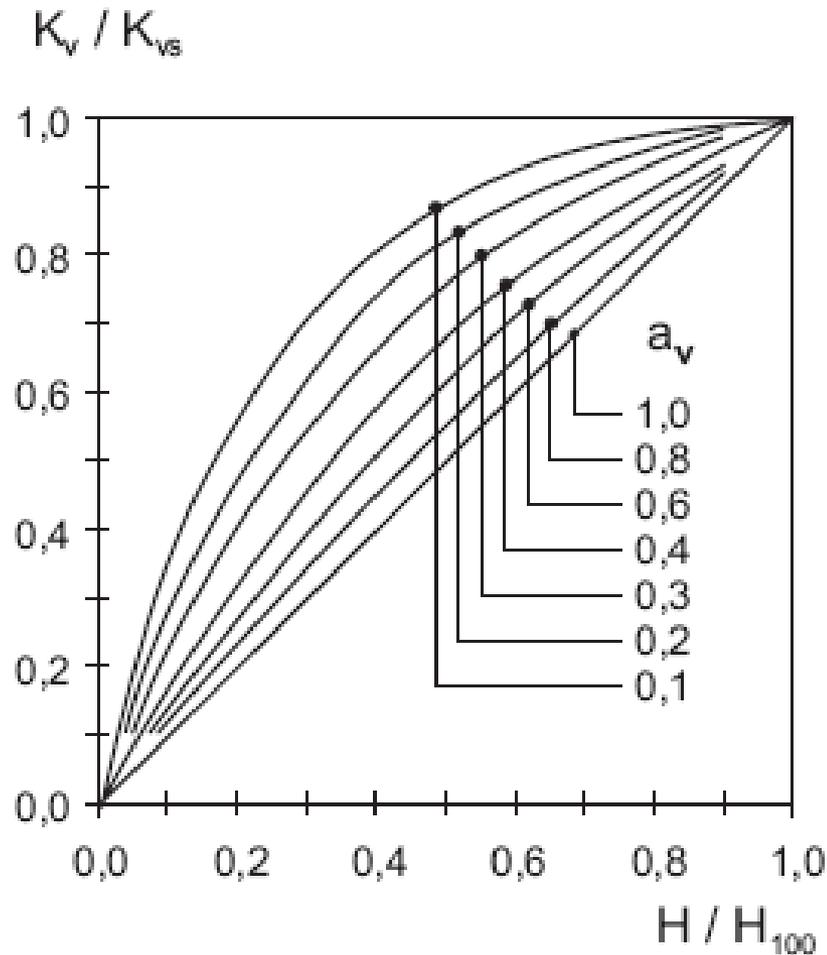


Bild 3 - Betriebskennlinien bei einem Regelventil mit linearer Grundkennlinie

## Gleichprozentige Grundkennlinie

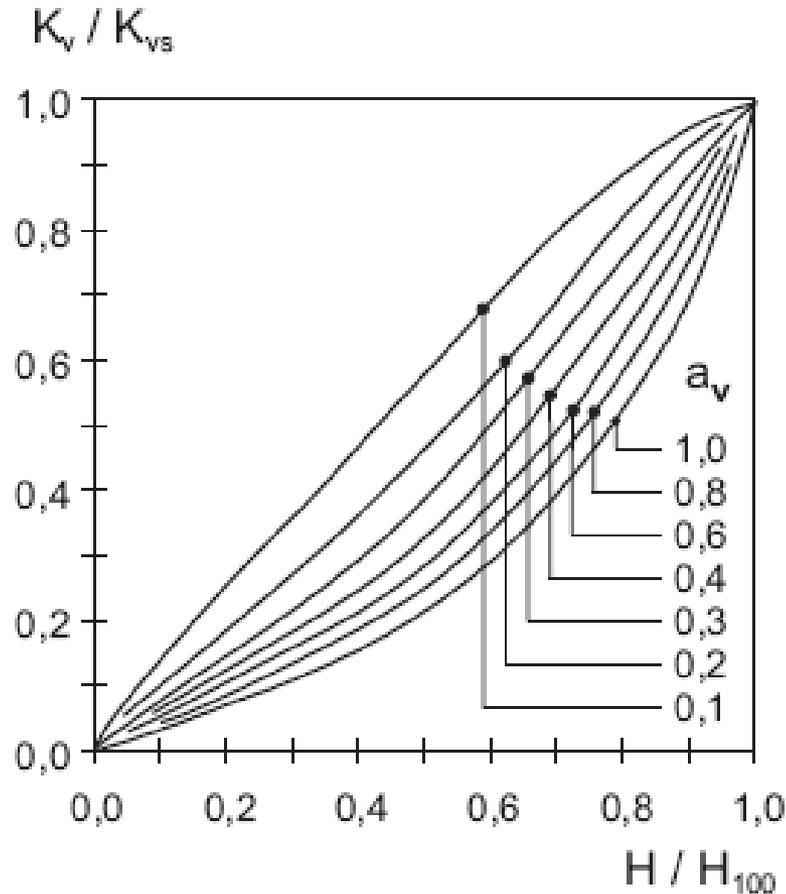


Bild 4 - Betriebskennlinien bei einem Regelventil mit gleichprozentiger Grundkennlinie  
(herstellerspezifisch)

## Beimischschaltung

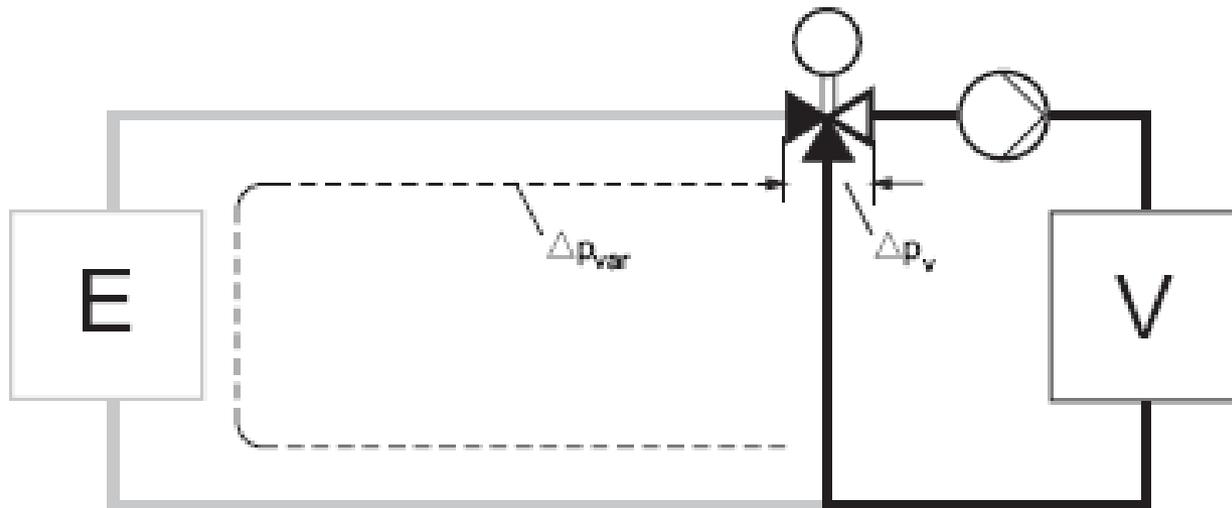


Bild 11 - Beimischschaltung (Variante 1)

## Beimischschaltung - Variante

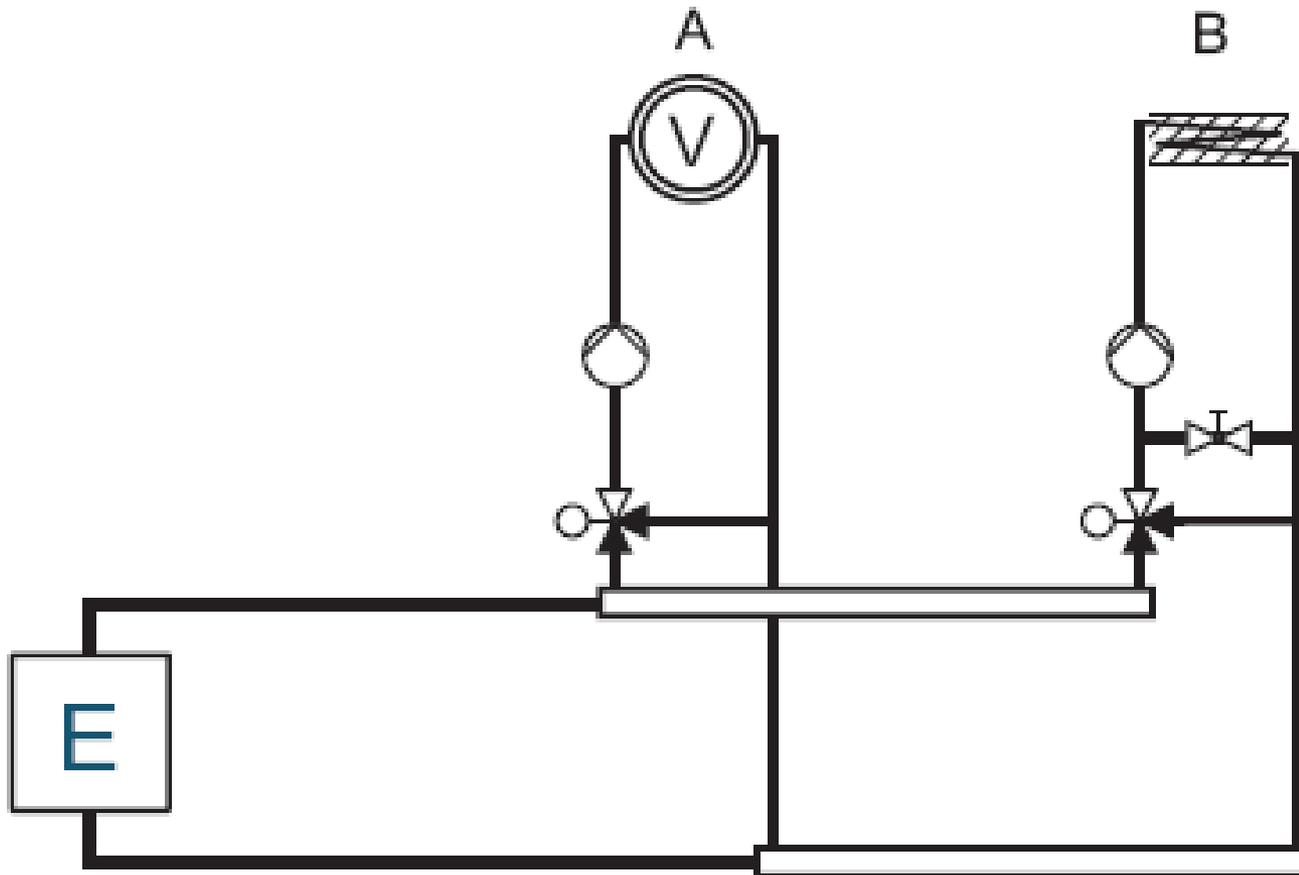


Bild 13 - Kombination aus Variante 1 und Variante 2

## Beimischschaltung mit Entkopplung

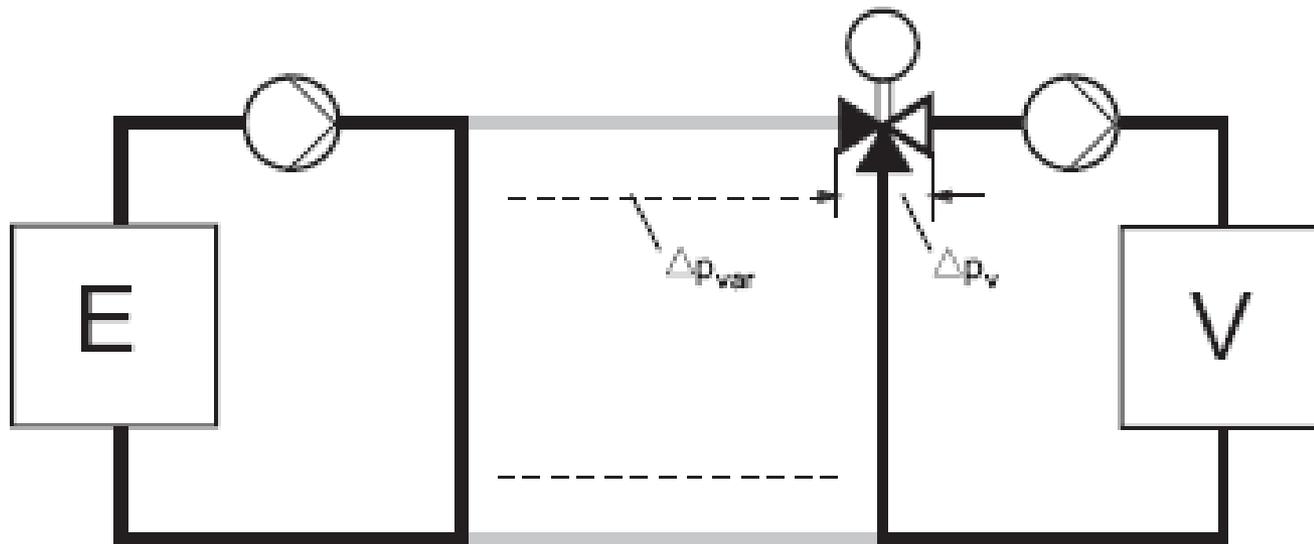


Bild 14 - Beimischschaltung mit Entkopplung (Variante 3)

## Beimischschaltung mit Entkopplung und fester Beimischung

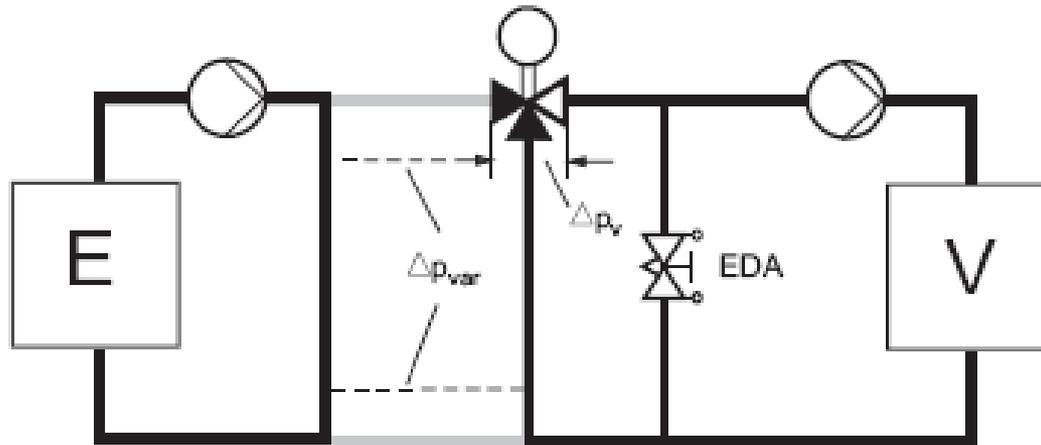


Bild 15 - Beimischschaltung mit Entkopplung und fester Beimischung (Variante 4)

