



Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff  
Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel

## **"Wie viel Energiepass kann sich die Wohnungswirtschaft leisten?"**

**vdw-Energietage 2004**

**21./22. September 2004 in Hannover**



## **Gliederung**

- 1. Ziele und Inhalte der EU-Richtlinie**
- 2. Bedarfs- und Verbrauchsorientierter Energiepass**
- 3. Praxiserfahrungen aus Feldmessungen**
- 4. Vorschläge: Energieanalyse aus dem Verbrauch**



## Ziele eines Energiepasses nach der EU-Richtlinie: "Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden"

(In Anlehnung an Ausführungen von S. Rehberg (GDW) und Dr. Hengstenberg (AGE))

1. Schaffung von Transparenz für Käufer und Mieter beim wärmetechnischen Zustand von Wohngebäuden.
2. Dieser soll am Miet- und am Immobilienmarkt Preisbildendes Element werden und Impulse zur wärmetechnischen Verbesserung auslösen.
3. 17 Mio. EFH und 19 Mio. WE in 2 Mio. MFH-Gebäuden sind betroffen (Mieterwechsel oder Verkauf)

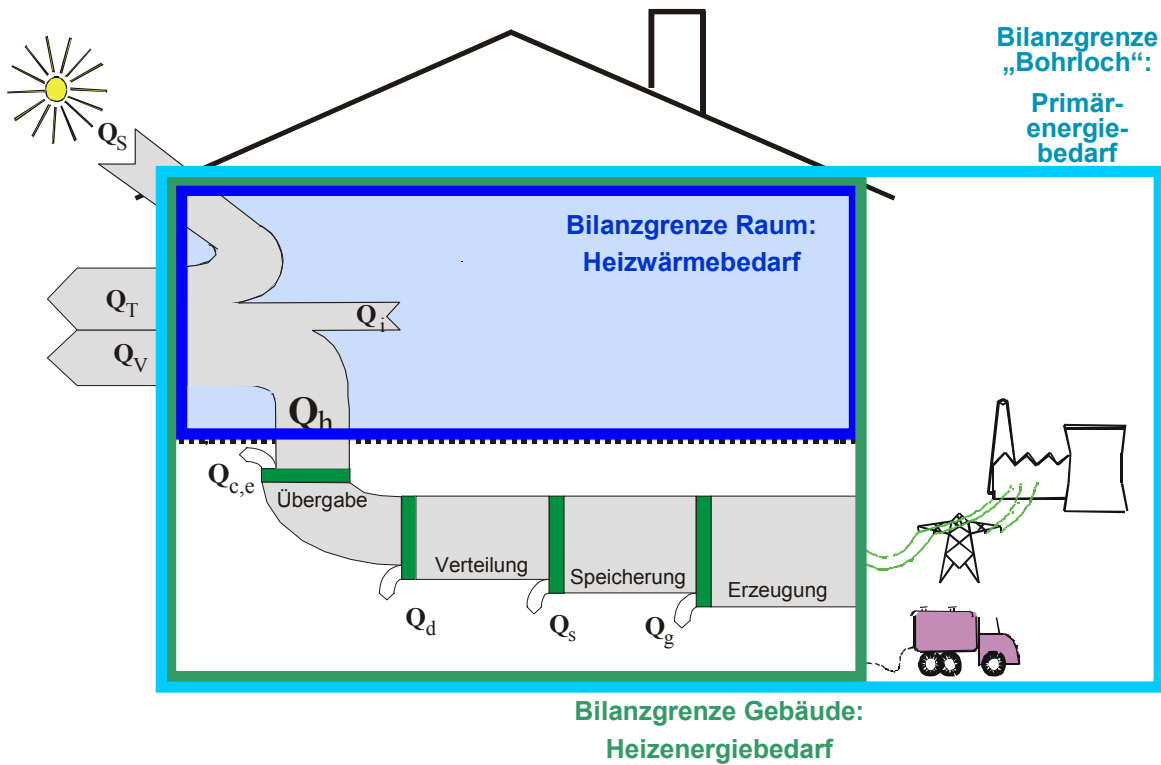


## Wesentliche Inhalte der EU-Richtlinie: "Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden"

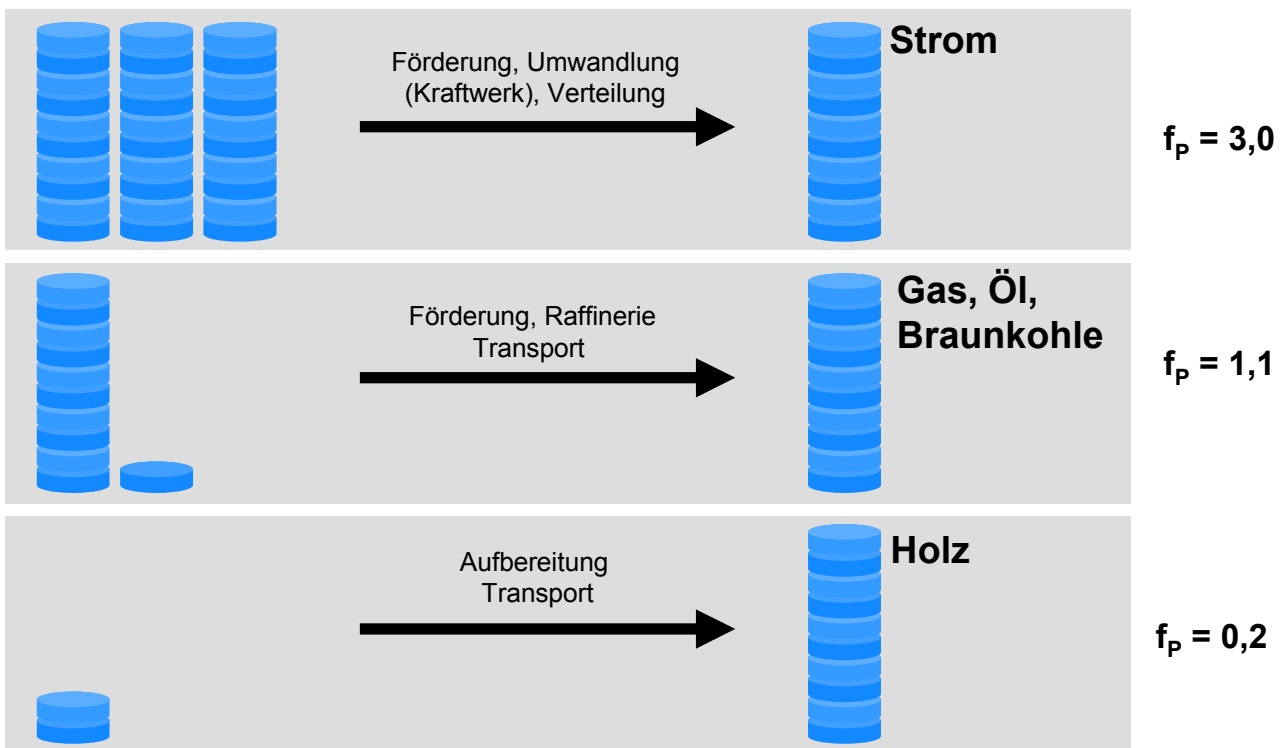
- Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz neuer und bestehender Gebäude ( $> 1000 \text{ m}^2$ ), die einer Renovierung unterzogen werden
- Inspektion von Heizkesseln und Klimaanlage (alle 2 bis 4 Jahre); bei Heizkesseln älter als 15 a: einmalige Inspektion der gesamten Heizungsanlage mit Empfehlungen zur Anlagenverbesserung oder -austausch
- Festlegung einer nationalen Berechnungsmethode **Heutiges Thema**
- Erstellung von Informationen über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, die der Information dienen sollen



Bestand: Bedarfsnachweis wie bei EnEV oder Verbrauchskennwerte?



Primärenergie und Primärenergiefaktoren:





## Unterscheidung:

**EPb: Energiepass Bedarfsorientiert. Bedarf = Rechnerischer Wert**

**Grundlage für die Erstellung des „Bedarfsbasierten Energiepasses“ (EPb) ist eine dingliche Bestandsaufnahme der wärmetechnisch relevanten Komponenten eines Wohngebäudes durch einen Fachmann mit entsprechender formeller Qualifikation. Zur Erstellung ist eine Begehung des Gebäudes notwendig.**

**Den höchsten Aufwand erfordert die Aufnahme der Größe und Qualität (U-Werte) der Bauteilflächen. Wird mit Gebäude- und Anlagentypologien gearbeitet (Level B), ist mit sehr großen und nicht akzeptablen Bandbreiten zu rechnen.**



## Beispiel: Aufbau eines Gebäudeenergiepasses (Mantel)

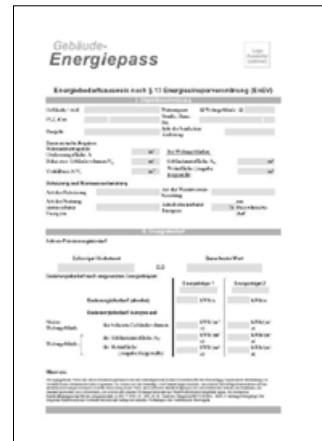
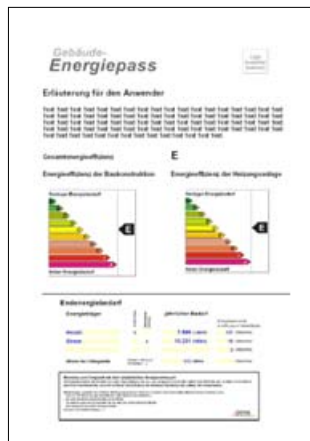
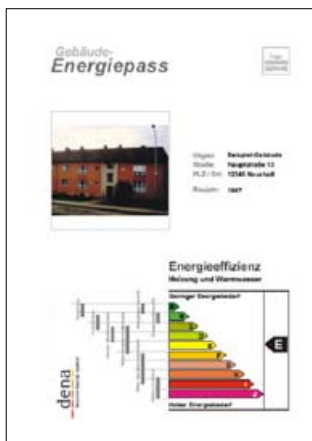
Quelle: dena

Seite 1

Seite 2

Seite 3

Seite 4

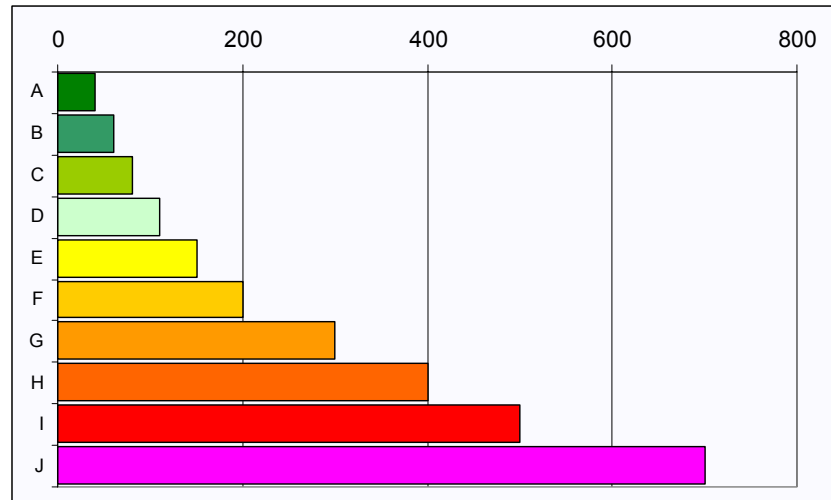




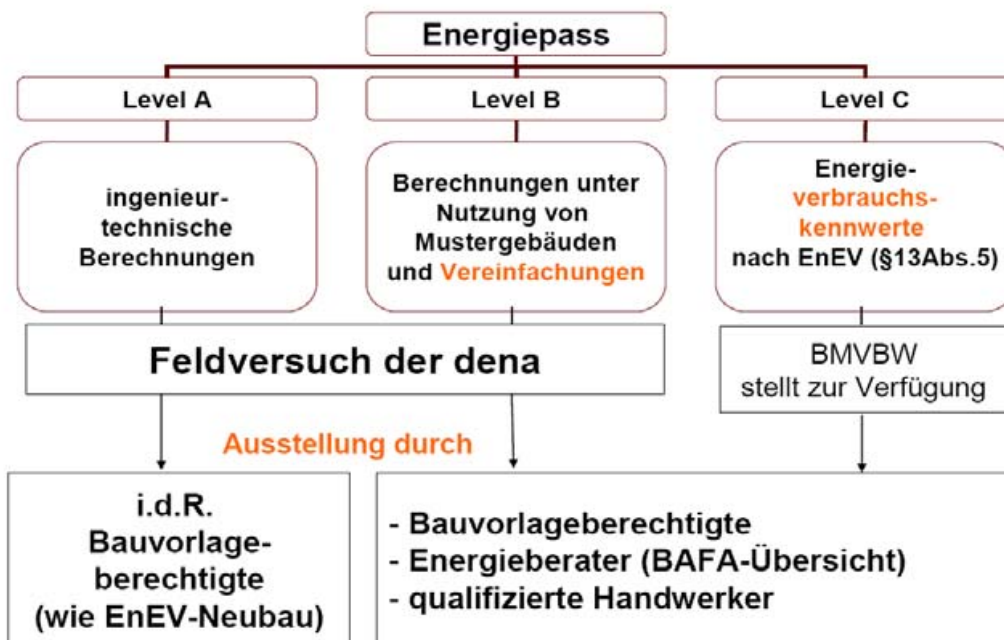
Arbeitsstand: Klassengrenzen Neubau und Bestand

Quelle: dena

A	0 bis 40 kWh/(m²a)
B	41 bis 60 kWh/(m²a)
C	61 bis 80 kWh/(m²a)
D	81 bis 110 kWh/(m²a)
E	111 bis 150 kWh/(m²a)
F	151 bis 200 kWh/(m²a)
G	201 bis 300 kWh/(m²a)
H	301 bis 400 kWh/(m²a)
I	401 bis 500 kWh/(m²a)
J	über 500 kWh/(m²a)



Verschiedene Energiepass-Level





## Energieverbrauchskennwerte - Vergleich durch Typologisierung (Level B):

Gebäudetypen	Kürzel	Gruppen der Baualtersklassen			
		bis 1957	1957-1977	1977-1995	1995-heute
Einfamilienhäuser	EFH				
Reihenhäuser	RH				
kleine Mehrfamilienhäuser	KMH				
große Mehrfamilienhäuser	GMH				
Hochhäuser	HH				



## Unterscheidung:

**EPv: Energiepass verbrauchsorientiert: Verbrauch = Messwert**

Der verbrauchsbasierte Energiepass (EPv) baut auf den bereits vorhandenen Daten der verbrauchsabhängigen Heizkostenabrechnung und / oder der Energierechnung des EVU und auf zusätzlichen Angaben der Haus-/WEG-Eigentümers bzw. der Bewohner auf. Er kann von Heizkostenverteilerfirmen und von EVUs als kostengünstiger Service angeboten werden. Eine Begehung des Gebäudes durch einen Fachmann ist nicht notwendig.

***Untersuchungen an der FH Wolfenbüttel zeigen, dass Daten zum Gebäude und zur Anlagentechnik durch Auswertung monatlicher Verbrauchsdaten in Korrelation zur mittleren Monatsaußentemperatur ermittelt werden können.***



## CCi vom 2.7.2004 - Energieausweise: Darf's auch ein wenig einfacher sein?

### Neubau



Bedarfsbilanz mit normierten (aber realistischen!) Randbedingungen – heute EnEV Normen (nicht erfüllt), künftig DIN 18599

### Bestand: ohne Modernisierung



Einfach und kostengünstig: verbrauchsorientierter Energiepass, Bewertung bereinigter Verbrauchswerte mit Primärenergiefaktoren

### Bestand: mit Modernisierung



Detaillierte Analyse – z.B. nach DIN 18599

- Abgleich zwischen Verbrauch und Bedarf
- Berücksichtigung der Analyseergebnisse bei der Ermittlung des künftigen Bedarfs!

***Wenn die aus Bedarfsrechnungen ermittelte Einsparung größer ist als der derzeitige Verbrauch sollte man aufhören! Deshalb bitte keine Festlegung von Bedarfswerten für den Bestand durch den Gesetzgeber!***



## Kosten für die Erstellung eines Energiepasses:

### EPb:

Die Kosten für die Erstellung eines EPb betragen nach HOAI etwa 300,- € pro Gebäude. Geringere Honorare sind nicht auskömmlich bzw. nur dann, wenn ein Anschlussauftrag erteilt wird. Für 19 Mio. Gebäude entstehen Kosten von 5-6.000 Mio. €, davon etwa 600 Mio. € für den MFH-Bestand.

### EPv:

Den EPv können Heizkostenverteilerfirmen und EVUs als kostengünstigen Service anbieten. Im MFH-Bestand entstehen Kosten von nur ca. 10 Mio. €, im EFH-Bestand (leitungsgebundene Energieversorgung) ca. 100 Mio. €. Die Höhe dieser Kosten hängt vom Leistungsumfang ab, der mit dem neuen Service verbunden ist.