## Umlenkschaltung

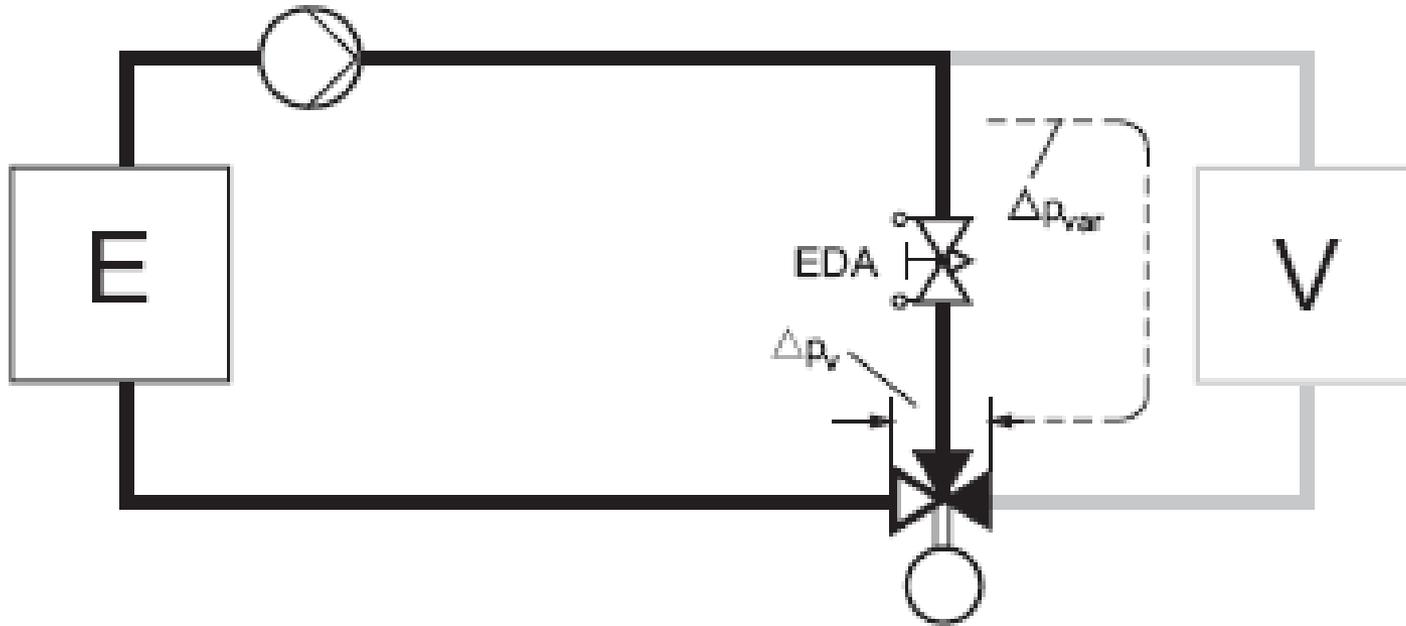


Bild 17 - Umlenkschaltung

## Einspritzschaltung mit differenzdruckbehaftetem Anschluss

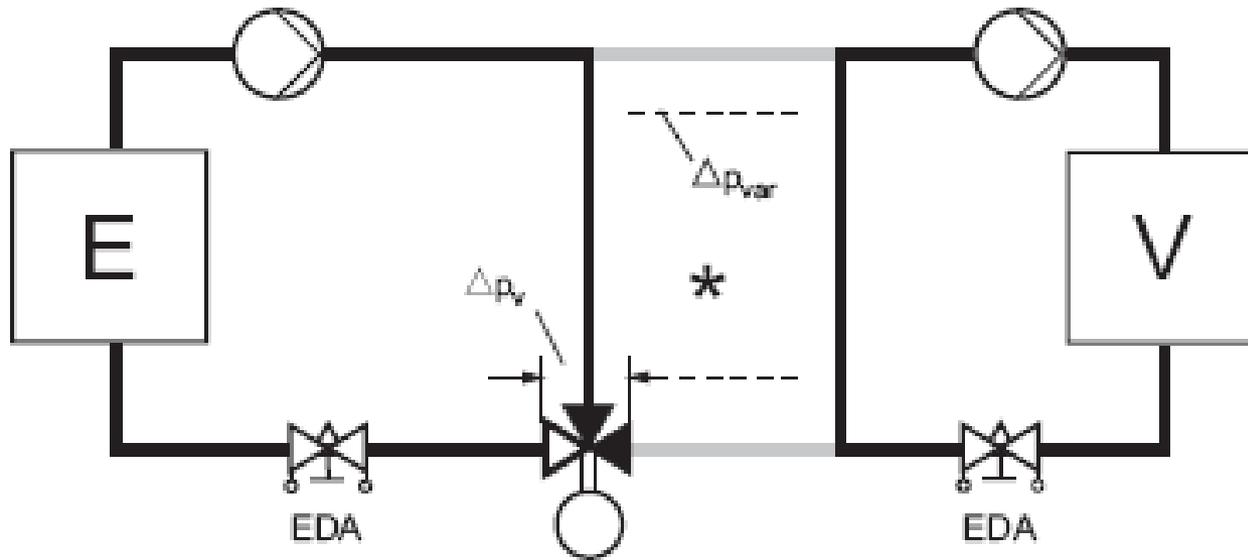


Bild 18 - Einspritzschaltung mit differenzdruckbehaftetem Anschluss

## Umlenk- und Einspritzschaltung

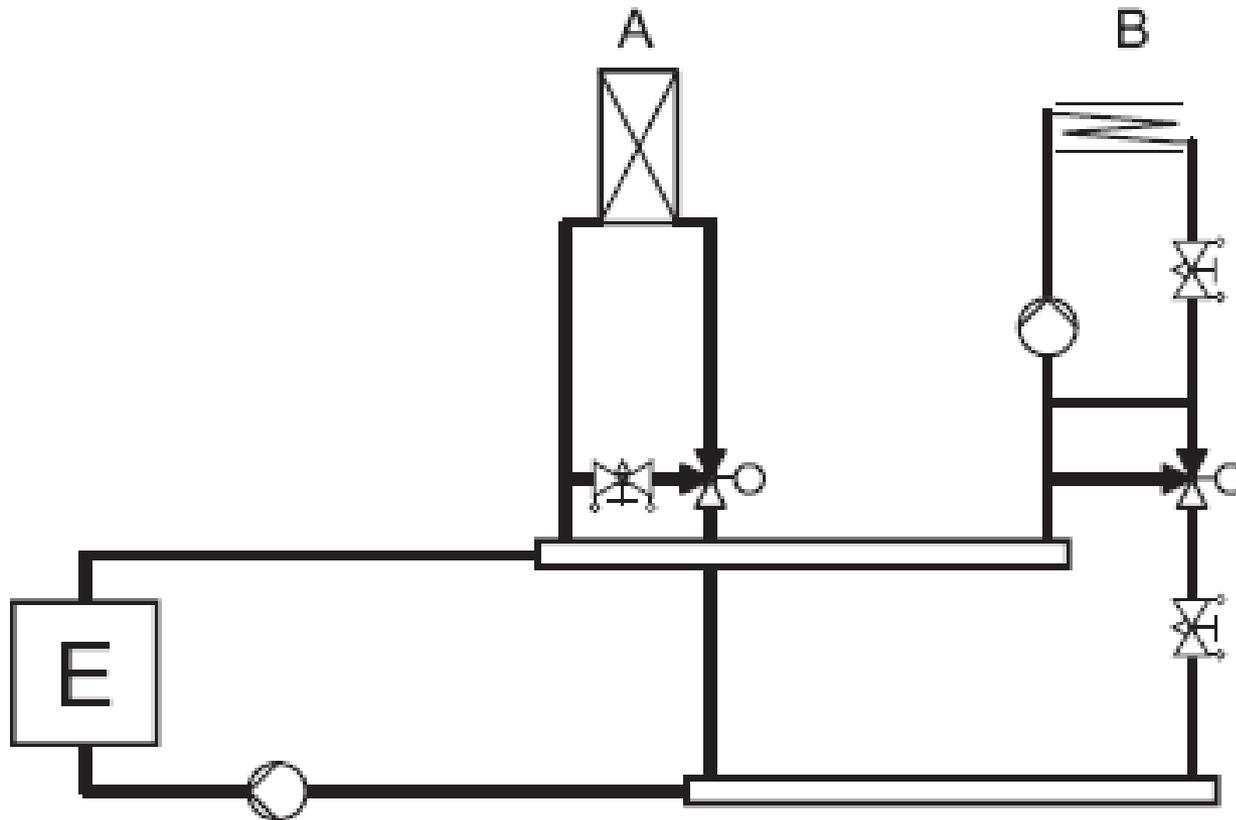


Bild 19 - Kombination aus Umlenk- und Einspritzschaltung

## Einspritzschaltung mit 2-Wege-Regelventil

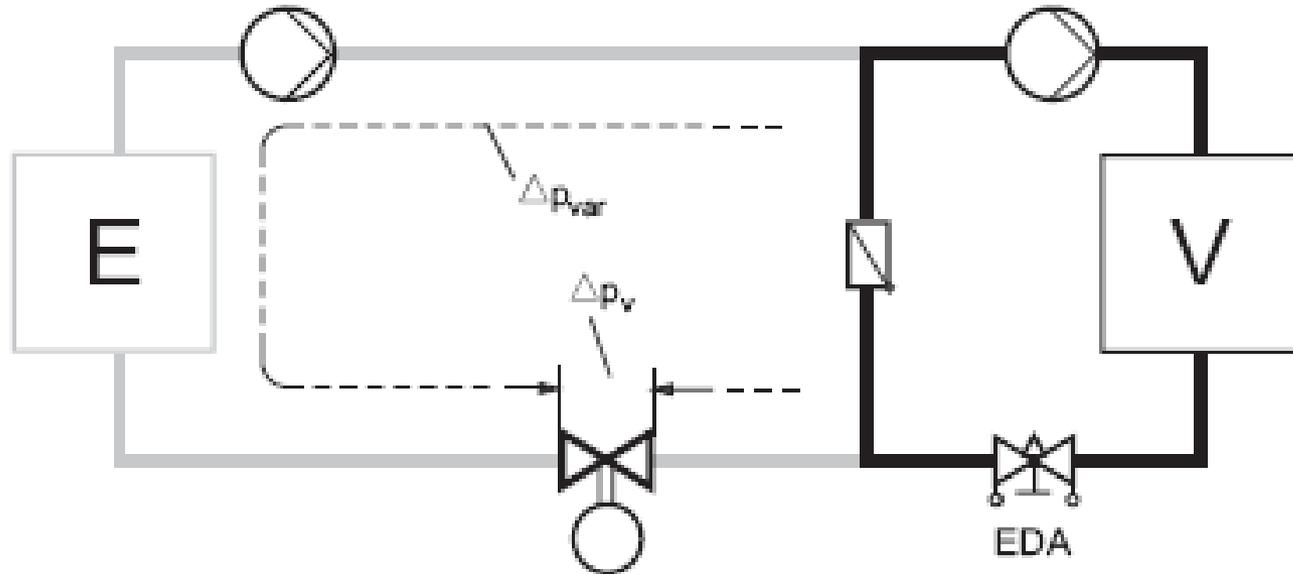


Bild 21 - Einspritzschaltung mit 2-Wege-Regelventil mit regelbarer Pumpe

## Drossel- und Einspritzschaltung

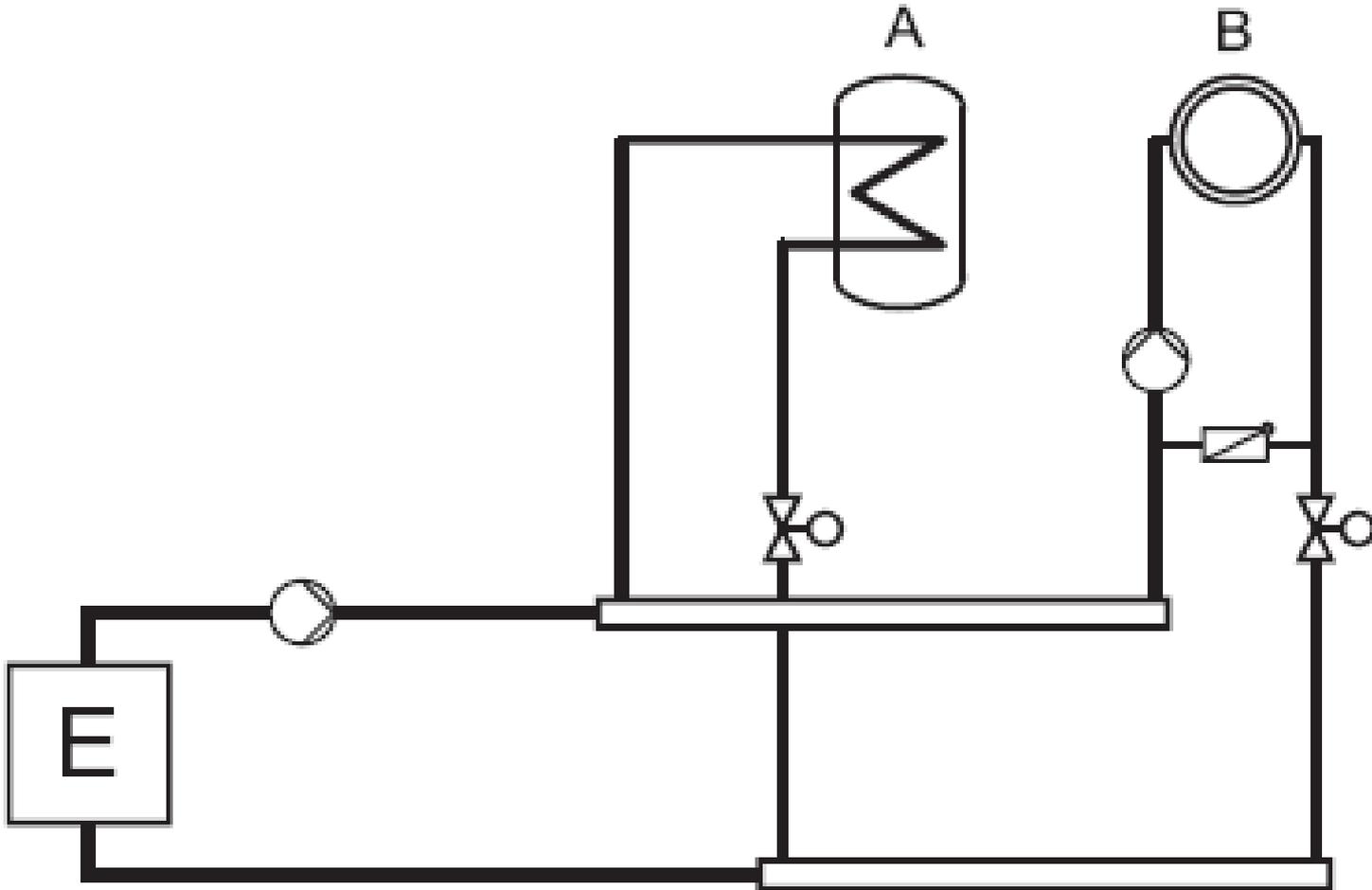
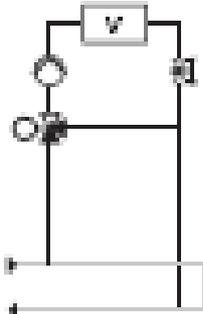
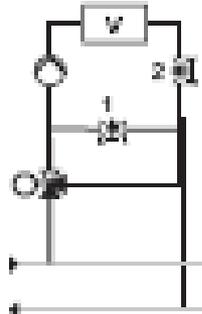
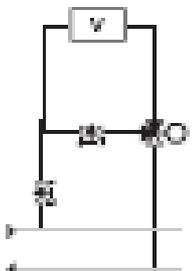
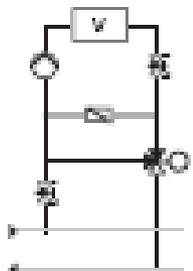
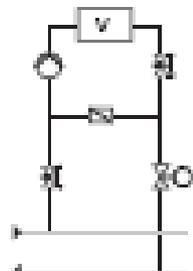


Bild 22 - Kombination aus Drosselschaltung und Einspritzschaltung

<p>Differenzdruckloser Anschluss  (Drucklose Verteiler mit und ohne Zubringepumpe)</p>	<p>4.3.1.1 Beimischschaltung (Variante1)</p> 	<p>4.3.1.2 Beimischschaltung mit Festbeimischung (Variante2)</p> 	<p>Daten für die Auslegung einer Beimischschaltung:</p> <p>Q = 20 kW  <math>t_{\text{Vorlauf}}</math> = 80°C  <math>t_{\text{Rücklauf}}</math> = 60°C</p> <p>Beimischschaltung mit Festbeimischung:</p> <p><math>t_{\text{Vorlauf mit}}</math> = 40°C  <math>t_{\text{Rücklauf mit}}</math> = 50°C</p> <p><math>\Delta p</math> Regelventil &gt; 2 kPa (für beide)</p>
<p>Einsatz der Schaltung</p>	<p>Heizkörpersysteme Luftheizregister</p>	<p>Fußbodenheizungen, Niedertemperatursystemen mit hohen Primär-Vorlauftemperaturen</p>	<p>Beimischschaltung:  <math>Q = m \cdot c \cdot \Delta T</math>  <math>m = 20 / (1,163 \cdot 20) = 0,86 \text{ m}^3/\text{h}</math>  <math>kw_{\text{max}} = m/170 = 860/170 = 5,06</math>                  Auswahl Regelventil : <math>k_{\text{v}} = 4,0</math></p>
<p>Wassermengen-Verteilung</p>	<p>Primär: Variabel Sekundär: Konstant</p>	<p>Primär: Variabel Sekundär: Konstant</p>	<p>Auswahl Regelventil : <math>k_{\text{v}} = 4,0</math></p>
<p>Vorteil der Schaltung</p>	<p>Beim Einsatz auf druckarmen oder -freien Verteilern ist die Autorität des Regelventils (bei Auslegung 3 kPa) fest 1. Gute Regelbarkeit</p>		<p><math>\Delta p</math> Regelventil =</p>
<p>System-Voraussetzung</p>	<p>Temperatur primär und sekundär muss annähernd gleich sein.</p>	<p>Nur bedingt einsetzbar bei gleichender VL-Temperatur primärseitig</p>	<p><math>(\text{m}^3/\text{h}^2) \cdot 100 \text{ in kPa} = (0,86^2/4^2) \cdot 100 = 4,62 \text{ kPa}</math></p>
<p>System-Voraussetzung</p>	<p>Beim Einsatz auf druckbehafteten Verteilern muss vor dem Regelventil ein Bypass eingebaut werden, um den Differenzdruck abzubauen. Über eine Einstell-Drosselamatur im Primär-Rücklauf wird der Sekundärdurchfluss eingestellt.</p>		<p>Beimischschaltung mit Festbeimischung:  <math>m = 20 / (40 \cdot 1,163) = 1,72 \text{ m}^3/\text{h}</math>  <math>kw_{\text{max}} = 1720/170 = 10,11</math>                  Auswahl Regelventil : <math>k_{\text{v}} = 10,0</math></p>
<p>Hydraulische Einregulierung</p>	<p>Bei voll geöffnetem Mischventil wird die Kreiswassermenge durch die Einstell-Drosselamatur nach Berechnung eingestellt und ggf. gemessen. Die Pumpe wird auf die erforderliche Kennlinie eingestellt.</p>	<p>Mischventil u. Einstell-Drosselamatur (EDA1) im Bypass voll öffnen. Mit Hilfe des EDA2 den Sekundärdurchfluss einstellen. Den Durchfluss (<math>V_{\text{max}} - V_{\text{min}}</math>) im Bypass (EDA1) einstellen.</p>	<p><math>\Delta p</math> Regelventil =</p> <p><math>(1,72^2/10^2) \cdot 100 = 2,95 \text{ kPa}</math></p>

Differenzdruck-behaltender Anschluss  (Druckbehaltende Verteiler mit und ohne Zubringer-Pumpe)	4.3.2.1.1 Umlenkschaltung  	4.3.2.1.2 Einspritzschaltung mit 3-Wege-Regelventil  	4.3.2.2 Einspritzschaltung mit 2-Wege-Regelventil  
Einsatz der Schaltung	Luftheizregler, Kühlregler, Kühldecken, Zonenregelung	Heizkörpersysteme, Fußbodenheizung, Luft- und Vorheizregler, Niedertemperaturheizung	Heizkörpersysteme, Luftheizregler, Fußbodenheizung, Bremwerttechnik, Fernheizung
Wassermengen-Verteilung	Primär: Konstant Sekundär: Variabel Temperatur beim Verbraucher variabel	Primär: Konstant Sekundär: Konstant Temperatur beim Verbraucher variabel	Primär: Variabel Sekundär: Konstant Temperatur beim Verbraucher variabel
Vorteil der Schaltung	Primär konstanter Durchfluss, keine Drehzahlregelung der Pumpe notwendig. Autorität des Regelventils nur von der Last abhängig.	Keine Totzeit beim Verbraucher. Autorität fast 1, da kaum Widerstand in der variablen Strecke. Unterschiedliche Primär- und Sekundärtemperaturen möglich.	Keine RLT-Anhebung. Unterschiedliche Primär- und Sekundärtemperaturen möglich.
System-Voraussetzung	Die Durchflüsse für den Bypass und für den Verbraucherkreis müssen korrekt eingestellt werden, um eine optimale Regelfunktion zu erhalten. Der Widerstand im Bypass muss gleich dem des Verbrauchers sein.	Zur Dimensionierung des Regelventils muss der anstehende Diff.-Druck bekannt sein (min. 3kPa). Nicht einsetzbar bei Anlagen mit Forderung nach niedriger RL-Temperatur, da eine permanente RL-Anhebung stattfindet.	Zur Dimensionierung des Regelventils muss der anstehende Diff.-Druck bekannt sein. Bei Vorheizreglern besteht bei langer Primär-Rohrleitung Einfriergefahr.
Hydraulische Einregulierung	Das Regelventil auf Durchgang stellen (A/AS). Den gewünschten Durchfluss über das Regelventil im VL einstellen. Überprüfung durch Messung: Ist der Durchfluss erreicht, Regelventil auf internen Kreis (B/AS) umstellen. Über das Ventil im Bypass Widerstand des Verbrauchers einstellen. Der entsprechende Durchfluss kann über das Summenventil im VL gemessen werden. -	Primär- und Sekundärpumpe in Betrieb nehmen. Tor A/AS am Regelventil schließen. Bypass des Regelventils geöffnet. Durch Messung des Durchflusses über das Regelventil im Sekundär-Kreis auf die Sekundärpumpe auf den gewünschten Betriebspunkt einstellen. Regelventil auf Durchgang stellen (öffnen A/AS) und durch Messung gewünschten Durchflusses des Primärkreises über das Regelventil einstellen - oder wenn möglich im Abpunkt der Primär-Pumpe einstellen.	Schließen des Regelventils. Einstellen des Sekundär-Durchflusses über die Sekundär-Pumpe. Messung des Sekundär-Durchflusses und Pumpe im Sekundär-Kreis auf Betriebspunkt einstellen (wenn diese regelbar). Ist die Pumpe nicht regelbar, wird der Durchfluss über das Regelventil im Sekundär-Kreis gemessen und eingestellt. Danach Regelventil öffnen und den Durchfluss im Primär-Kreis einstellen. (Messung des Durchflusses über Regelventil im Primär-Kreis)

## Hydraulische Grundsaltungen, Merkmale, Anwendung (1):

Beimischschaltung mit Dreiwegstellglied						
Beimischschaltung mit Dreiwegstellglied und fester Vormischung						
Einspritzschaltung mit Dreiwegstellglied						
Einspritzschaltung mit Durchgangsstellglied						
Drosselschaltung						
Verteilschaltung						
Anwendung	Radiatorheizung ( $\vartheta_{\text{Verbraucher}} = \vartheta_{\text{Kessel}}$ )			X	X	X
	Fußbodenheizung ( $\vartheta_{\text{Verbraucher}} < \vartheta_{\text{Kessel}}$ )			X	X	X
	Ladung Warmwasserspeicher	X	X	X	X	X
	Speicherladung mit externem Wärmeübertrager		X			X
	Fernwärmeanschluß, direkt		X	X		
	Fernwärmeanschluß, indirekt		X			

## Hydraulische Grundschaltungen, Merkmale, Anwendung (2):

Beimischschaltung mit Dreiwegstellglied							
Beimischschaltung mit Dreiwegstellglied und fester Vormischung							
Einspritzschaltung mit Dreiwegstellglied							
Einspritzschaltung mit Durchgangstellglied							
Drosselschaltung							
Verteilschaltung							
Merkmale	Grundschaltung zur Änderung des Durchflusses	x	x				
	Grundschaltung zur Änderung der Vorlauftemperatur			x	x		x
	differenzdruckbehafteter Anschluß	x	x	x	x		
	differenzdruckarmer Anschluß					x	x
	sinnvoller Einsatz geregelter Pumpen		x	x			
	variabler Primärmassenstrom		x	x		x	x
	konstanter Primärmassenstrom	x			x		
	variabler Sekundärmassenstrom	x	x				
	konstanter Sekundärmassenstrom			x	x	x	x
	max. Verbraucher-Vorlauftemperatur = Erzeugertemperatur	x	x	x	x		x
	max. Verbraucher-Vorlauftemperatur < Erzeugertemperatur			x	x	x	
	hohe Kesselrücklauftemperatur	x			x		
niedrige Kesselrücklauftemperatur		x	x		x	x	

## Hydraulische Grundsaltungen, Merkmale, Anwendung (3):

Beimischschaltung mit Dreiwegstellglied							
Beimischschaltung mit Dreiwegstellglied und fester Vormischung							
Einspritzschaltung mit Dreiwegstellglied							
Einspritzschaltung mit Durchgangsstellglied							
Drosselschaltung							
Verteilschaltung							
Verteiler	Verteiler ohne Hauptpumpe					x	x
	Verteiler mit Hauptpumpe, differenzdruckarm					x	x
	Verteiler mit Hauptpumpe, differenzdruckbehaftet	x	x	x	x		

## *Vertiefung bei Bedarf*

*DBU-Projekt: OPTIMUS als beispielhaftes Projekt  
zur Systemtechnik und Qualitätssicherung*

*Teilnehmer:*

*SH-Innung Wilhelmshaven – FH BS/Wolfenbüttel*

*BBS II Leer – Uni Bremen FPB – WILO*

*Kooperationspartner: proklima Hannover*

*Auswertung von Messdaten:  
Informationen über die Anlagenqualität*

## DENKAUFGABE OPTIMIERUNG

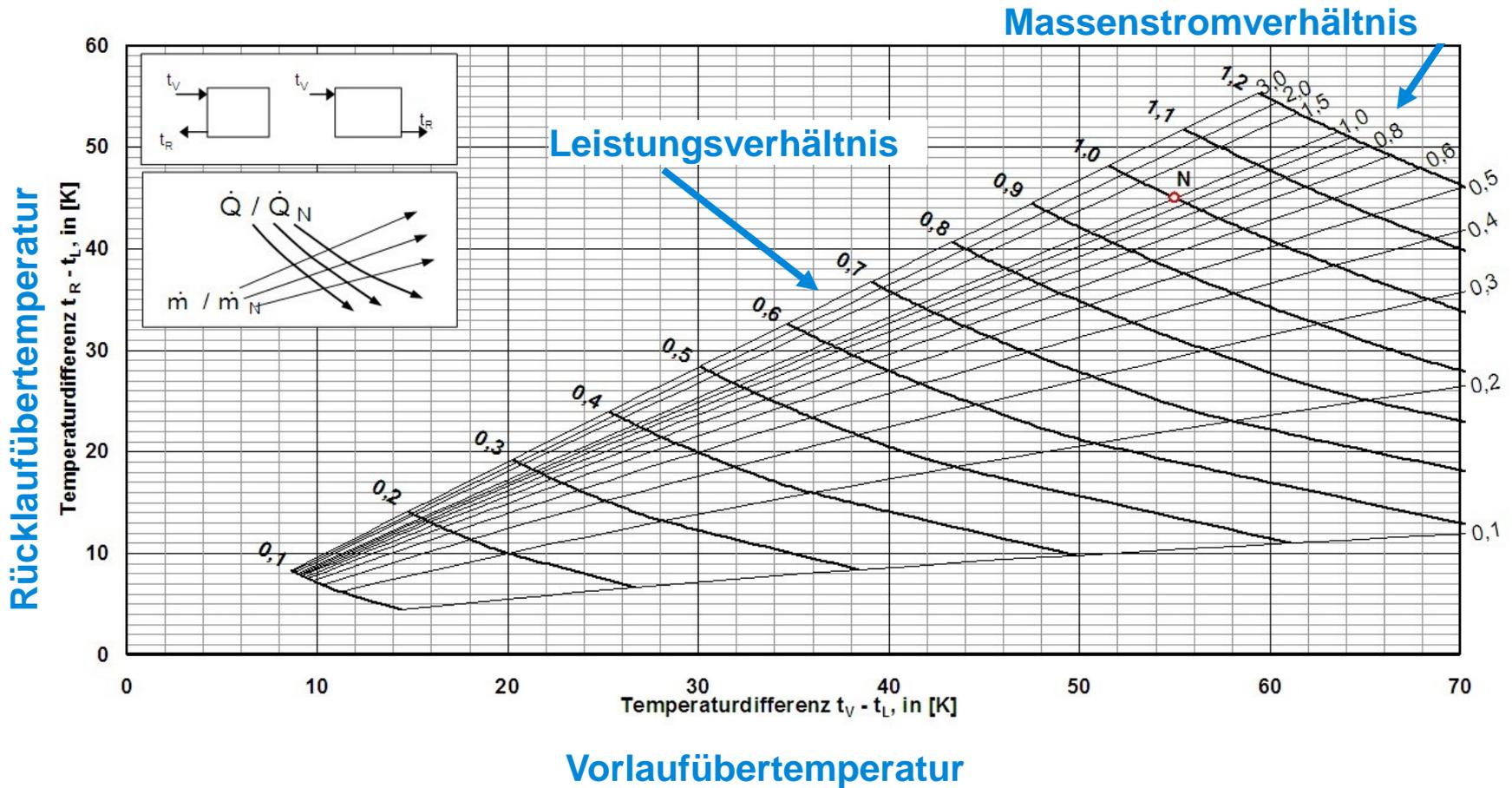
"Wie wir es den Handwerkern  
vermitteln"

# Heizkörperdiagramm

Auslegungsdiagramm  
für Heizkörper

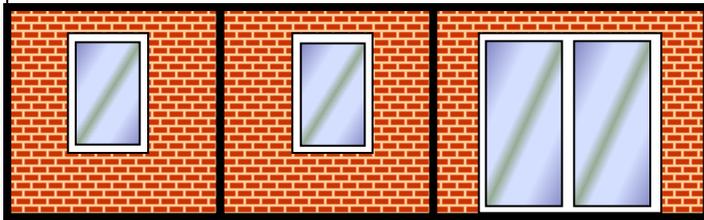
$\dot{Q} / \dot{Q}_N$  ——— (dicke Linie)  
 $\dot{m} / \dot{m}_N$  ——— (dünne Linie)

Heizkörperexponent n: 1,3  
Normauslegung: 75 / 65 / 20 °C



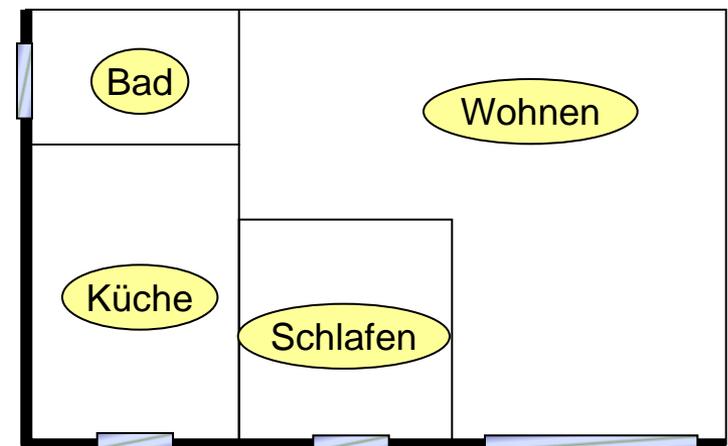
## Beispiel: Etagenwohnung

- Etagenwohnung
- 2 Zimmer, Küche, Bad
- 60 m<sup>2</sup> beheizte Fläche

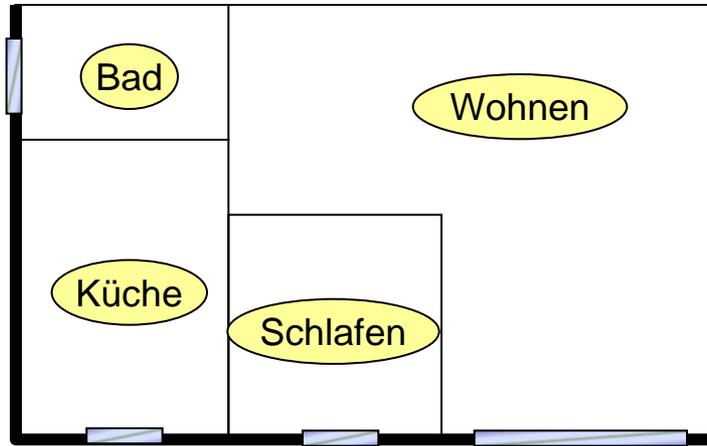


Bad: 6 m<sup>2</sup>  
Küche: 12 m<sup>2</sup>  
Schlafen: 9 m<sup>2</sup>  
Wohnen: 33 m<sup>2</sup>

- Wandtherme mit integrierter Pumpe (und Überströmventil)
- Vorlauftemperatur 75 °C
- nicht voreinstellbare Heizkörperventile
- Gebäude letztes Jahr baulich gut saniert



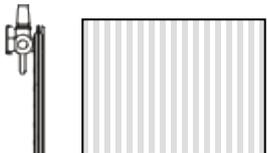
## Geschätzter Hydraulischer Abgleich nach Thermostatventiltausch



- Haus ist gut wärmegeklämt mit neuen Fenstern
- Plattenheizkörper (s. u.)
- neue voreinstellbare Thermostatventile mit Stufen 1 - 6

Welche Vorlauftemperatur?  
Welche Voreinstellungen?