## Methode für die Erstellung eines Energiepasses:

### EPb:

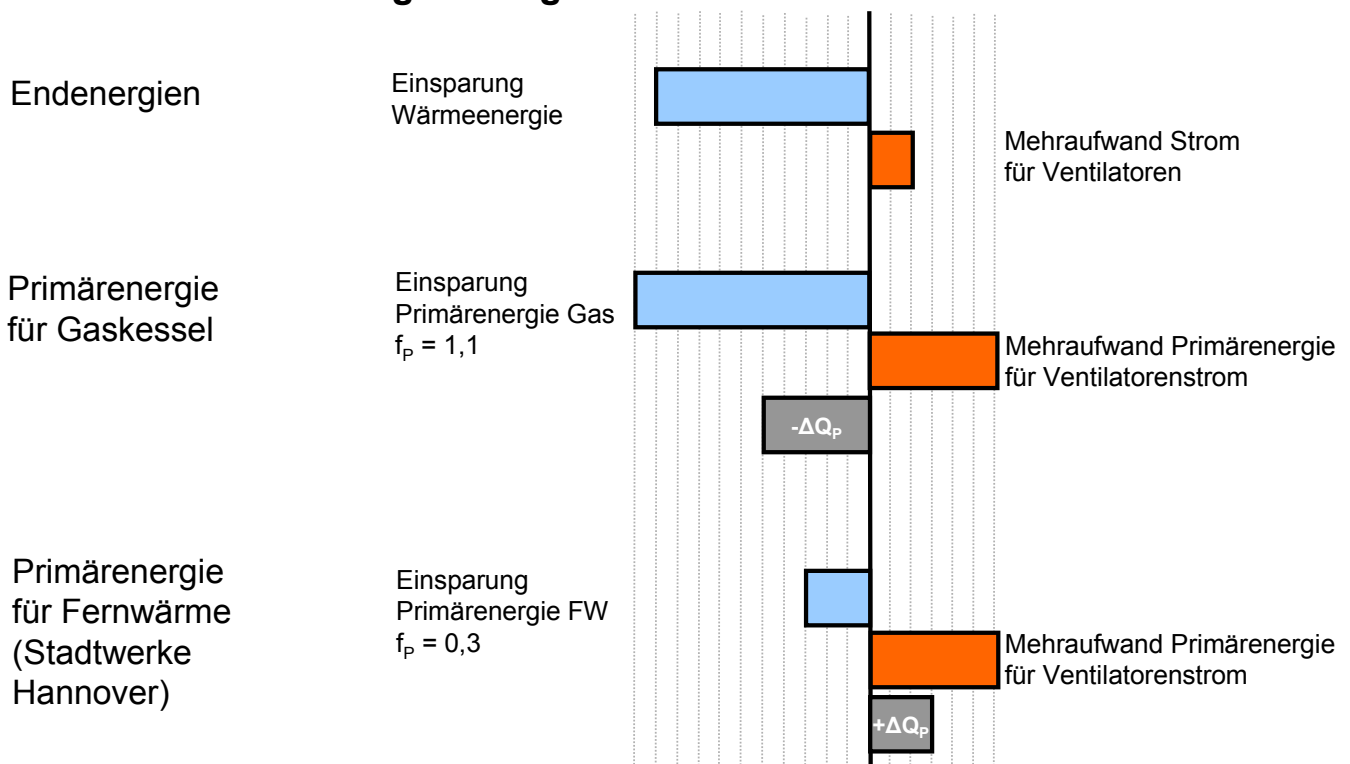
Der EPb ermittelt und bewertet den wärmetechnischen Zustand des Gebäudes und berechnet einen **fiktiven Primärenergiebedarf (Bsp.)**. Der Vor-Ort-Berater liefert eine mehr oder weniger zuverlässige Beschreibung des vorhandenen Dämmzustandes sowie der Anlagentechnik und erkennt offensichtliche Mängel.

### EPv:

Der EPv erfasst den Endenergieverbrauch und implizit den Primärenergieverbrauch (Heizung, Hilfsenergie) des Gebäudes und schließt davon auf dessen wärmetechnischen Zustand. Bei erkennbaren Mängeln empfiehlt er den fachlichen Rat von Vor-Ort-Beratern, welche den Ursachen für erhöhten Verbrauch auf den Grund gehen.



## Paradox ?! – Wohnungslüftung mit WRG in der EnEV





## Praxisrelevanz eines Energiepasses:

### EPb:

Der fiktive Primärenergiebedarf ist keine Basis für die Bewertung der Heizkosten des Gebäudes, weil der tatsächliche Primärenergieverbrauch vom fiktiven Primärenergiebedarf abweicht (Standardabweichung bei Bedarfsrechnungen nach EnEV  $> 0,3$ , Siehe "Peter Meier"!).

### EPv:

Der EPv ermöglicht die Bewertung (z.B. eine Überprüfung der Anschlussleistungen bei Versorgung mit Erdgas und FW, überhöhte Heiznebenkosten) der Heizkosten des Gebäudes, weil die relevanten Kostenarten Teil der Datenbasis sind. Eine Bewertung der Heizkosten kann nur auf dem faktisch gemessenen Heizenergieverbrauch aufbauen.



## Im Jahr 2004: Peter Meiers Rückblick auf die EnEV 2002

Peter Meier wohnt mit seiner **4-köpfigen Durchschnittsfamilie** in einem im Jahr **2002 nach der neuen EnEV fertiggestellten "Niedrigenergiehauses"** mit 130 m<sup>2</sup> beheizter Wohnfläche (Technik: Gasbrennwertkessel mit Warmwasserspeicher, alle Komponenten in der thermischen Hülle).

Die Gasrechnung von 2003 (Jahr mit durchschnittlichem Klima) zeigt einen Gesamtendenergieverbrauch von knapp **18 000 kWh** bezogen auf den Brennwert. Er soll **1023 €** bezahlen.

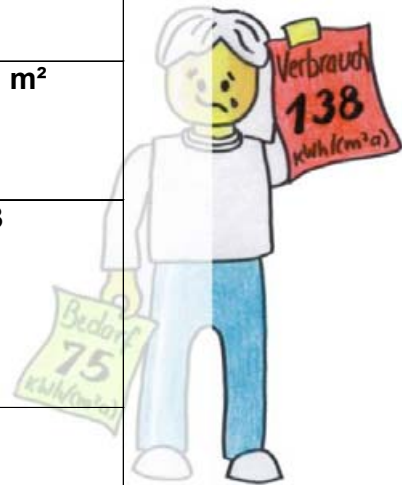
Gerechnet hatte er mit einem Verbrauch von **9750 kWh/a** und einer Rechnung von **563 €**, denn der nach EnEV 2002 vorgeschriebene „Energiebedarfsausweis“ wies einen durchschnittlichen Endenergiebedarf von **75 kWh/(m<sup>2</sup>·a)** aus





## Im Jahr 2004: Peter Meiers Rückblick auf die EnEV 2002

Peter Meiers Erwartung	$75 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) \cdot 130 \text{ m}^2$ = 9750 kWh/a
Rechenwert mit der künstlichen Nutzfläche $A_N$ nach EnEV 2002	$75 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) \cdot 160 \text{ m}^2$ = 12 000 kWh/a
Berücksichtigung der unrealistischen Raum- und Klimadaten und der zu optimistischen Annahmen in den Normen DIN V 4701-10 und DIN V 4108-6	$12\,000 \text{ kWh/a} \cdot 1,33$ = 15 960 kWh/a.
Berücksichtigung der Verrechnung des Gasversorgungsunternehmens auf den Brennwert	$15960 \text{ kWh/a} \cdot 1,1$ = 17 716 kWh <sub>Ho</sub> /a
Verbrauch 2003	knapp 18 000 kWh/a



## Genauigkeit eines Energiepasses:

### EPb:

Genauigkeit heißt hier: Die Übereinstimmung des tatsächlichen, gemessenen Primärenergieeinsatzes mit dem berechneten Primärenergiebedarf. Die Genauigkeit hängt auch von der Sorgfalt und dem Aufwand ab, mit der der Architekt / Energieberater die Erhebung durchführt.

***Eigene Untersuchungen: Abweichungen zwischen 10 – 150%!***

### EPv:

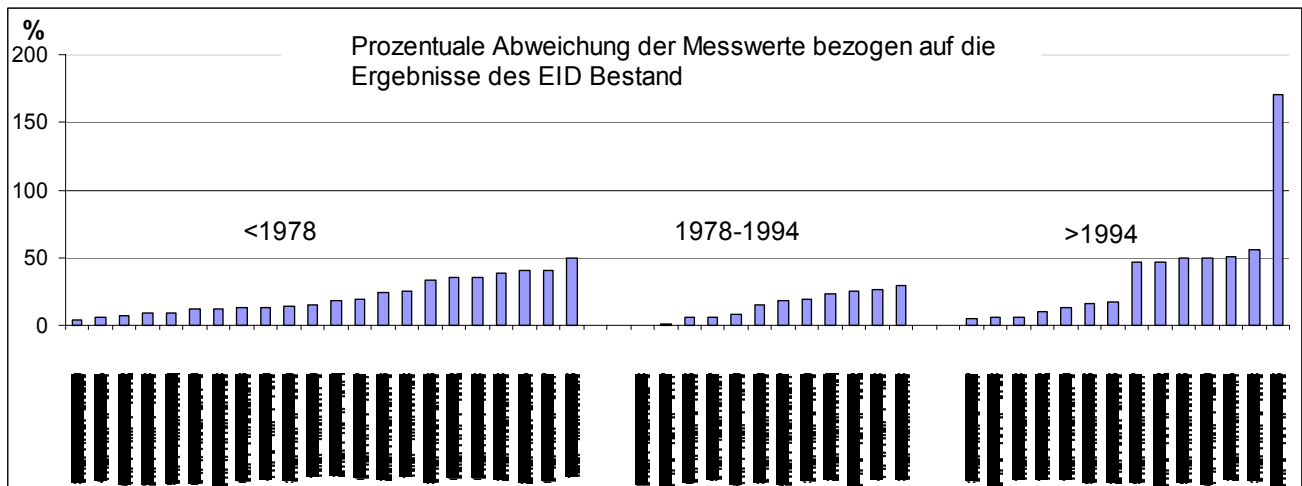
Genauigkeit heißt hier: Die Treffsicherheit der Schlussfolgerung vom Primärenergieeinsatz auf den wärmetechnischen Zustand des Gebäudes. Die Korrelation zwischen Primärenergieeinsatz und wärmetechnischem Zustand unterliegt Störeinflüssen.