Bad: 6 m<sup>2</sup>



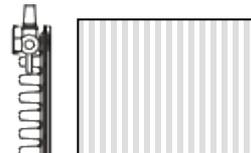
Typ 10  
600 x 800

Küche: 12 m<sup>2</sup>



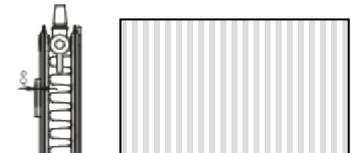
Typ 21  
500 x 1200

Schlafen: 9 m<sup>2</sup>



Typ 11  
600 x 800

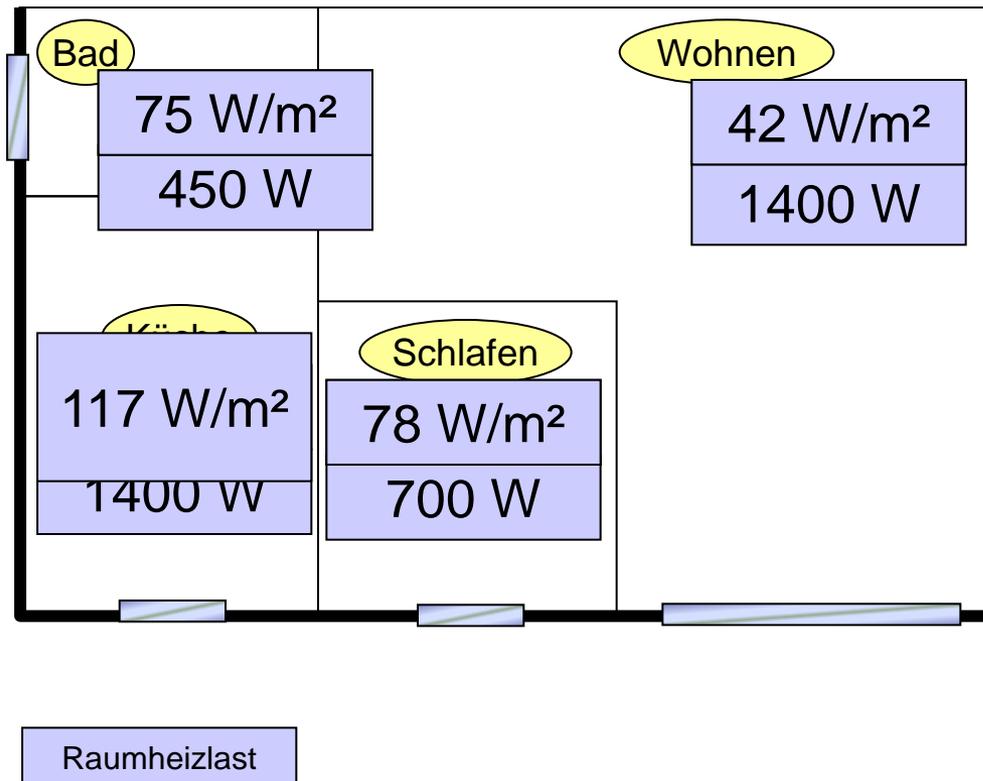
Wohnen: 33 m<sup>2</sup>



Typ 21  
900 x 1000

## Alte Heizlast

alte U-Werte: Wände  $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$   
 Fenster  $2,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



1. Schätzen Sie die mittlere Heizlast!

66 W/m<sup>2</sup>

2. Ordnen Sie die Heizlasten den Räumen zu!

117 W/m<sup>2</sup>

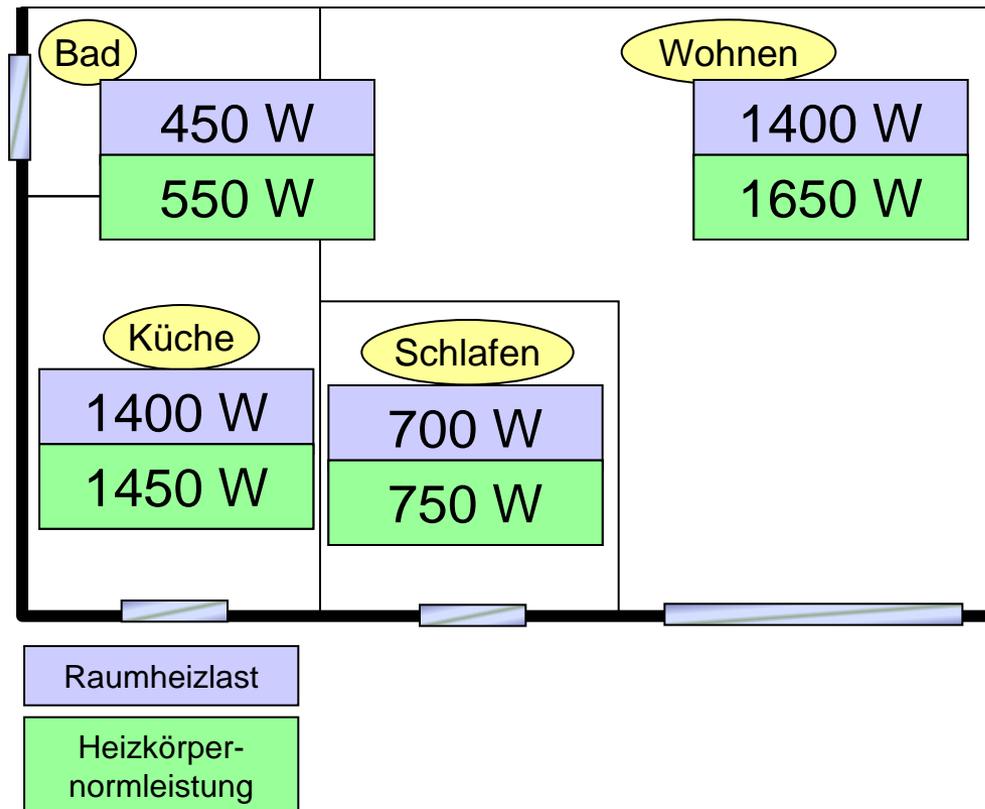
78 W/m<sup>2</sup>

75 W/m<sup>2</sup>

42 W/m<sup>2</sup>

## Ausstattung mit Heizkörpern

- aufgenommen wurden alle 4 Heizkörper mit Hilfe eines Tabellenbuchs
- dokumentiert wurde die Normheizkörperleistung bei 75/65/20 °C

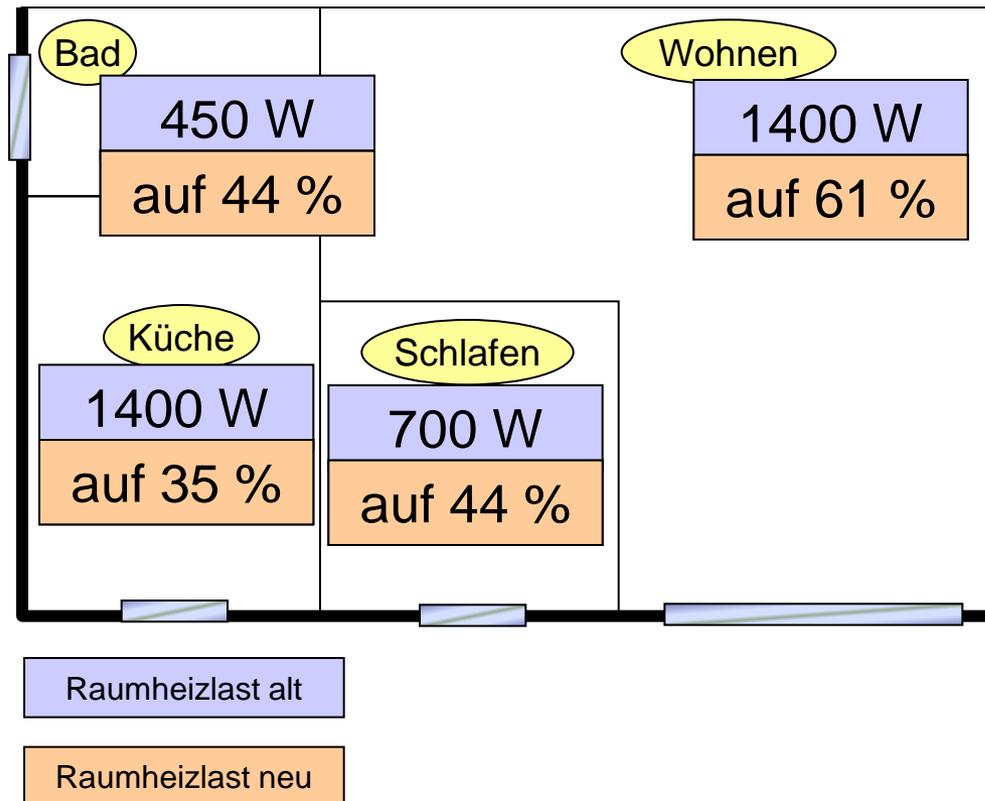


3. Ordnen Sie die Heizkörper den Räumen zu!

- 550 W
- 750 W
- 1450 W
- 1650 W

## Neue Heizlast

neue U-Werte: Wände  $0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$   
Fenster  $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



4. Schätzen Sie die mittlere Heizlast!

31 W/m<sup>2</sup>

5. Ordnen Sie zu: wie stark ist die Heizlast in den einzelnen Räumen gesunken?

auf 35 %

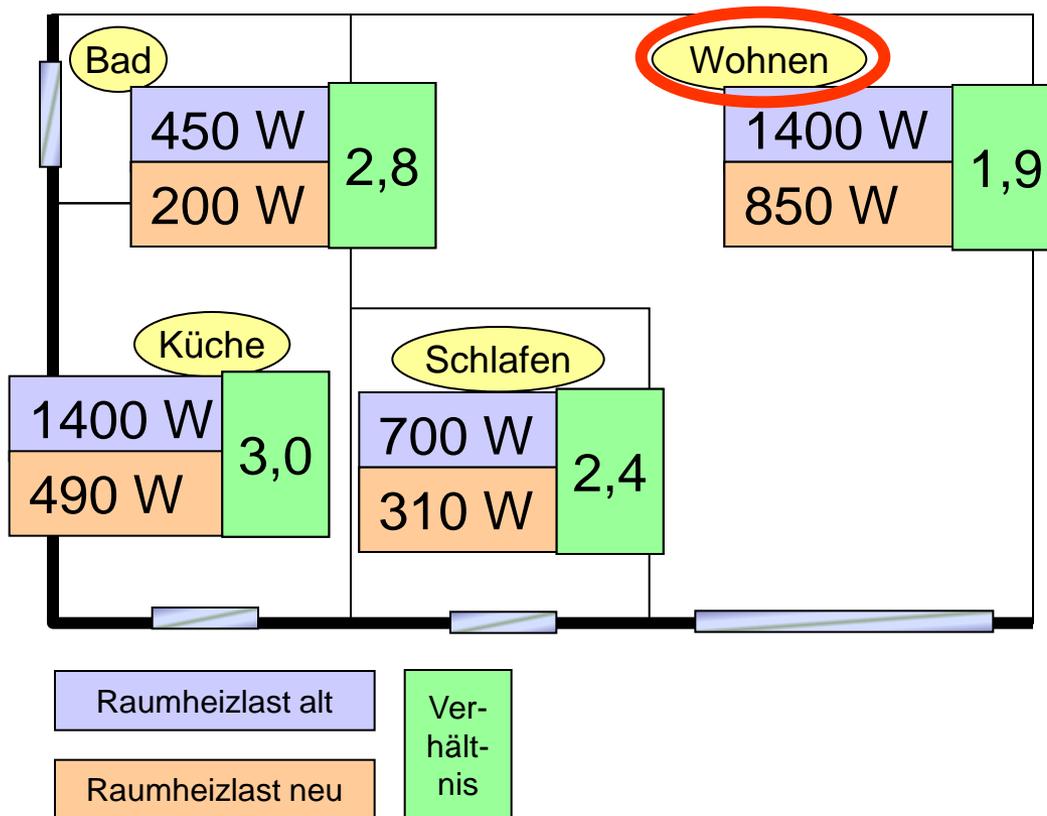
auf 44 %

auf 44 %

auf 61 %

## Verhältnisse nach der Modernisierung

- in den einzelnen Räumen sind die Heizkörper nun zu groß
- die Vorlauftemperatur kann abgesenkt werden, aber wie weit?



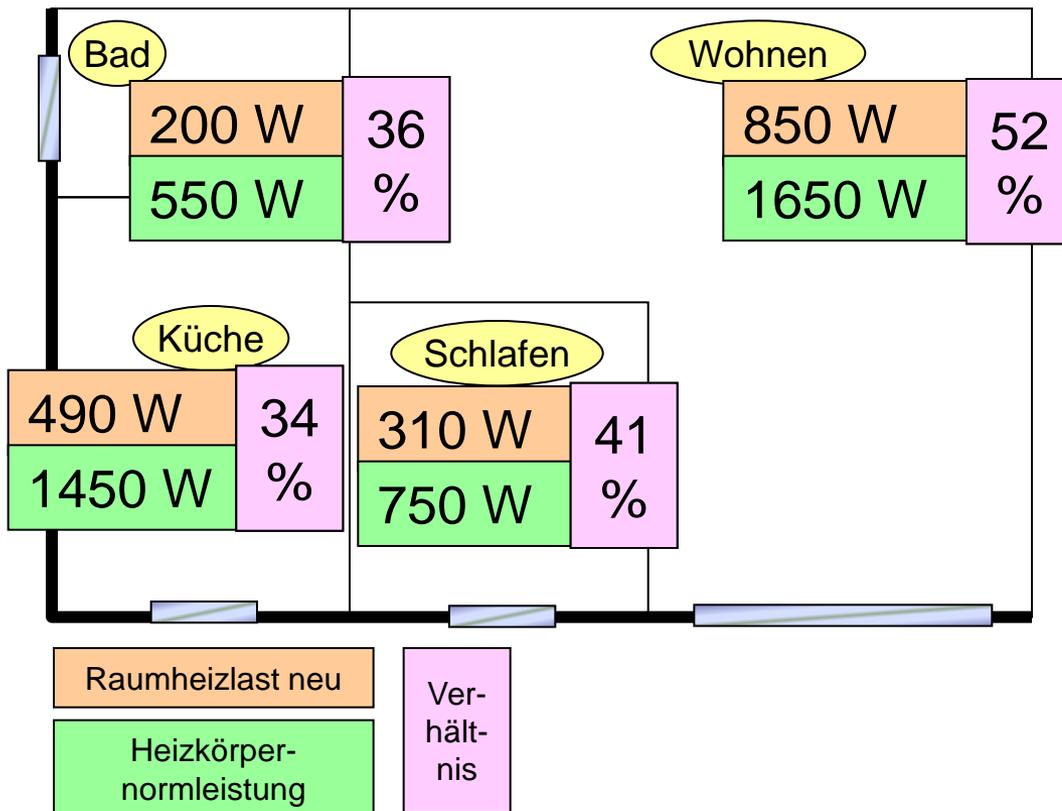
6. Welche Verhältnisse von alter und neuer Raumheizlast liegen vor?

Welcher Raum bestimmt die neue Vorlauftemperatur?

## Ermittlung der neuen Temperatur

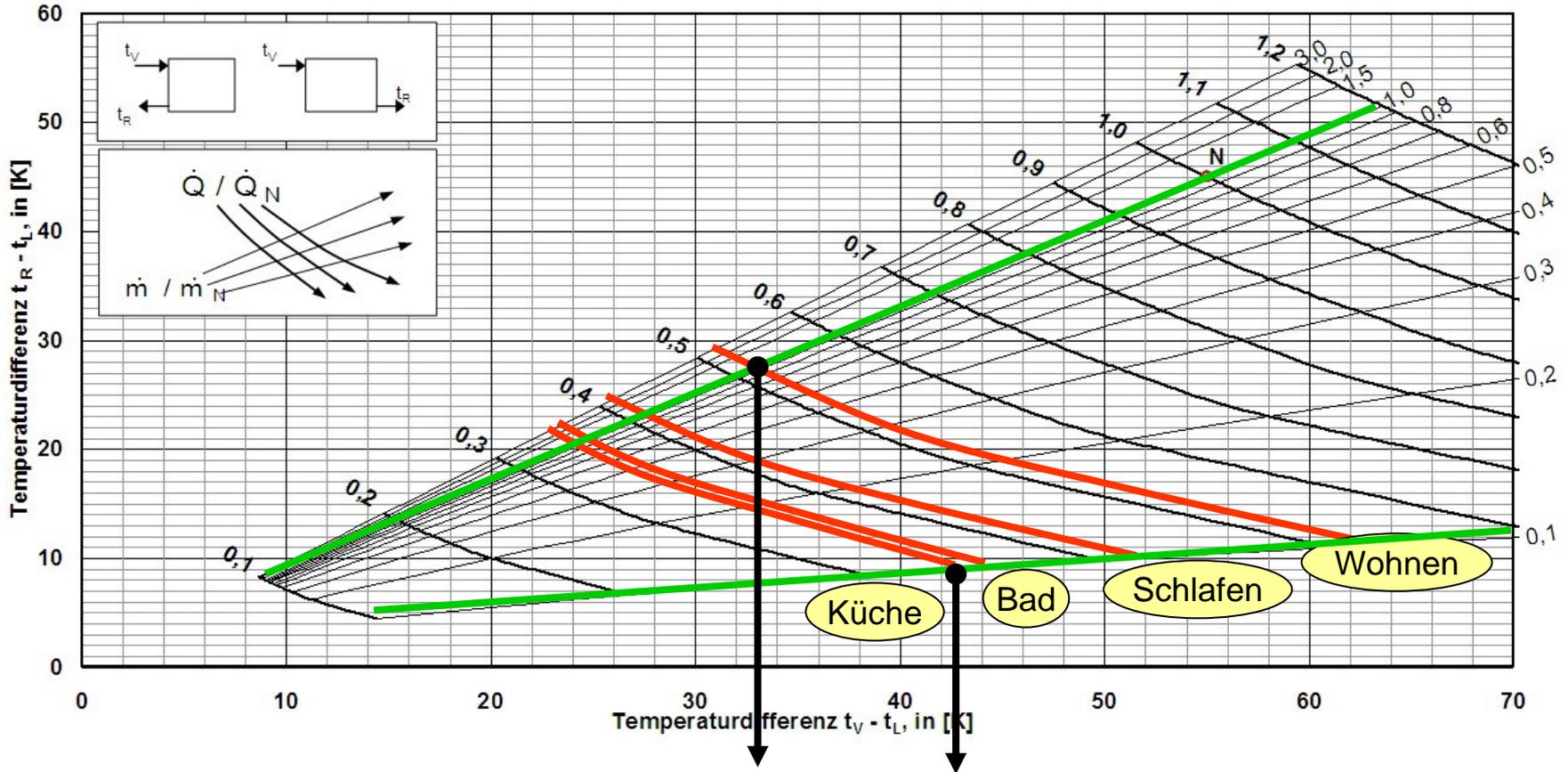
es werden gebraucht:

- die neue Raumheizlast
- die installierte Heizkörperleistung bei Normbedingungen



7. Wieviel Prozent der vorhandenen Normheizkörperleistung wird in den einzelnen Räumen gebraucht?

## Ermittlung der neuen Temperatur



mindestens 53 °C, damit es im Wohnzimmer warm wird,  
aber nicht mehr als 62 °C, damit in der Küche die Volumenströme  
nicht zu klein werden.

gewählt: 55 °C

## Ermittlung der Volumenströme

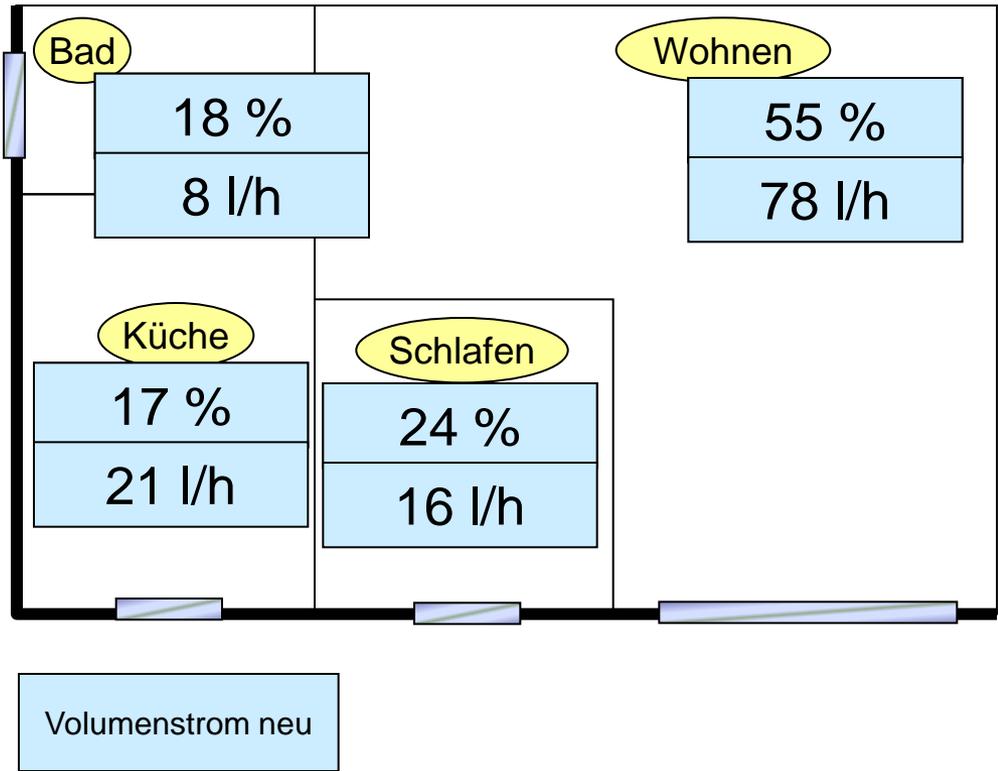
der Volumenstrom bei ursprünglicher Auslegung betrug etwa 230 l/h.

8. Schätzen Sie den Gesamtvolumenstrom!

123 l/h

9. Wieviel Prozent des Normvolumenstroms wird in den einzelnen Räumen gebraucht?

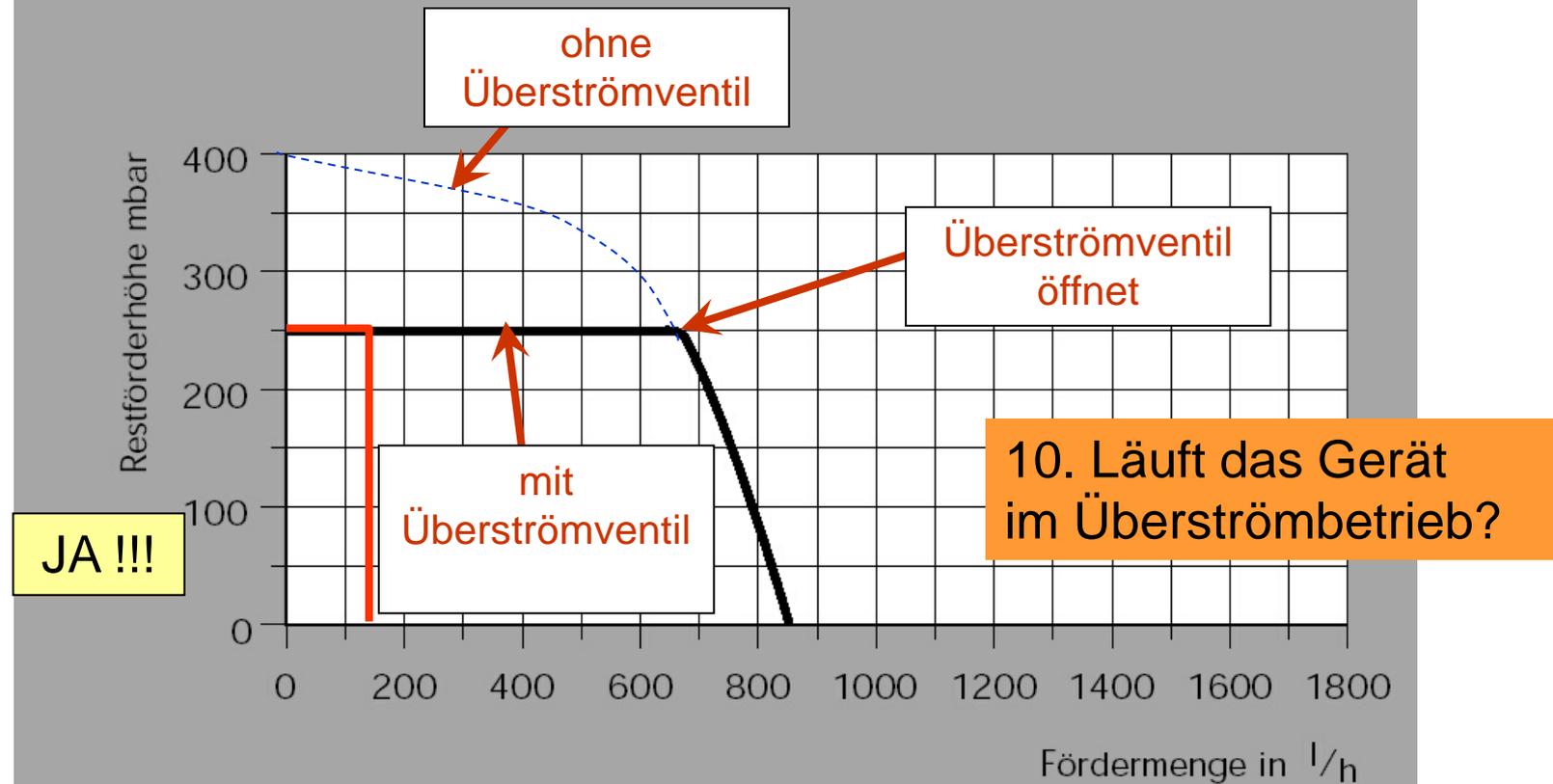
- 17 % von 125 l/h
- 18 % von 47 l/h
- 24 % von 65 l/h
- 55 % von 142 l/h



## Vorhandene Wandtherme

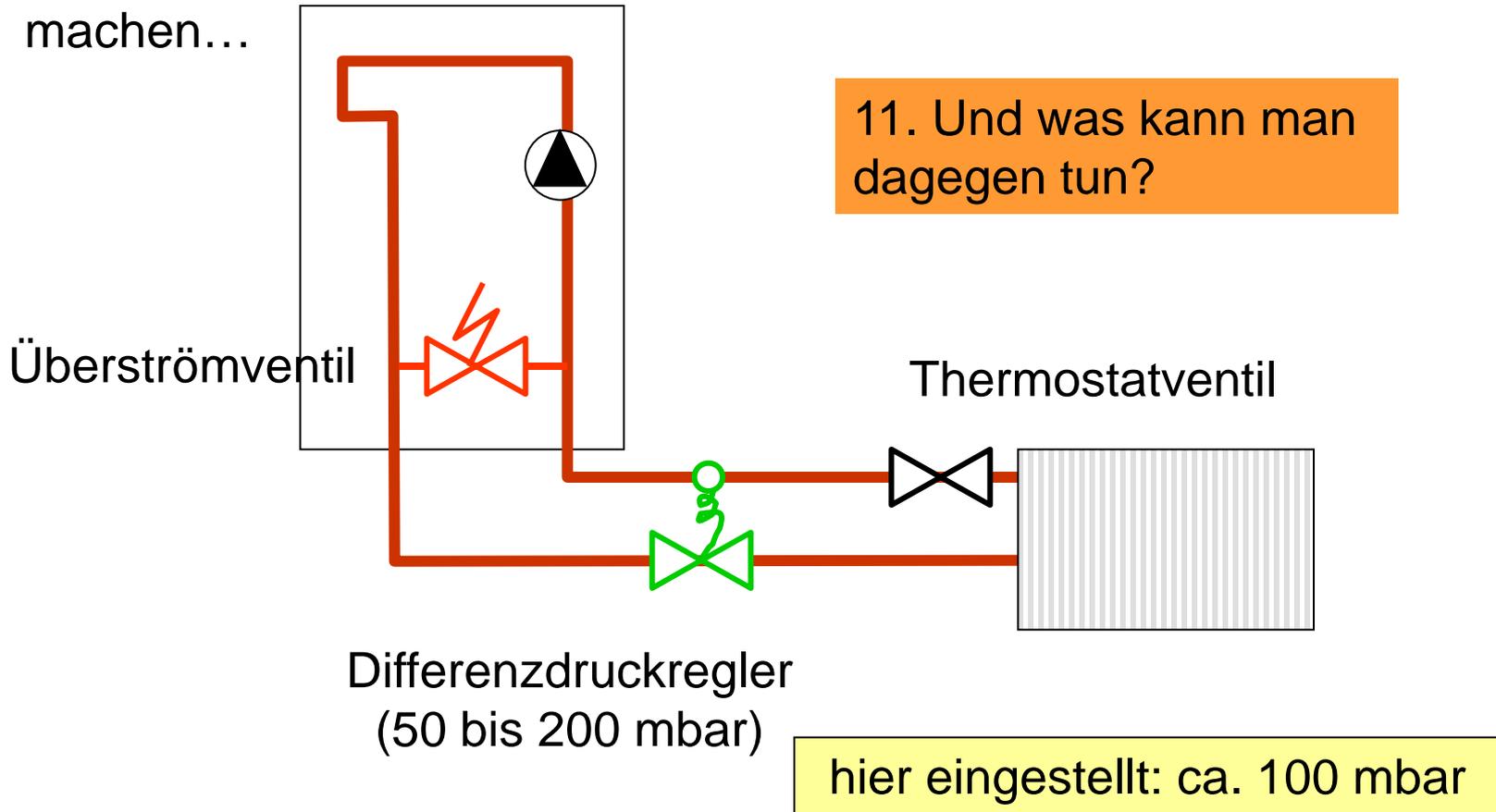
- die Pumpe ist nicht voreinstellbar.
- das Gerät hat ein ebenfalls nicht einstellbares Überströmventil
- fester Einstellwert: 250 mbar

Pumpendiagramm VC 64 XE, 104 XE (VP 5)

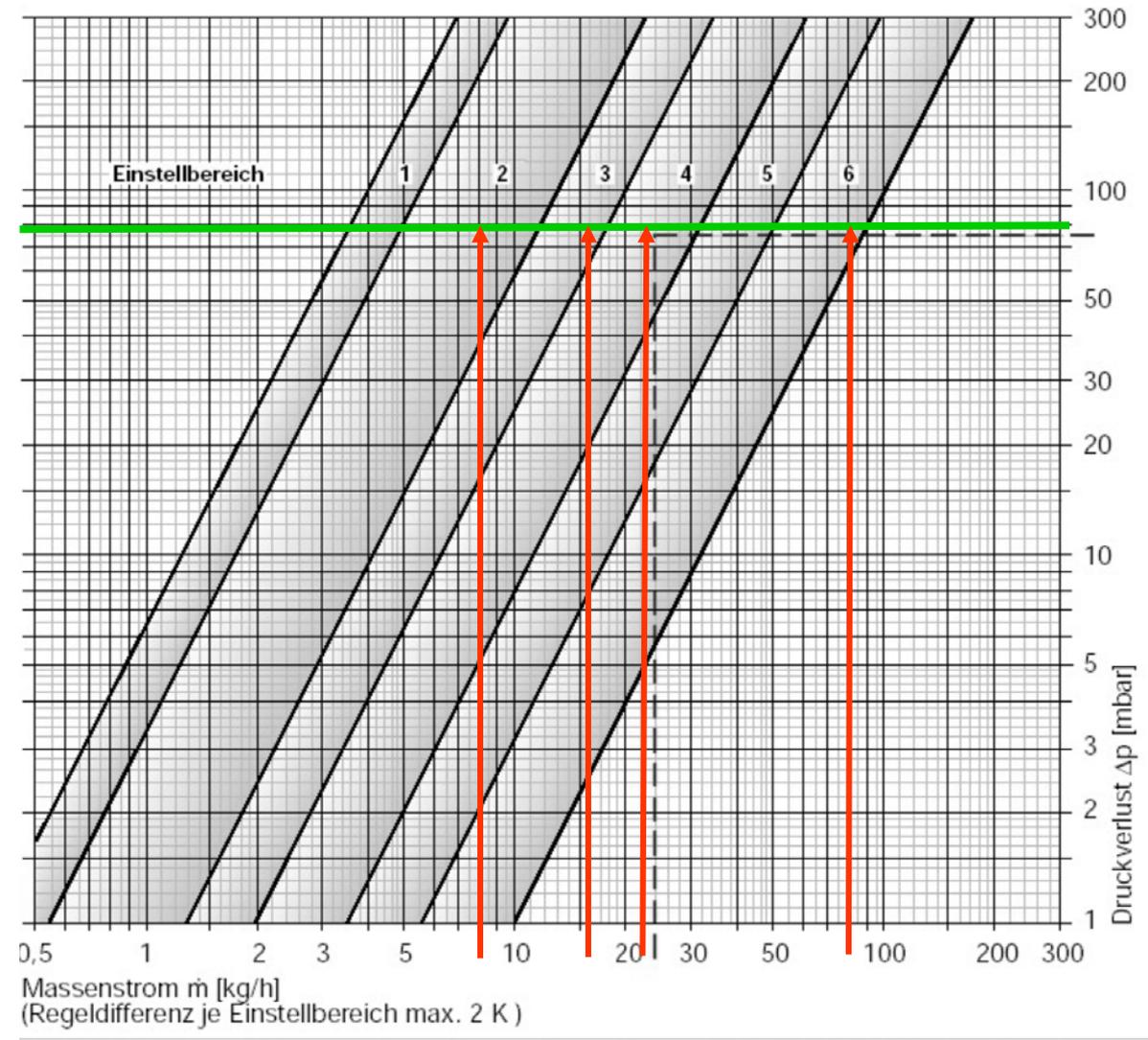


## Geräusche? Einziger Ausweg...

- Problem: der Differenzdruck von 250 mbar schlägt sich bis an die Thermostatventile nieder, welche Geräusche machen...