## DBU-Projekt OPTIMUS:

### Anwendung der gewonnenen Erkenntnisse auf die Erstellung eines Energiepasses

- Vergleich des Jahresheizwärmebedarfs nach EID Bestandsenergiepass mit den Verbrauchsmesswerten



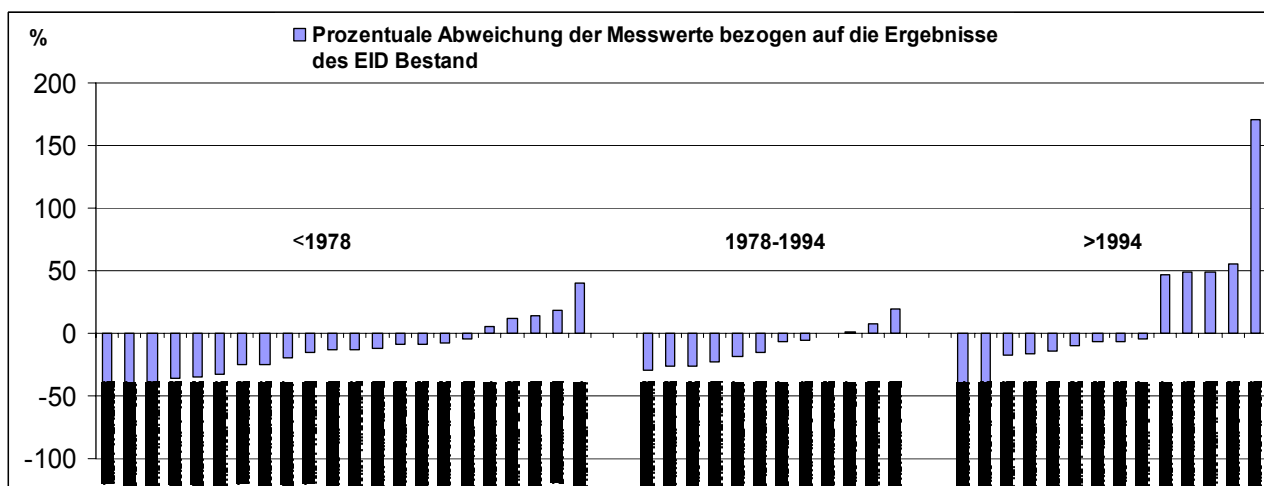
- Erarbeitung von Vorschlägen für einen **verbrauchsorientierten Energiepass**



## Weitere Tätigkeitsbereiche:

### Anwendung der gewonnenen Erkenntnisse auf die Erstellung eines Energiepasses

- Vergleich des Jahresheizwärmebedarfs nach EID Bestandsenergiepass mit den Verbrauchsmesswerten



- Erarbeitung von Vorschlägen für einen **verbrauchsorientierten Energiepass**



## Akzeptanz eines Energiepasses:

### EPb:

Der EPb wird für alle Gebäude/Wohnungen ausgestellt, die verkauft oder neu vermietet werden und für die es noch keinen Wärmebedarfsausweis (Baujahr vor 1995) gibt. Eigentümer von vermieteten Gebäuden oder WEGs, die wärmetechnisch intakt sind, werden EPb wohl als „Abzocke“ verstehen (ähnlich dem Ressentiment gegenüber Schornsteinfegern bei Brennwertkesseln).

### EPv:

Leistung wird als kostengünstiger Zusatz-Service von Heizkostenverteilerfirmen und EVUs für alle Wohngebäude angeboten, die sich für den EPv eignen. EPv wird als wichtige Entscheidungshilfe akzeptiert, von der Wohnungswirtschaft bereits seit Jahren gefordert (BBU, VNW, GdW) und teilweise von ihr auch praktiziert.



## Nutzen eines Energiepasses:

### EPb:

Gering, da Mieter und Immobilienkäufer den Endenergieverbrauch bewerten, nicht den Primärenergiebedarf.

Gering, da Bewertung des Gebäudes und nicht der einzelnen Wohnung.

Im Kostenrahmen von 300 € je EPb ist kein Mechanismus möglich, der die Bewertung des Heizenergieverbrauchs jeder einzelnen Wohnung eines Gebäudes jedem einzelnen WEG-Eigentümer/Mieter zugänglich macht (keine Bewertung des Nutzerverhaltens und der strukturellen Mängel im Wärmeschutz des Gebäude).



## Nutzen eines Energiepasses:

### EPv:

Erheblich, weil mit geringem Mehraufwand (Anlage zur jährlichen Abrechnung) alle Mieter und WEG-Eigentümer regelmäßig (im Bereich der HeizkostenVO) eine Bewertung des wärmetechnischen Zustands des Gebäudes erhalten.

Erheblich, weil mit geringfügigem Mehraufwand eine wärmetechnische Bewertung jeder einzelnen Wohnung möglich ist. (Aufspüren struktureller Mängel am Wärmeschutz des Gebäudes durch Auswertung der zur verbrauchsabhängigen Abrechnung erhobenen „Stricheinheiten“ der Heizkostenverteiler oder WMZ,

Erheblich, weil mit demselben Mehraufwand Bewohner darüber aufgeklärt werden können, in welchem Umfang ihr eigenes Verhalten den Heizenergieverbrauch des Gebäudes erhöht.



## Benchmarking durch Energiepass:

### EPb:

Zusatzaufwand für Wohnungswirtschaft, um Aussagen des EPb in das Benchmarking der warmen Betriebskosten zu integrieren

### EPv:

Datenbasis ist Bestandteil des Benchmarking der warmen Betriebskosten. Ergebnisse der Bewertung lassen sich über Schnittstellen in Benchmarking-Systeme übertragen.

***Zukünftig könnte eine Datenbank typischer Kennwerte von Gebäuden und Anlagen in Erweiterung der jährlich erscheinenden TECHEM-Verbrauchsübersichten erstellt werden.***



## Überschlagswerte für den Jahresenergiebedarf:

spezifische Energie in kWh/(m <sup>2</sup> a)		Standard vor '77	Standard '77 bis '95	Standard WSchV '95	Niedrigenergiehaus	Passivhaus
$\eta$ ( $e_g$ )	Nutzungsgrad Kessel (Aufwandszahl)	0,75 (1,33)	0,85 (1,18)	0,87 (1,15)	0,90 (1,11)	0,80 (1,25)
$\beta$ ( $e_g$ )	Nutzungsgrad Wärmepumpe (Aufwandszahl)	-	0,37 (2,7)	0,33 (3,0)	0,28 (3,5)	0,28 (3,5)
$q_T$	Wärmeverlust durch Transmission	200...150	160...100	100...40	70...30	20...10
$q_V$	Wärmeverlust durch Lüftung	80...70	70...60	60...50	40...30	20
$\eta_F \cdot q_S$	nutzbare solare Wärmegewinne	32...20	27...17	25...16	22...15	16...10
$\eta_F \cdot q_I$	nutzbare innere Wärmegewinne	30...20	25...15	18...12	15...10	11...8
$q_H$	Jahresheizwärmebedarf	240...180	190...130	130...60	70...30	20...10
$q_{d,H}$	Verlust der Heizwärmeverteilung	18...9	11...6	10...5	8...4	5...3
$q_{s,H}$	Verlust der Heizwärmespeicherung	9...6	5...3	4...2	3...1	3...1
$q_{g,H}$	Verlust der Heizwärmeerzeugung	80...50	35...20	20...10	9...4	8...4
$q_H$	Jahresenergiebedarf der Heizung	340...230	230...160	170...80	100...40	40...20
$q_w$	Jahreswarmwassernutzbedarf	20...6	20...6	20...6	20...6	20...6
$q_{d,w}$	Verlust der Warmwasserverteilung	19...14	15...8	13...7	10...6	7...5
$q_{s,w}$	Verlust der Warmwasserspeicherung	14...10	9...5	7...4	4...1	4...1
$q_{g,w}$	Verlust der Warmwassererzeugung	17...13	7...5	6...4	4...3	7...5
$q_w$	Jahresenergiebedarf der Warmwasserbereitung	70...50	50...35	45...30	40...25	40...25
$q$	Jahresenergiebedarf für Heizung und Warmwasserbereitung	410...280	280...195	215...110	140...65	80...35



## Qualitätskontrolle handwerklicher Leistungen durch Energiepass:

### EPb:

Der EPb eignet sich nur bedingt zur Qualitätskontrolle handwerklicher Leistungen da dies in der Regel Zusatzleistungen sind, die im Honorarrahmen nicht vorgesehen sind.