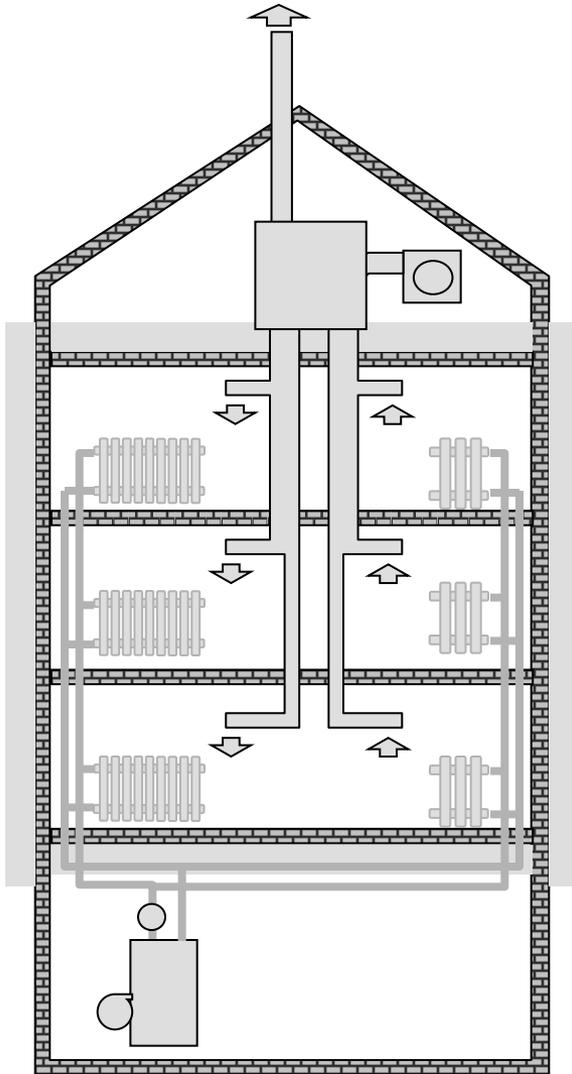
# Thermostatventileinstellung



- eingesetzt werden feinst-einstellbare Ventile
- Druckabfall am Ventil etwa 80 mbar

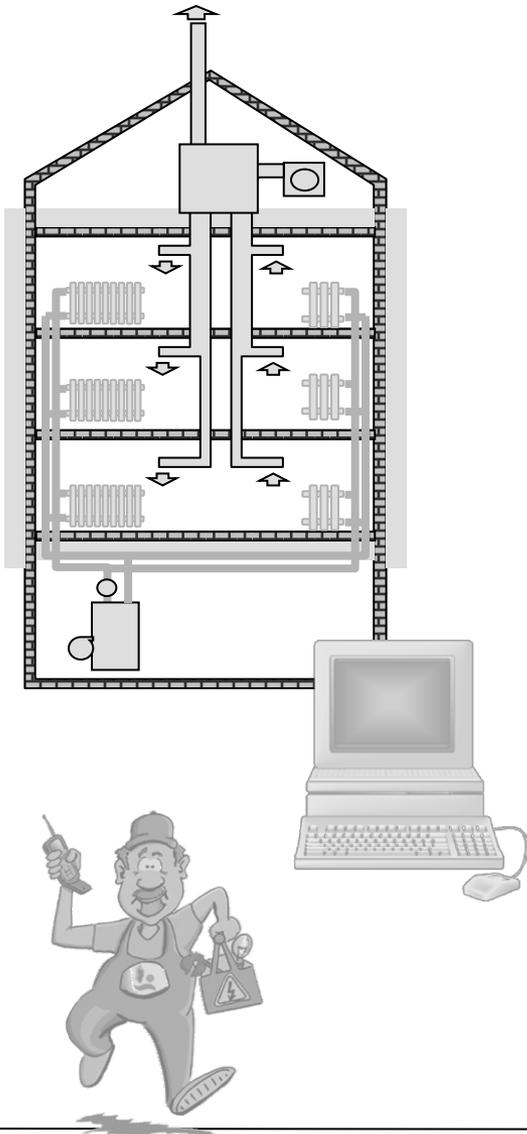
12. Welche Voreinstellung wird in den einzelnen Räumen eingestellt?

Bad	VE 2
Küche	VE 4
Schlafen	VE 3
Wohnen	VE 6



## 6-Tage - Handwerkerkurs

1. **Grundlagen auffrischen, damit das Folgende verständlich wird.**
2. Besprechung der Komponenten einer Heizungsanlage: Wärmeerzeuger, Verteilnetz, Wärmeübergabe und Regelung. Schwerpunkte: Zusammenhänge verdeutlichen + Hinweise, worauf bei der Modernisierung geachtet werden muss. Ziel: Aufzeigen von Optimierungsmöglichkeiten im Bestand für spätere Sanierungen.
3. Besprechung der Komponenten einer Lüftungsanlage: Systeme, Netze, Auslässe. Ziel: Schwerpunkte: Zusammenhänge verdeutlichen + Aufzeigen von Funktionsprinzipien. Ziel: Kenntnisse über die Einsatzfelder im Neubau und Bestand.



## Wo stehen wir und wo geht's hin?

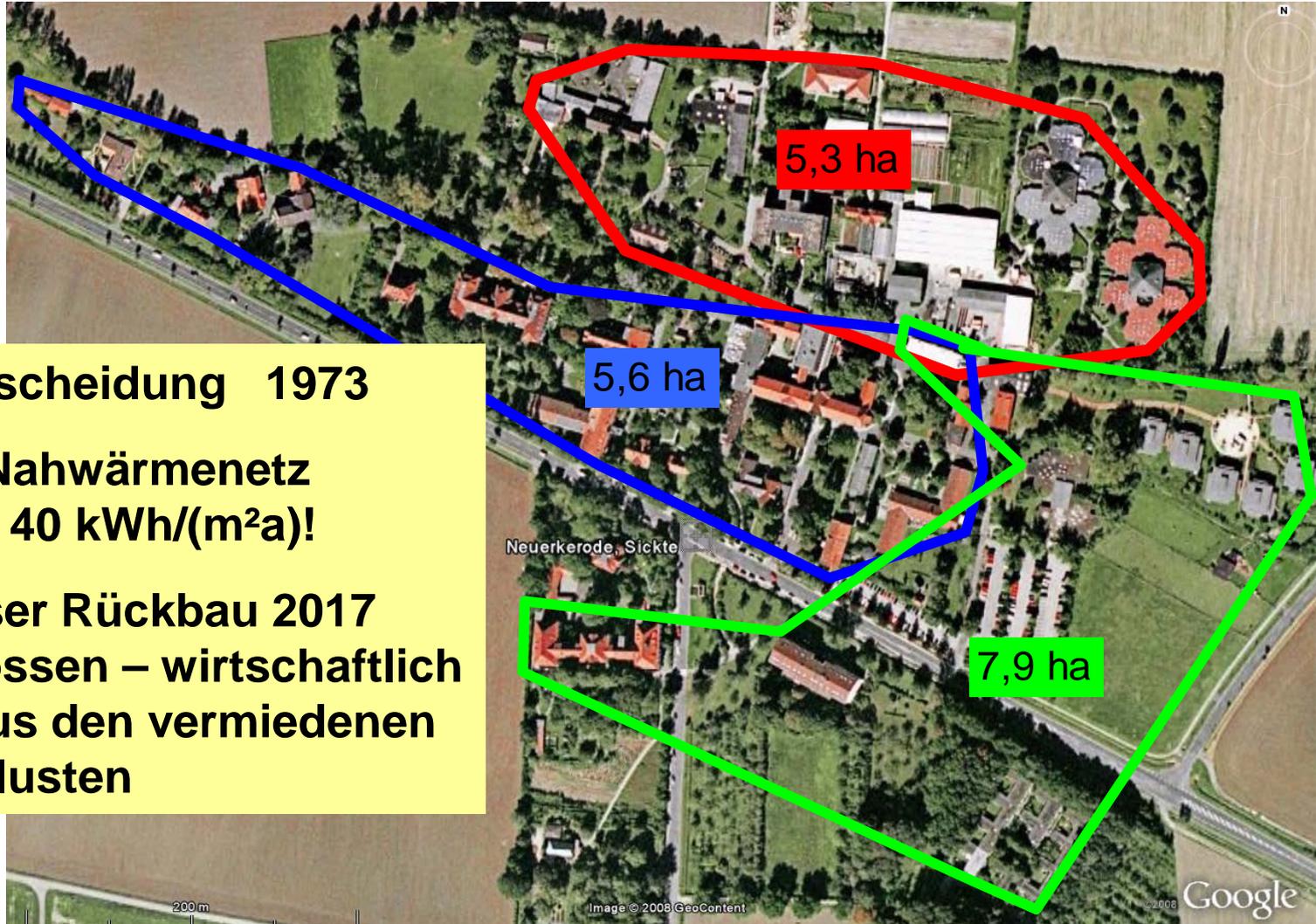
- 4. Heizlastberechnung.** Im Neubau mit DIN 12831 ggf. unter Berücksichtigung von Lüftungstechnik. Im Bestand vereinfachte Ansätze. Ziel: Erläuterung von Vorgehensweisen und Besprechung von Praxisproblemen. Vorbereitung auf die spätere Anwendung von Software.
- 5. Netzberechnung.** Für Neuplanungen: Wiederholung der Vorgehensweise einer Rohrnetzberechnung. Für den Bestand: vereinfachte Ansätze. Ziel: Erläuterung von Vorgehensweisen und Besprechung von Praxisproblemen. Vorbereitung auf die spätere Anwendung von Software.
- 6.** Anwendung einer Beispielsoftware zur Optimierung von Heizungsanlagen als Vorbereitung auf die Praxis.
- 7.** Marketing. Besprechung einiger Fragen jenseits der Technik. Damit die Kenntnisse später auch Anwendung finden!

# Vertiefung bei Bedarf

Status: Verbrauchsanalyse  
für Netz und Erzeugung

Erstellung Energiekonzept  
mit Erfolgsnachweis

## Beispiel 1: DBU-Projekt: Behindertenstiftung im Dorf Neuerkerode

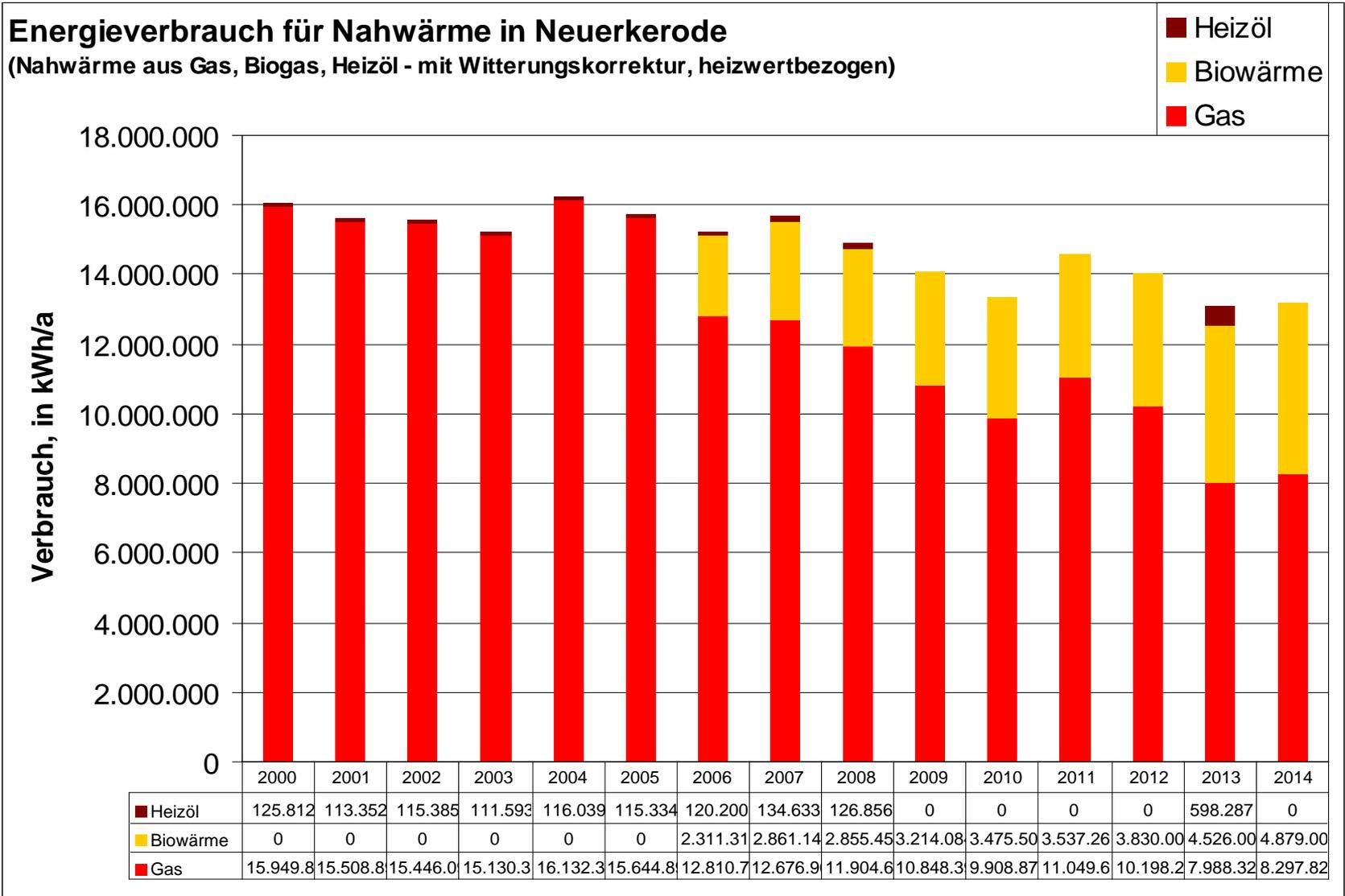


**Fehlentscheidung 1973**

**Neues Nahwärmenetz  
Verlust: 40 kWh/(m<sup>2</sup>a)!**

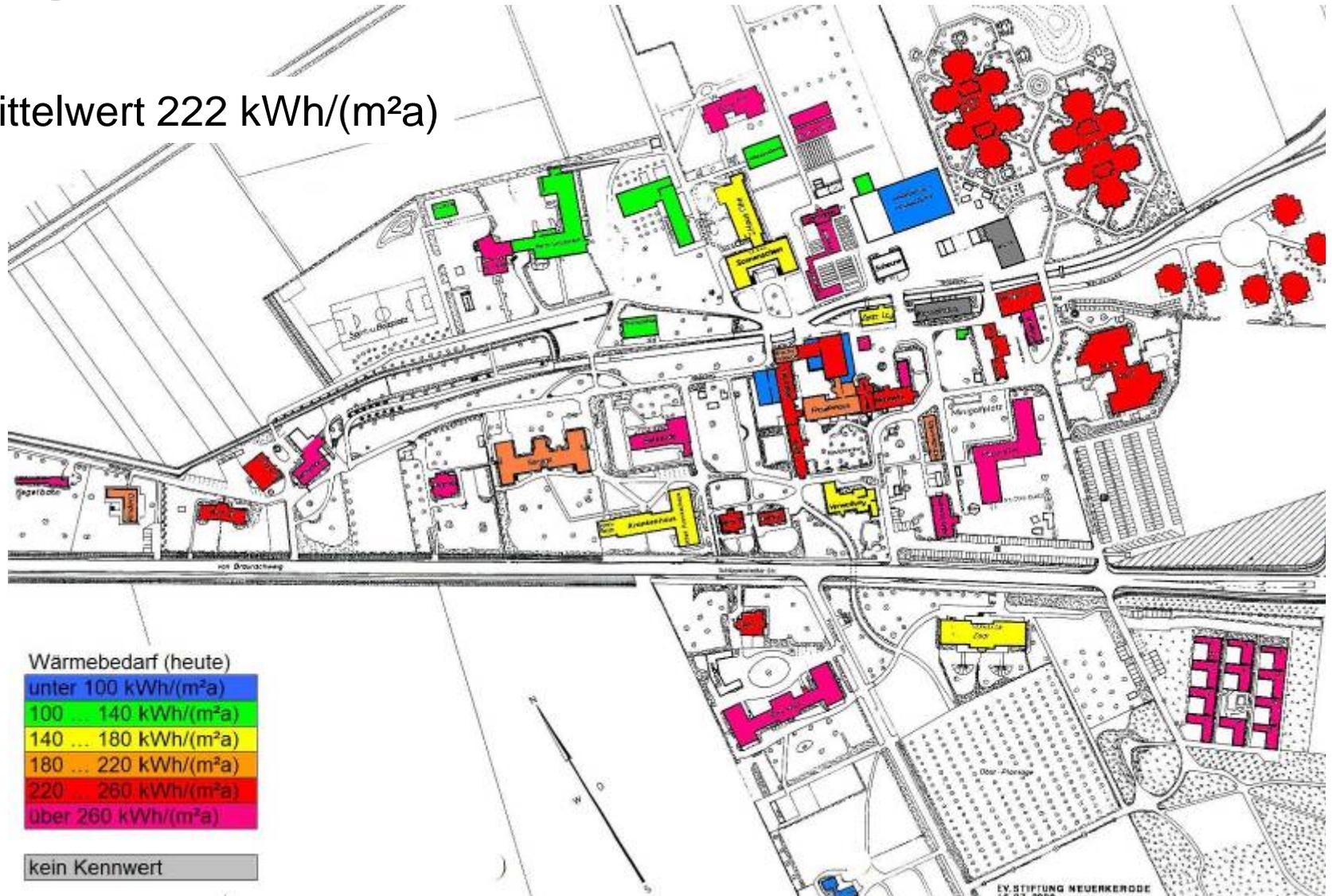
**Teilweiser Rückbau 2017  
beschlossen – wirtschaftlich  
allein aus den vermiedenen  
Netzverlusten**

Seit Projektbeginn: Minus 3%/a Rückgang Endenergie



## Energiebilanz des Bestandes – Dorf – 55 Gebäude – ca. 50 000 m<sup>2</sup>

Mittelwert 222 kWh/(m<sup>2</sup>a)



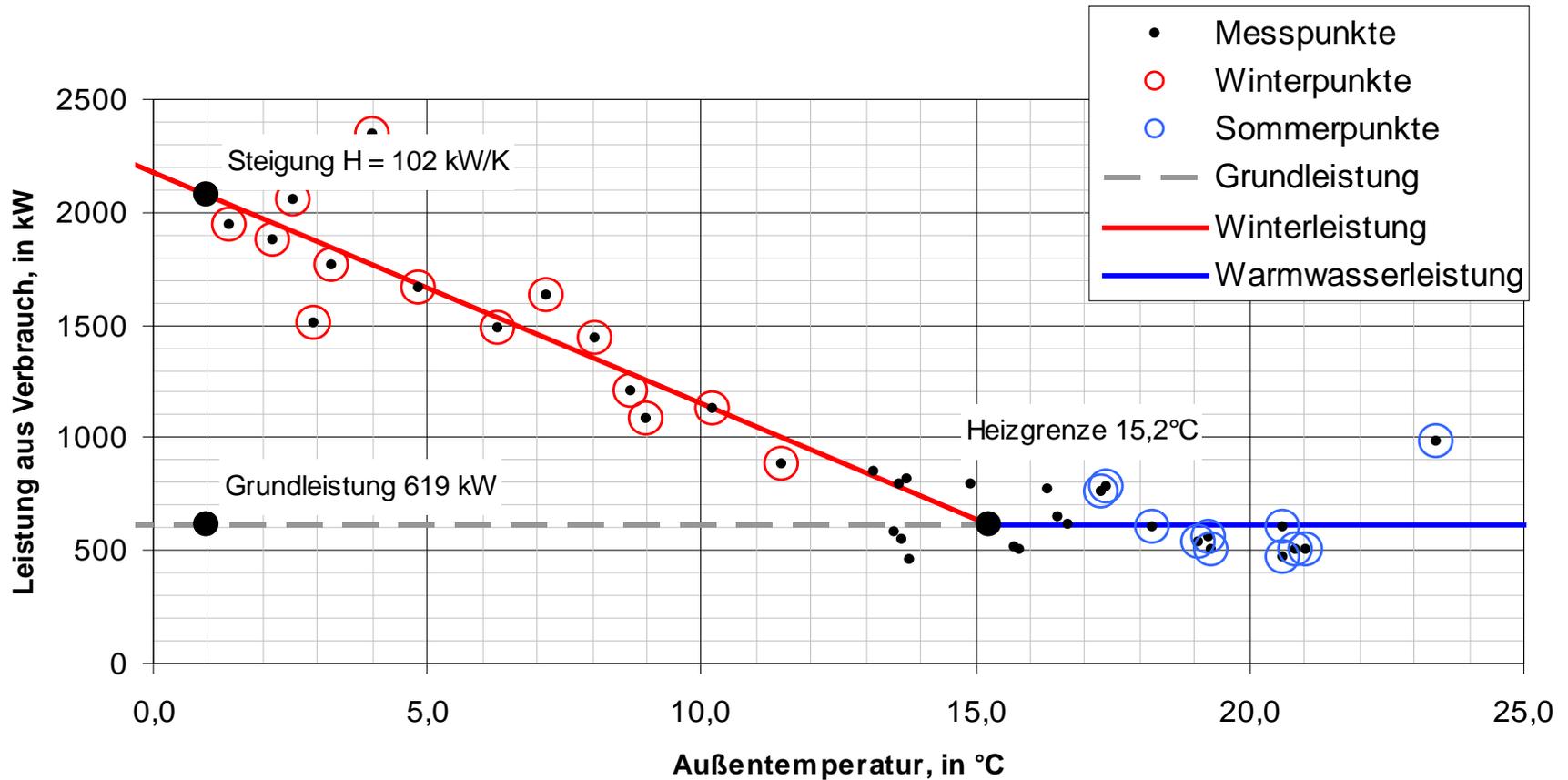
## Energiebilanz langfristig

Mittelwert 103 kWh/(m<sup>2</sup>a)



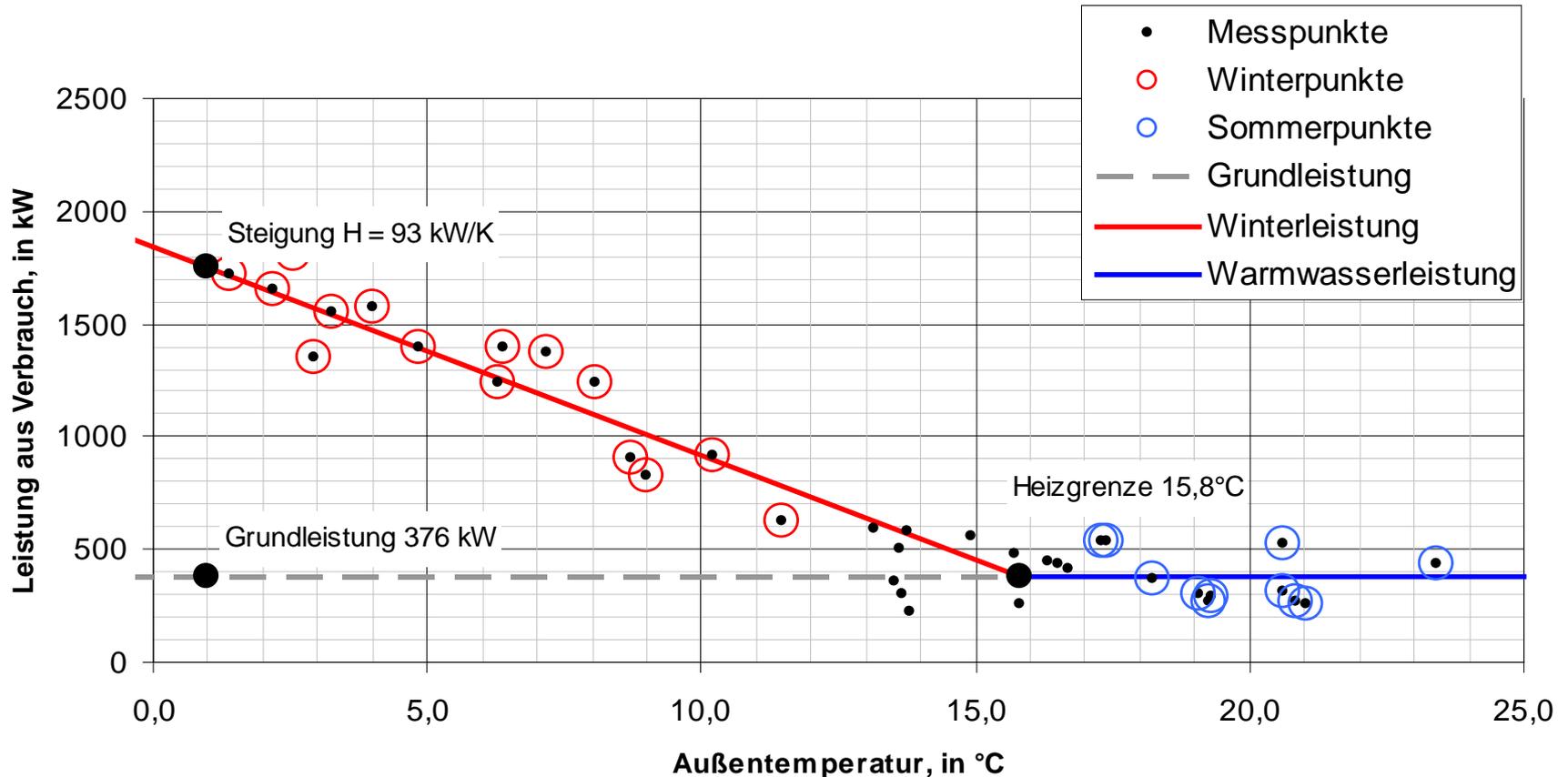
## Verbrauchsauswertung: Lieferung der Wärmeerzeuger

Energieanalyse aus dem Verbrauch:  
Summe Lieferung ans Netz (incl. Biogas)

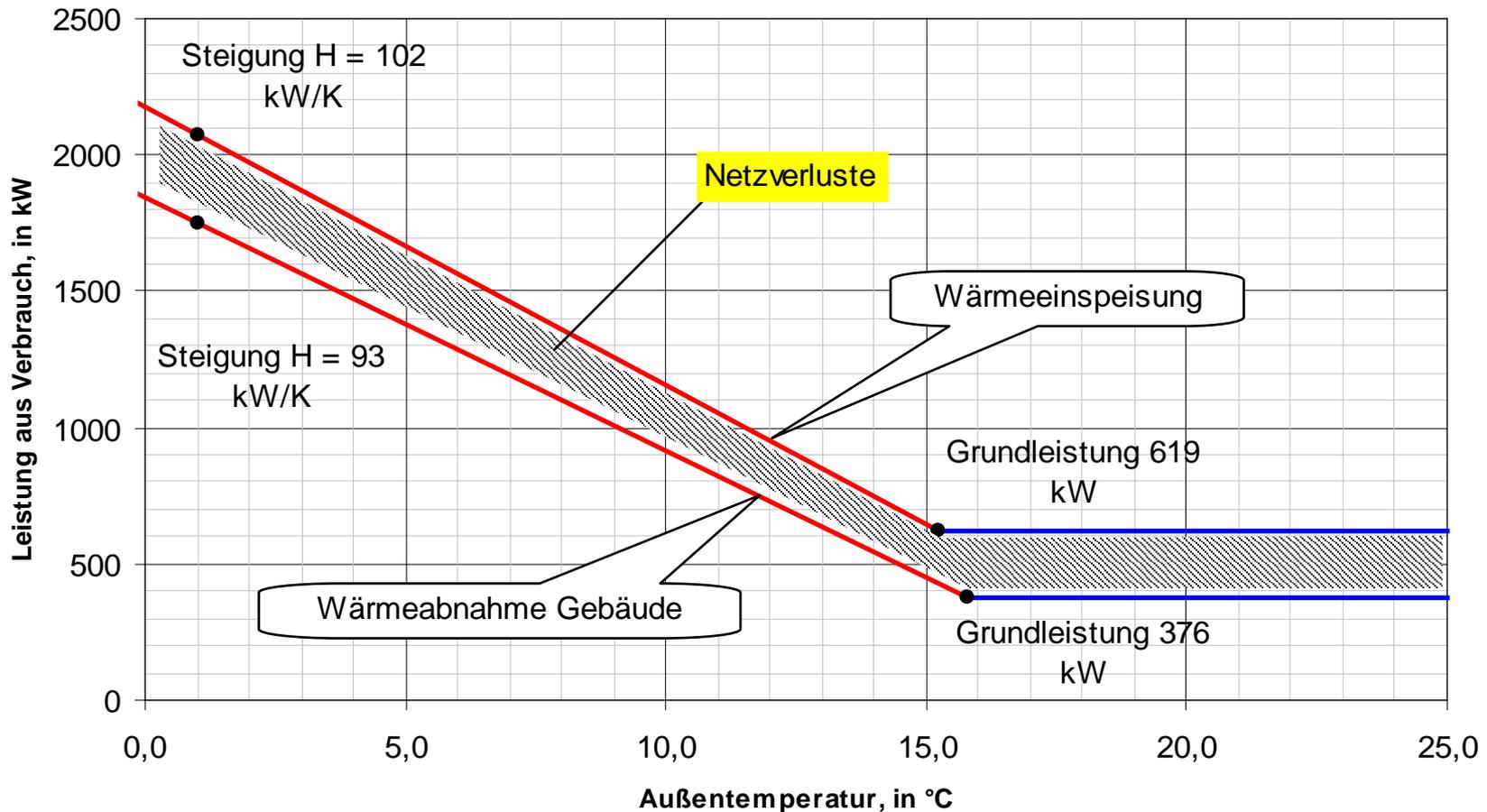


## Verbrauchsauswertung: Abnahme der Gebäude

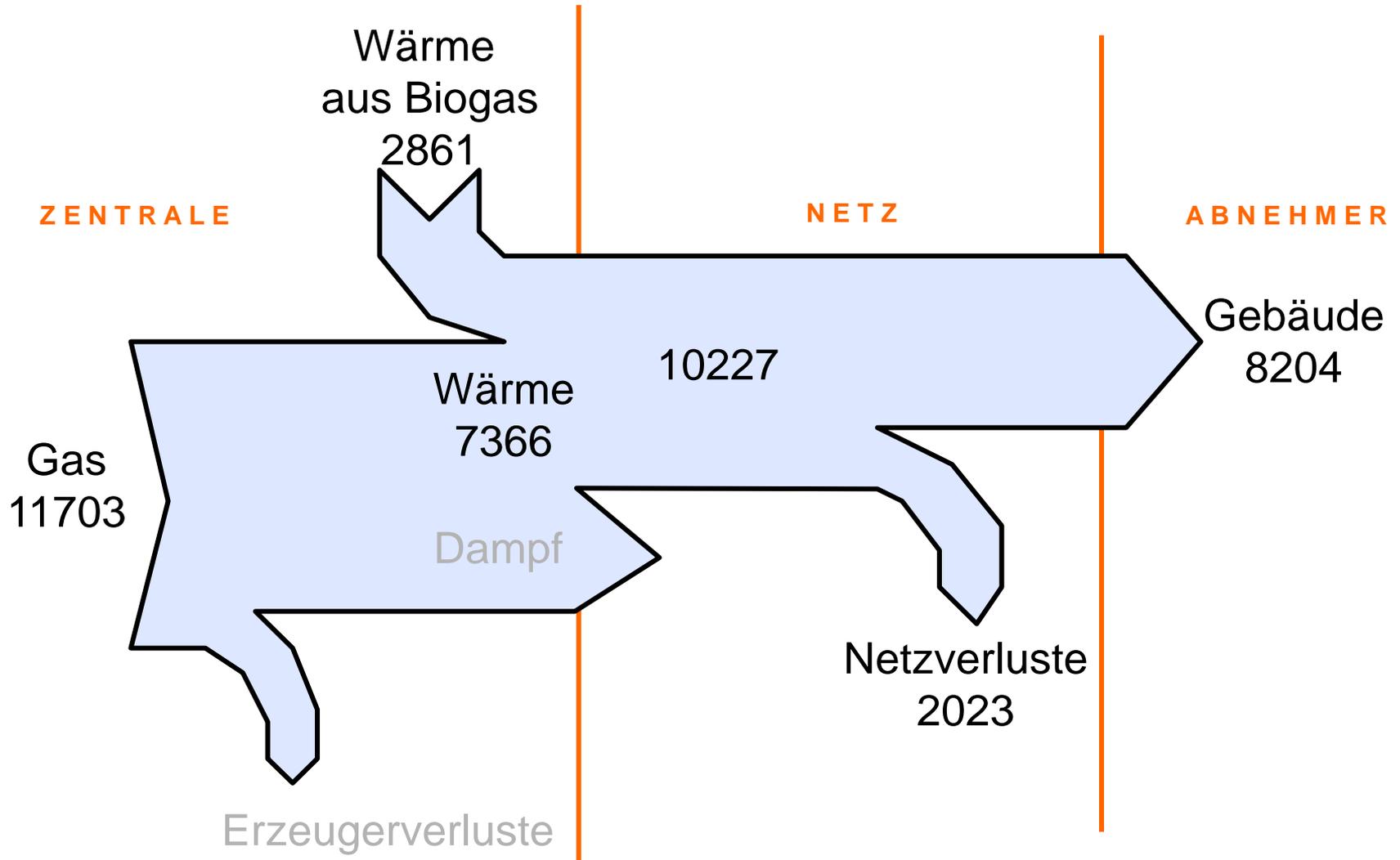
Energieanalyse aus dem Verbrauch:  
Abnahme Summe aller Gebäude