### EPv:

Der EPv eignet sich als Basis für die Zusicherung eines durch die Handwerkerleistung zu erzielenden wirtschaftlichen Erfolgs bei Beauftragung

**Qualitätssicherung und –kontrolle der Gebäude- und Anlagentechnik in Planung, Ausführung und Nutzung wird an Bedeutung zunehmen**



## **DBU-Projekt OPTIMUS: Qualitätssicherung in der Anlagentechnik:**

### **Es fehlt im Bereich Heizungstechnik eine Qualitätssicherung wie der Blower- Door- Test in der Gebäudetechnik**

- Bilanziert wird in den Normen zur EnEV eine Ausführung nach den „Regeln der Technik“: ohne Überdimensionierung, mit optimaler Regelung, mit erfolgtem hydraulischen Abgleich und korrekt eingestellter Pumpe
- Fast immer weicht die real ausgeführte Anlage von dem „theoretisch angenommenen Idealzustand“ ab:

### **“Verschwendungspotential der Anlagentechnik“**



## **Verschwendungspotential der Anlagentechnik:**

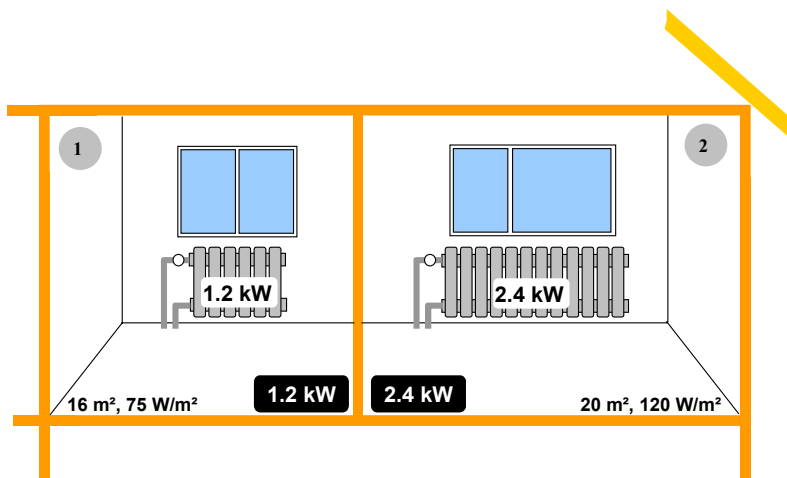
- **Häufigster Grund: Leistungsüberangebot**
  - Heizflächen überdimensioniert
  - Pumpe überdimensioniert und/oder auf höchster Stufe in Betrieb
  - Thermostatventile nicht voreingestellt oder Rücklaufverschraubungen vollständig geöffnet → Anlage nicht hydraulisch abgeglichen
  - zentrale Regler auf Werkseinstellung

### **Ziel des OPTIMUS- Projekts:**

- **Etablieren der Qualitätssicherung im Bereich Heizungstechnik in der Praxis**



## Zwei Räume im ursprünglichen Zustand ...

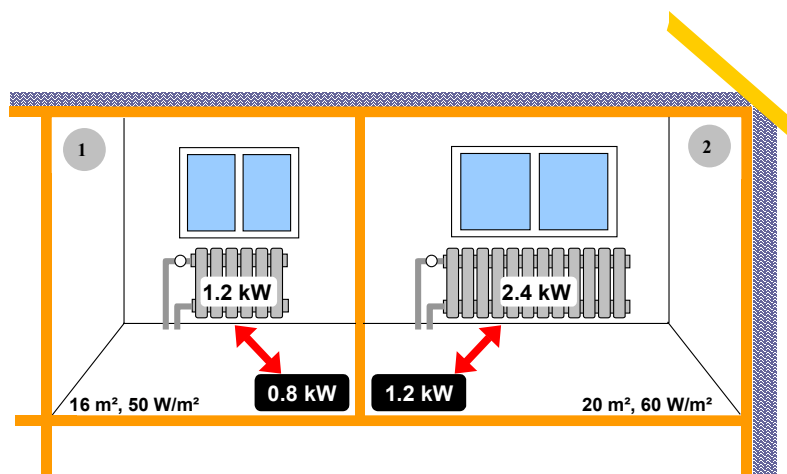


## Situation vorher:

- 2 Räume.
- Temperaturniveau: 80/60°C.
- Je ein Heizkörper, passend zur Heizlast und zum gewählten Temperaturniveau (Plandaten sind bekannt).



## ... und nach der Optimierung



## Situation nach der Sanierung:

Für Raum 1 verringert sich die Heizlast auf **67 %** des alten Wertes.

Für Raum 2 auf **50 %** des alten Wertes.

(Die Leistungen der Heizkörper gelten für das alte Temperaturniveau 80/60°C)

es besteht ein Verschwendungspotential !

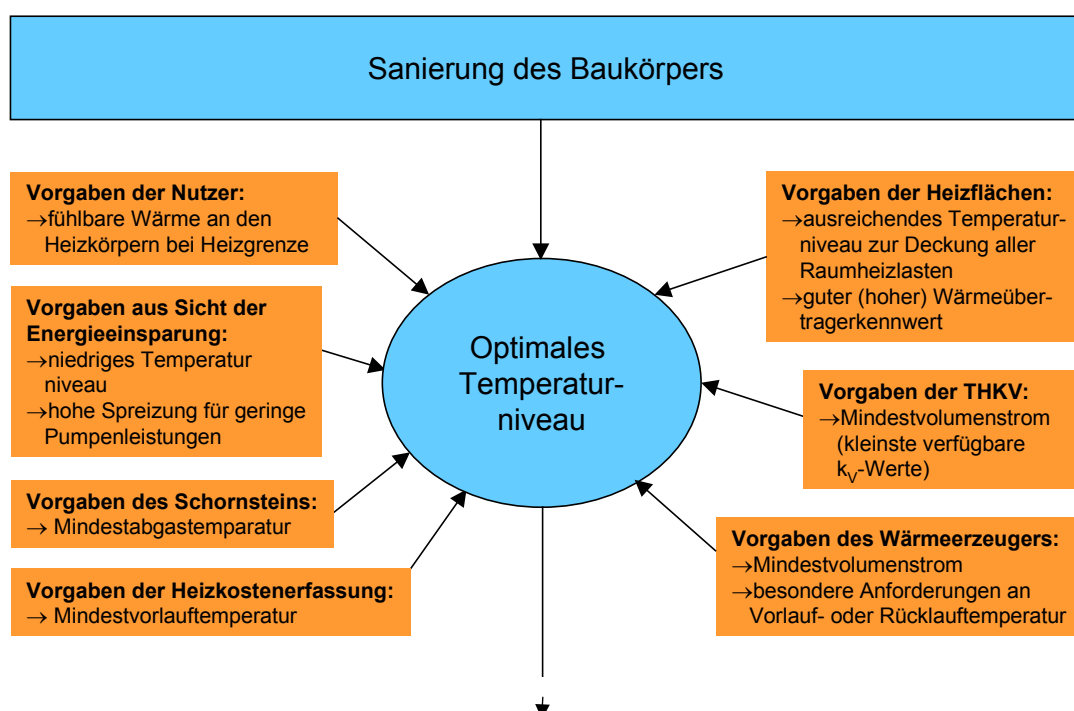


## Maßnahmen im Rahmen des Qualitätssicherungspaket „Heizung“:

- Berechnung der Raumheizlast und der benötigten Vorlauftemperatur
- Berechnung der Druckverluste im Rohrnetz
- Auslegung der Umwälzpumpe
- Auswahl und Voreinstellung der Thermostatventile
- Anpassung der Heizungsregelung

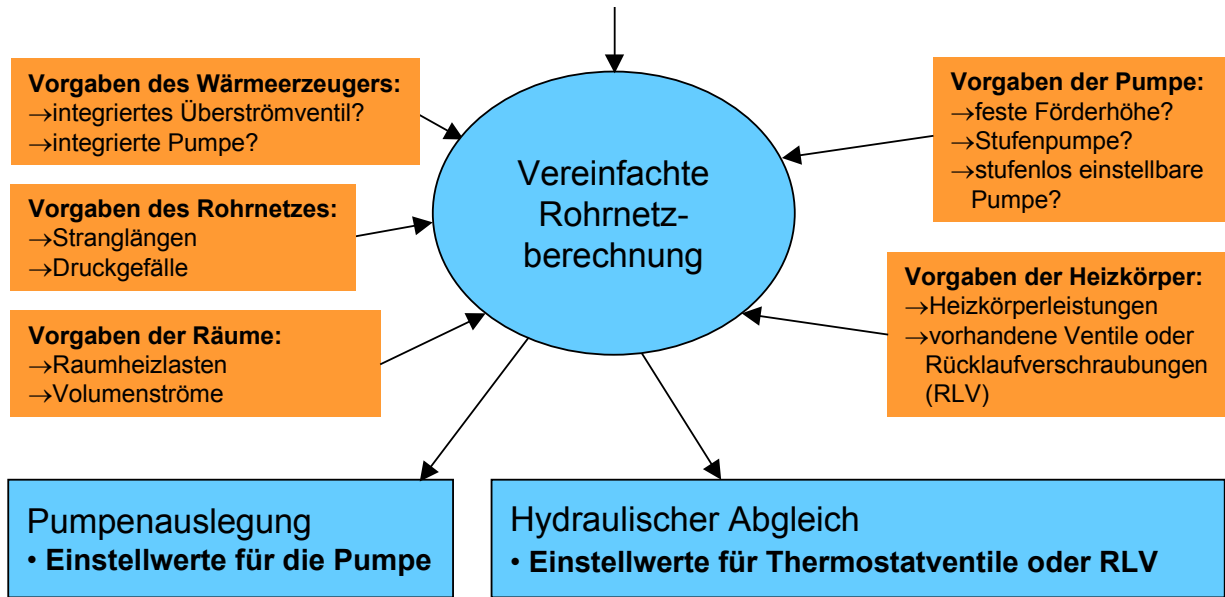


## Was zu beachten ist - Überblick



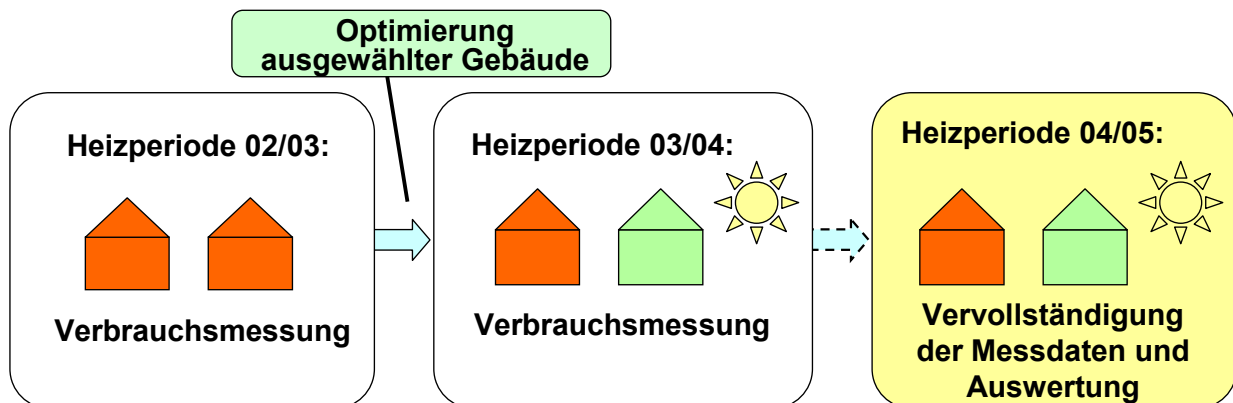


## Was zu beachten ist - Überblick



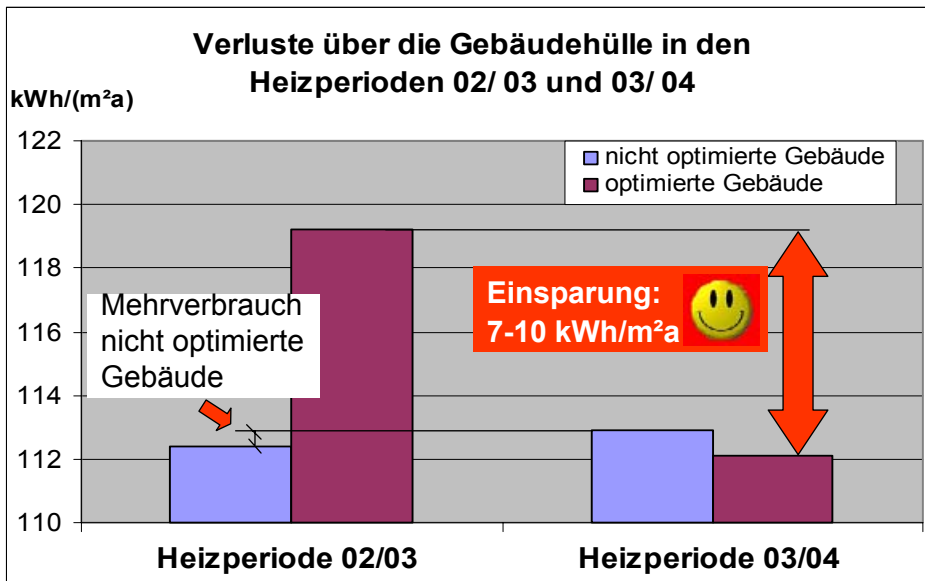
## Strategien:

- Verbesserung der Energieeffizienz von Heizungsanlagen im Gebäudebestand, Nachweis von Einsparpotentialen durch **Optimierung der Anlagentechnik**
  - Messtechnische Erfassung der Verbrauchsdaten von ca.100 Ein- und Mehrfamilienhäusern im Raum Norddeutschland
  - Auswertung der Verbrauchsdaten und Ermittlung des Einsparpotentials durch Optimierung





## Vorläufige Ergebnisse:



Bereinigungsmethode:  
 Gradtagszahlen  
 Gt<sub>20,15</sub> unter  
 Berücksichtigung der  
 Gewinne

Daten: Messwerte  
 Wärmemengenzähler

**Das Ergebnis ist vergleichbar mit dem Einsparpotential eines Blower- Door- Tests**



## Vorläufige Ergebnisse:

- **Schwankungsbreite der Ergebnisse:**

**Absolut- Einsparung : 0...46 kWh/(m<sup>2</sup>a)**

**Prozentual : 0...30%**

- **Durchschnittliche Einsparungen nach Gebäudetyp:**

- Mehrfamilienhäuser: **6 kWh/(m<sup>2</sup>a)**

- Einfamilienhäuser: **8 kWh/(m<sup>2</sup>a)**



## Einzelbetrachtungen von ausgesuchten Gebäuden

- **Beispiel: Mehrfamilienhaus in Braunschweig mit 18 Wohneinheiten, Baujahr 1998, 1250 m<sup>2</sup> beheizte Wohnfläche**



Optimierungsmaßnahmen:

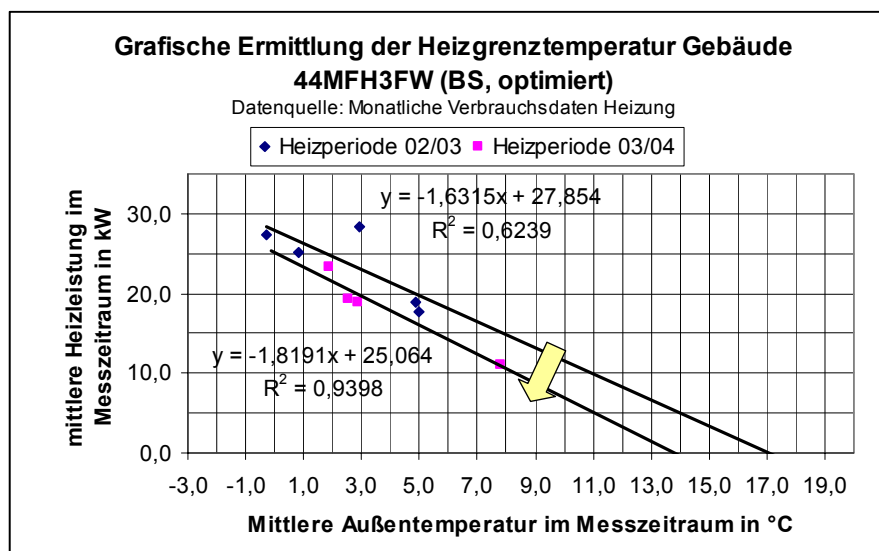
- Voreinstellung der Thermostatventile
- Einstellung der optimalen Pumpenförderhöhe
- Optimale Einstellung der Regelung

- **Verringerung des Verbrauchs thermischer Energie durch Optimierung von:**  
**96 kWh/(m<sup>2</sup>a) auf 71 kWh/(m<sup>2</sup>a)**
- **Das entspricht einer prozentualen Verringerung von 26%**



## Einzelbetrachtungen von ausgesuchten Gebäuden

**Interpretation: Es ist eine Parallelverschiebung erfolgt, die auf niedrigere Innentemperaturen zurückzuführen ist. Erläuterungen folgen!**





## Zusammenführen von EPb und EPv:

Es wird ein sequenzielles Verfahren vorgeschlagen (wie bei der industriellen Qualitätskontrolle): Bei allen Gebäuden mit Leitungsgebundenen Energieträgern wird ein Screening (verbrauchsbasiert) durchgeführt. Überall dort, wo Handlungsbedarf erkennbar ist, werden kombinierte verbrauchs- und bedarfsbasierte EPe erstellt und Verbesserungsmaßnahmen empfohlen. Das maximiert die Effizienz der eingesetzten Mittel, führt am schnellsten zur Entlastung der Umwelt und der Bewohner von überhöhten Heizkosten.