## Verbrauchsauswertung: Netzverluste



### Verbrauchsauswertung: Gesamtenergieflussbild in MWh



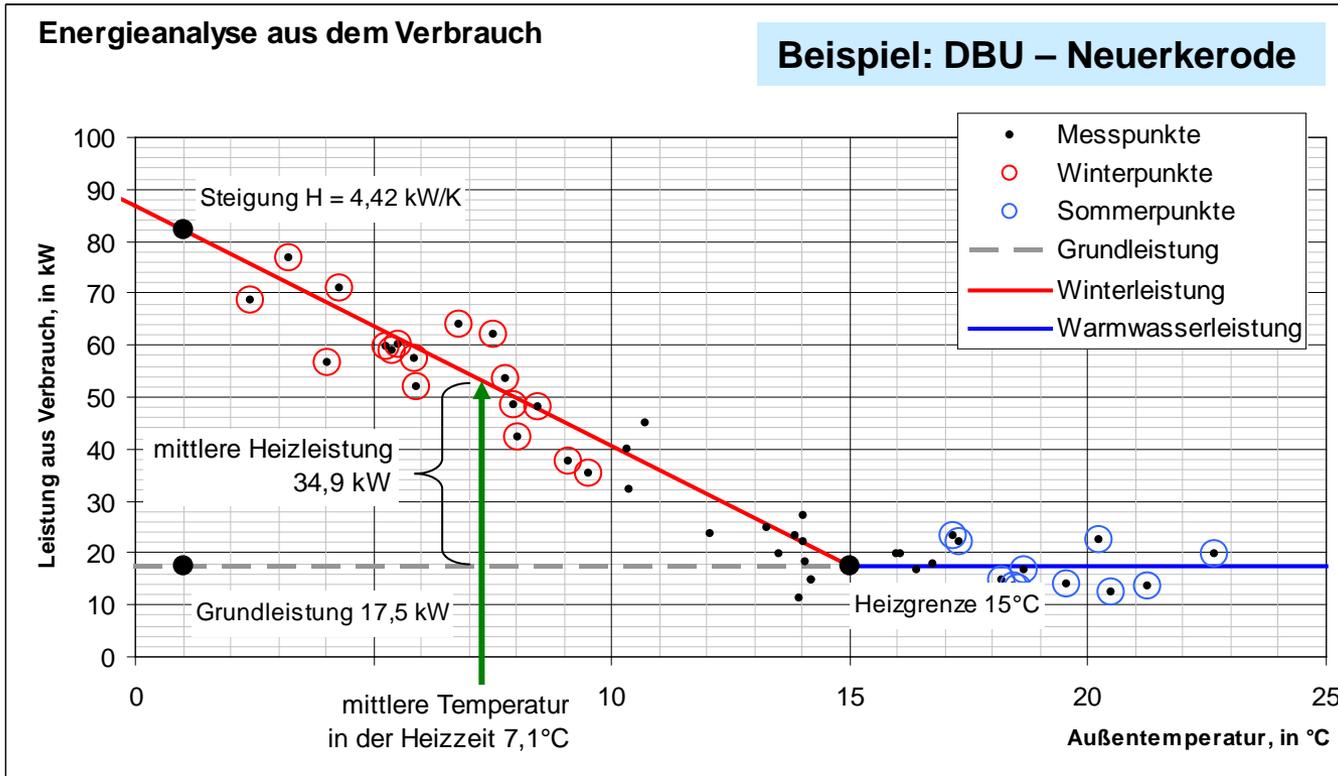
# Status: Gebäudeberichte

## Beispielbericht: Krankenhaus - Überblick



- 1 **Einleitung**
- 2 **Vorhandener Zustand**
  - 2.1 Allgemeines
  - 2.2 Beheizter Bereich
  - 2.3 Nutzerverhalten
  - 2.4 Baukörper
  - 2.5 Anlagentechnik
  - 2.6 Energiebilanz
  - 2.7 Verbrauchsdaten
- 3 **Verbesserungsmaßnahmen**
  - 3.1 Allgemeine Annahmen und Randdaten
  - 3.2 Maßnahmenbeschreibung und Kosten
  - 3.3 Energieeinsparung durch Maßnahmenpakete
  - 3.4 Finanzierung und Wirtschaftlichkeit
- 4 **Zusammenfassung**
  - 4.1 Endenergie und Heizlast
  - 4.2 Investitionskosten
  - 4.3 Wirtschaftlichkeit
  - 4.4 Umweltrelevanz
- 5 **Empfehlungen und Umsetzung**
- 6 **Anhang**

## Monatliche Verbrauchserfassung und Messungen: Datenauswertung als neues Dienstleistungsangebot – Transparenz - Erfolgskontrolle



Schwankungen bei gleicher Außentemperatur belegen:

Notwendigkeit von Messungen über längere Zeiträume für Gebäude- und Kesseffizienz (kein kurzer Heizungscheck)

Jahresenergiemenge:

363 MWh/a

$$34,9 \text{ kW} \cdot 251 \text{ d/a} \cdot 24 \text{ h/d} = 210 \text{ MWh/a (58\%)}$$

$$+ 17,5 \text{ kW} \cdot 365 \text{ d/a} \cdot 24 \text{ h/d} = 153 \text{ MWh/a (42\%)}$$

## Fazit

- Fazit: das wirtschaftlichste Anlagensystem gibt es nicht, sondern jeweils eine **Individuallösung!** Beratung erforderlich!
- generell: **bauliche und anlagentechnische Maßnahmen sollten nicht gegenseitig aufgerechnet werden**, sondern sich im Sinne des Klimaschutzes geeignet ergänzen!
- hinsichtlich **EnEV und EEWärmeG sollte eine Vereinheitlichung unter einem Dach** angestrebt werden!
- Die derzeitige Bewertung von Biomasse sollte revidiert werden: Einführung eines „**Biomassebudgets**“: 30 – 35 kWh/(m<sup>2</sup> a)
- Zukünftig: **Baubegleitung mit Qualitätssicherung und mindestens einjährige monatliche Verbrauchsmessung vorher – nachher als Erfolgsnachweis**

# Weitere Informationen:

[www.delta-q.de](http://www.delta-q.de)

[www.co2-online.de](http://www.co2-online.de)

(Energiesparkonto)

*Wer verarmen will und weiß nicht wie, kauf alte Häuser und baue sie.*

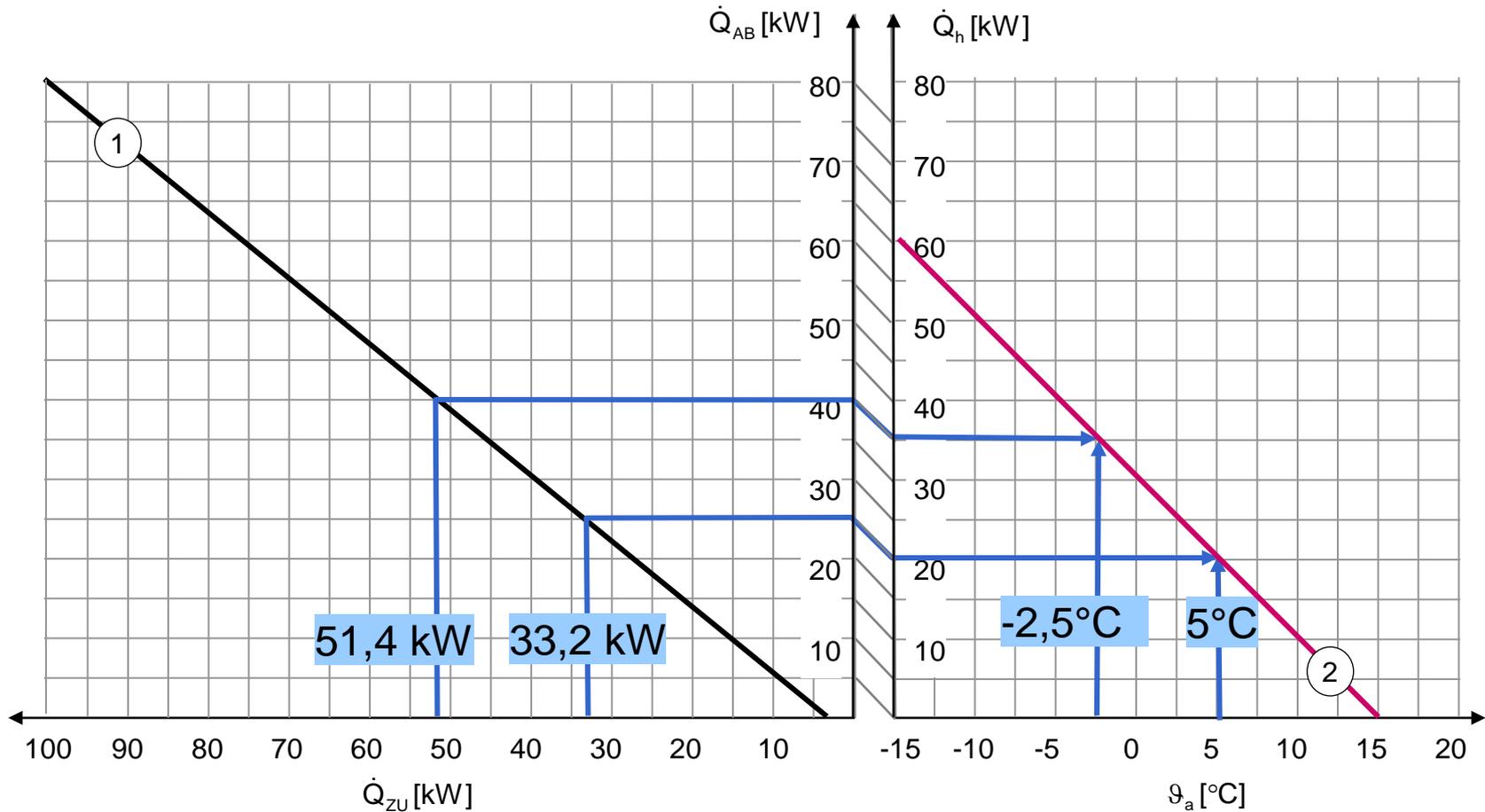
**Praxis**

***E – A – V: Energieverbrauchsanalyse: (H/A<sub>EB</sub> mal G) + ΔQ  
Die Zusammenführung von Bedarfs- und Verbrauchsausweis***

- *Gebäude*
  - *1000 m<sup>2</sup> beheizte Fläche*
  - *Warmwasserbereitung elektrisch*
- *Gaskessel*
  - *Kesselnennleistung 80 kW*
  - *Kesselwirkungsgrad (brennwertbezogen) 80%*
  - *Bereitschaftsverluste (brennwertbezogen) 0,028 bzw. 2,8 kW*
- *Verteilverluste im Keller 5 kW (konstant, da mit Überströmregelung)*
- *Verbrauchsdaten/Außentemperatur*
  - *Dezember: 3000 m<sup>3</sup> = 33.600 kWh (brennwertbezogen)/-2,5°C*
  - *März: 1800 m<sup>3</sup> = 20.000 kWh (brennwertbezogen)/+5,0°C*
- ***Gesucht: Fingerabdruck des Gebäudes: H/A<sub>EB</sub> in W/(m<sup>2</sup>K) – G<sub>12-15°C</sub>  
Fingerabdruck der Anlage: ΔQ in kWh/(m<sup>2</sup> a) bzw. η<sub>ges</sub>  
Jahres-Nutz- und Verlustwärmengen in kWh/(m<sup>2</sup> a)***

**Praxis**

**Bessere Einsparprognose durch Energieanalyse aus dem Verbrauch  
Zwei Monatsmessungen für die "Fingerabdrücke" Anlage - Gebäude**



**Praxis**

**„Fingerabdruck des Gebäudes“ und Heizgrenze**

Fingerabdruck des Gebäudes:  
(Steigung)

$$H = \frac{\Delta \dot{Q}_h}{\Delta \vartheta_a} = \frac{(35 - 20) \text{ kW}}{(5 - (-2,5)) \text{ K}} = 2 \frac{\text{ kW}}{\text{ K}}$$

$$h = \frac{H}{A_{EB}} = \frac{2 \text{ kW / K}}{1000 \text{ m}^2} = 2 \frac{\text{ W}}{\text{ m}^2 \text{ K}}$$

... bezogen auf die  
beheizte Fläche

Heizgrenztemperatur:  
(Nullstelle)

$$\vartheta_{HG} = 15^\circ \text{ C}$$

**Praxis**

**„Fingerabdruck der Anlage“: Nutzungsgrade und Kesselverluste**

Jahresnutzungsgrad des Kessels

$$\eta_a = \frac{Q_{AB,a}}{Q_{ZU,a}} = \frac{\dot{Q}_{AB,m} \cdot 6000 \text{ h/a}}{\dot{Q}_{ZU,m} \cdot 6000 \text{ h/a}} = \frac{25 \text{ kW}}{33,2 \text{ kW}} = 75,3\%$$

Gesamtnutzungsgrad

$$\eta_{\text{gesamt}} = \frac{Q_h}{Q_{ZU,a}} = \frac{\dot{Q}_h \cdot 6000 \text{ h/a}}{\dot{Q}_{ZU,m} \cdot 6000 \text{ h/a}} = \frac{20 \text{ kW}}{33,2 \text{ kW}} = 60,2\%$$

## Praxis

**Jahresenergiemengen [alle Werte durch 1000 m<sup>2</sup> geteilt ergeben kWh/(m<sup>2</sup> a)]**

Transmission  $Q_T = 1,32 \frac{\text{kW}}{\text{K}} \cdot (20 - 5)\text{K} \cdot 6000\text{h/a} = 118.800\text{kWh/a}$

Lüftung  $+ Q_V = 0,68 \frac{\text{kW}}{\text{K}} \cdot (20 - 5)\text{K} \cdot 6000\text{h/a} = 61.200\text{kWh/a}$

Wärmegewinne  $- Q_{\text{Gewinne}} = 10\text{kW} \cdot 6000\text{h/a} = 60.000\text{kWh/a}$

---

**Heizwärme**  $= Q_h = 20\text{kW} \cdot 6000\text{h/a} = 120.000\text{kWh/a}$

---

---

Verteilverluste  $+ Q_d = 5\text{kW} \cdot 6000\text{h/a} = 30.000\text{kWh/a}$

**Erzeugerverluste**  $+ Q_g = (199,2 - 120 - 30)\text{MWh/a} = 49.200\text{kWh/a}$

---

**Heizenergie**  $= Q_H = 33,2\text{kW} \cdot 6000\text{h/a} = 199.200\text{kWh/a}$

---

---