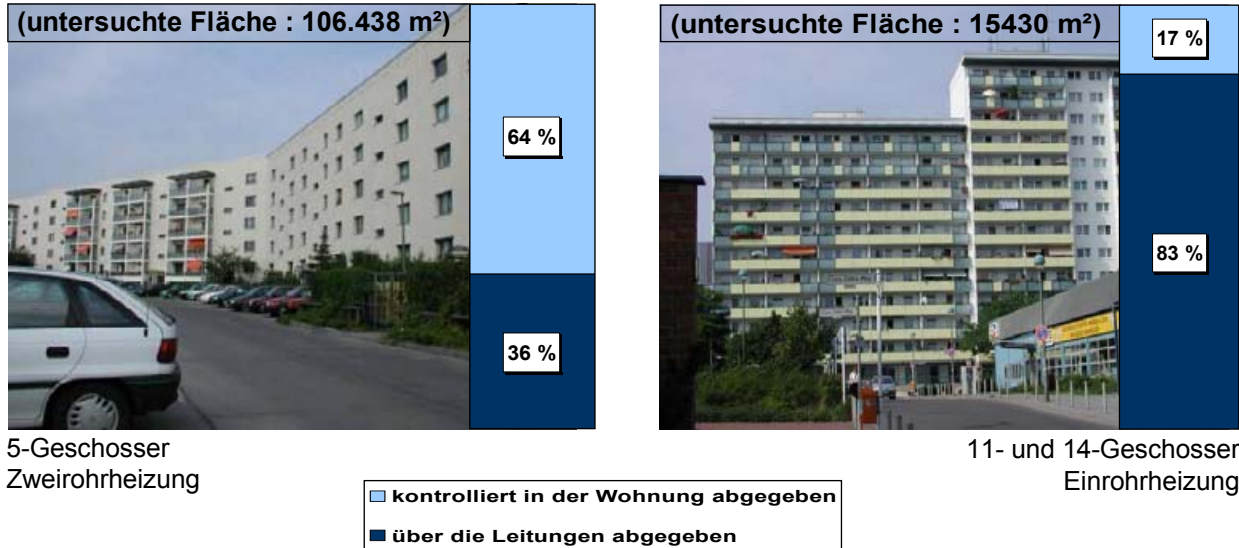
## Notwendigkeit einer Gesamtbilanzierung von Gebäude, Anlagentechnik, Nutzung und **Qualitätssicherung**

*Der U-Wert der Gebäudehülle oder der Nutzungsgrad eines Kessels sagen alleine nichts über die Qualität des Gebäudes aus.*



## Beispiel: Mehrverbrauch trotz guter Hülle und guter Wärmeerzeugung

In modernisierten Plattenbauten der neuen Bundesländer treten, abhängig von den eingesetzten Heizrohrsystemen, bei gleicher Qualität der Außenfassade und gleicher Erzeugung sehr unterschiedliche Heizenergieverbräuche auf.



## Vorschlag für den 1. Schritt: Einfache Verbrauchsbilanz

*Investition in teure Gutachten?  
Oder in zusätzliche Messeinrichtungen?*



## Verbrauchsorientierter (statt bedarfsorientierter) Energiepass Untersuchungen der FH Wolfenbüttel – Projekte

Die monatliche Erfassung von:

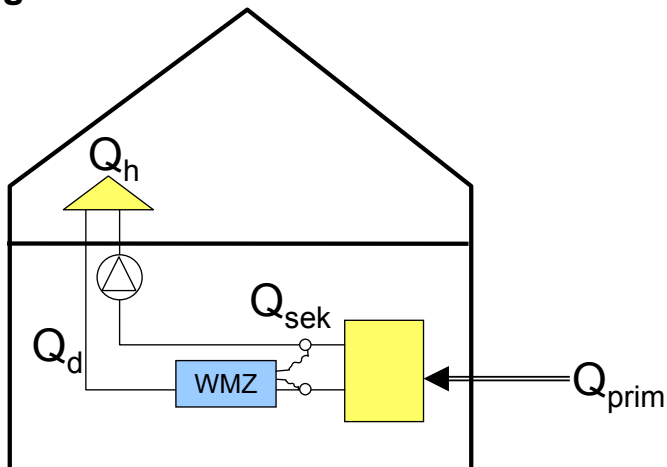
- Heiz- (End-) energieverbrauch (primärseitig)  $Q_{\text{prim}}$
- Nutzwärmeverbrauch (sekundärseitig)  $Q_{\text{sek}}$

liefert im Zusammenhang mit der mittleren Monatsaußentemperatur und mit einer Abschätzung der Verteilverluste ( $Q_d$ ) außerhalb des beheizten Bereichs:

- **Jahresheizwärmeverbrauch** (im beheizten Bereich) in kWh/(m<sup>2</sup>a) für Vergleiche vor und nach Optimierungsmaßnahmen
- **Effektive spezifische Heizlast**  $H = H_T + H_V$  in W/K
- **Heizlast bezogen auf die beheizte Fläche**  $H^* = H / A$  in W/(m<sup>2</sup>K)
- **Heizgrenztemperatur und Fremdwärmeanteil** (ermittelt aus den Monatswerten in der Kernheizzeit November bis März)
- **Auslegungsheizlast**
- **Effizienzwerte für Wärmeerzeuger** (Wirkungsgrad, Bereitschaftsverlust, Nutzungsgrad, Aufwandszahl, Kesselverluste)



## Messgrößen und Messorte

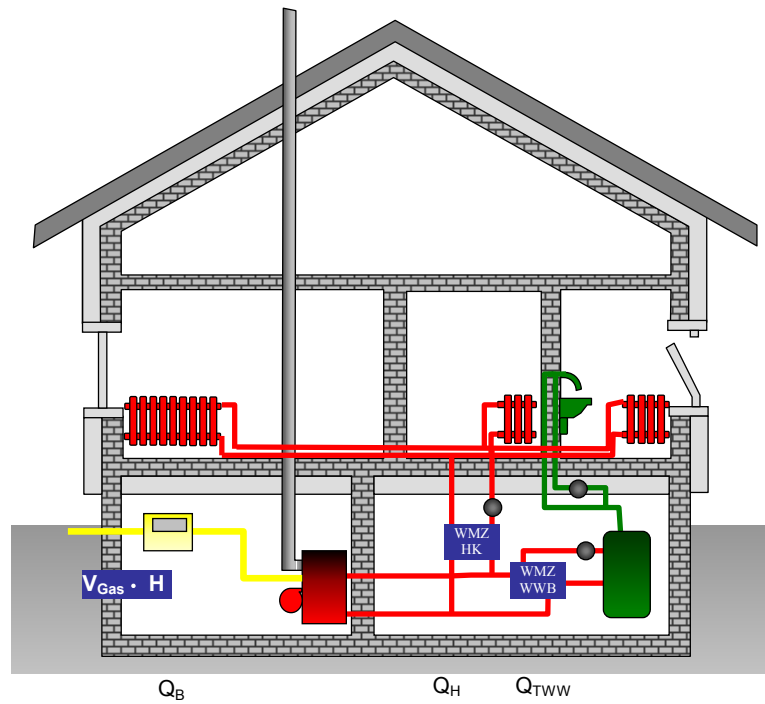


DBU-Projekte an der FH Wolfenbüttel:

- ca. 90 EFH mit Kessel und Messung von  $Q_{\text{prim}}$  und  $Q_{\text{sek}}$
- ca. 30 MFH mit Fernwärme ( $Q_{\text{prim}}$ ) bzw. Kessel ( $Q_{\text{prim}}, Q_{\text{sek}}$ )



## Ausstattung der Anlagen mit Messgeräten



## Wärmemengenzähler

- Flügelrad
- Ultraschall





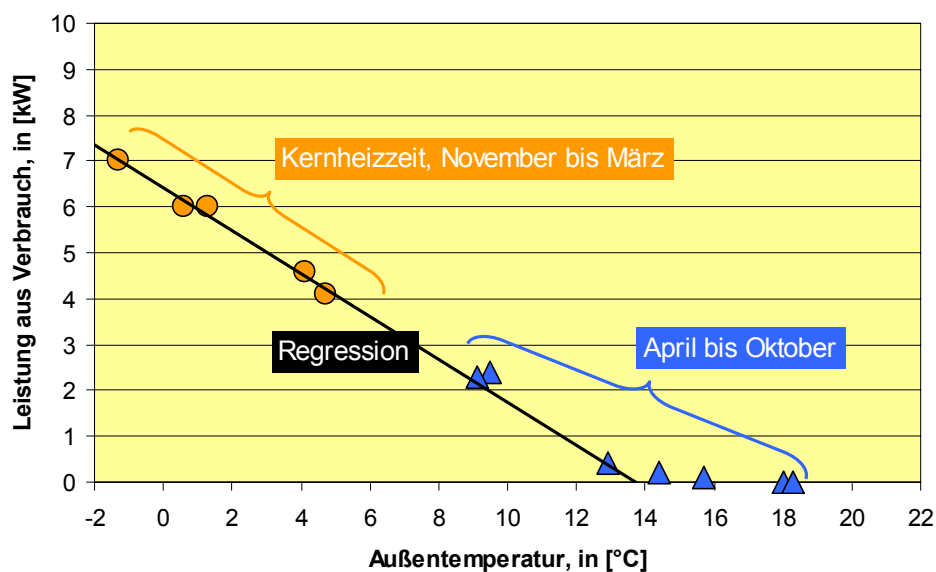
## Überblick

Zähler installieren
Monatliche Messwerte $Q_{\text{mess}}$ erfassen (Kernheizzeit)
Technische Verluste im unbeheizten Bereich abschätzen
Monatliche Werte für $Q_{\text{zu}}$ bestimmen
Monatliche Außentemperatur ermitteln
Diagramm „Leistung-Außentemperatur“ erstellen
Heizgrenztemperatur, Steigung der Regressions- geraden H (spezifischer Wärmeverlust) ablesen
Standardwert für die Heizgradtage ermitteln
Standardwerte für technische Verluste bestimmen
Standardenergieverbrauch Q berechnen



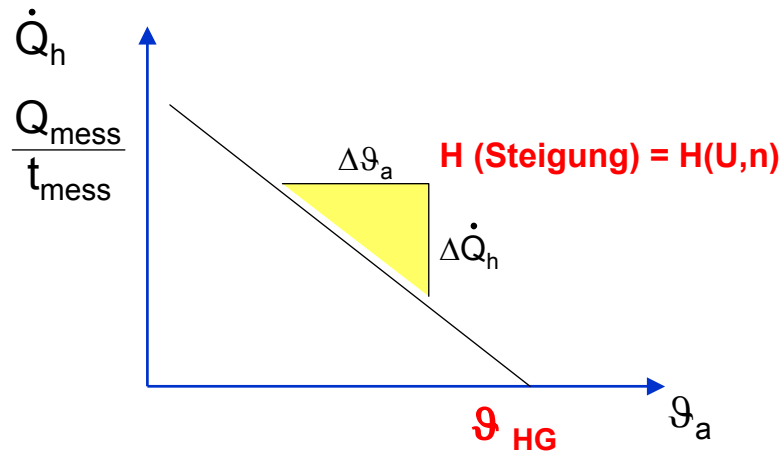
## Messpunkte des Verbrauchs aufgetragen über der Außentemperatur

### Leistung aus gemessenem Verbrauch



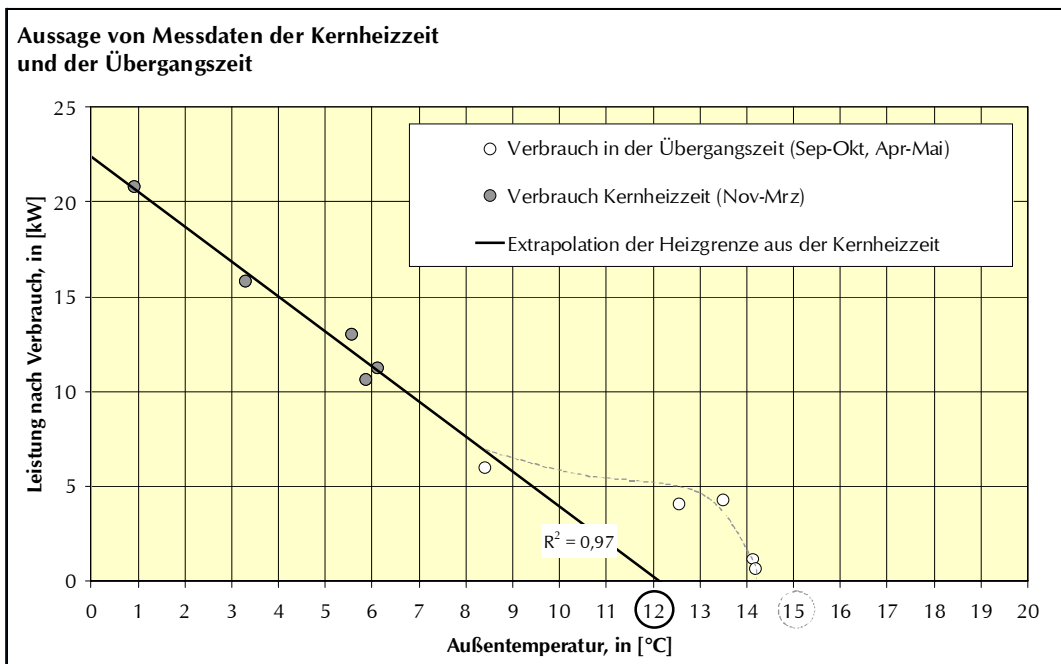


Auswertung: Gebäude- und Anlageneffizienz



Messdaten im Leistungs-Temperatur-Diagramm

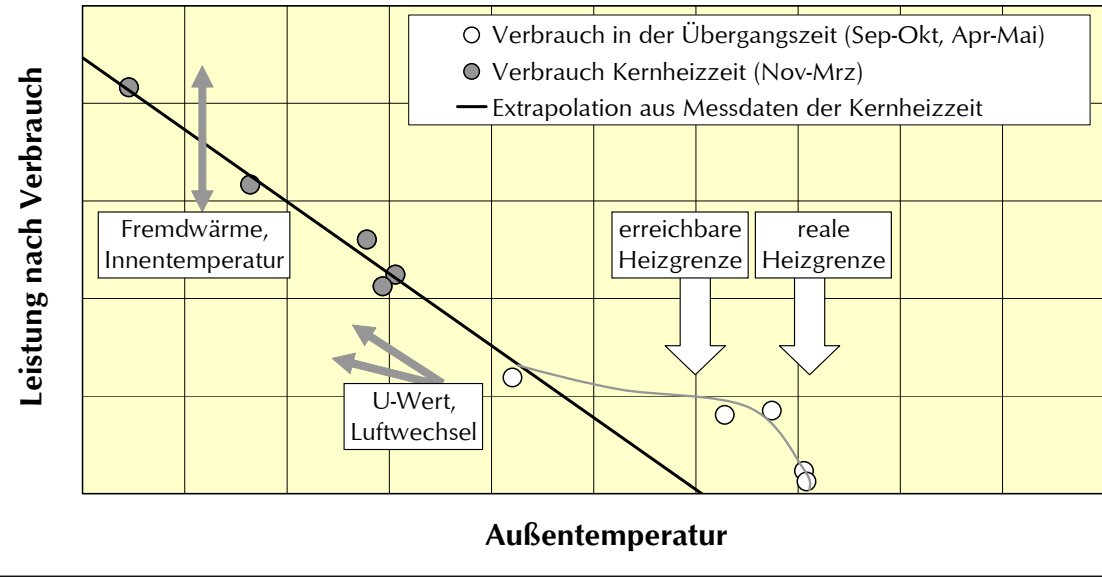
Rekonstruktion einfach aus Messdaten





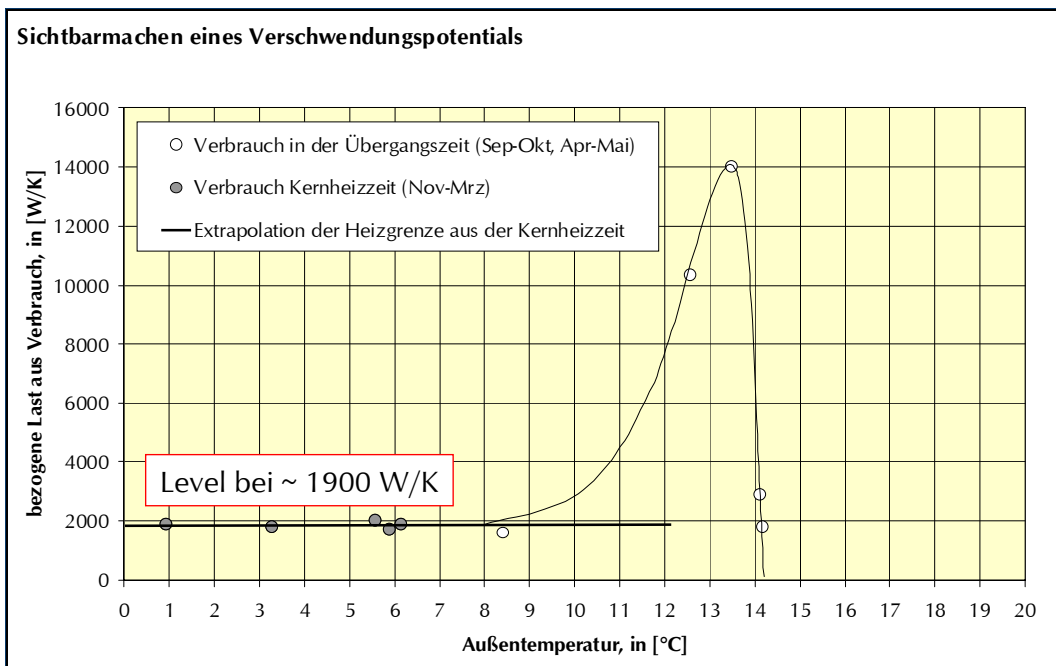
Interpretation von Messdaten:

Aussage von Messdaten der Kernheizzeit und der Übergangszeit



Messdaten im Last-Temperatur-Diagramm liefern H ohne Begehung!!!

mit  $G_{12}$  berechnet

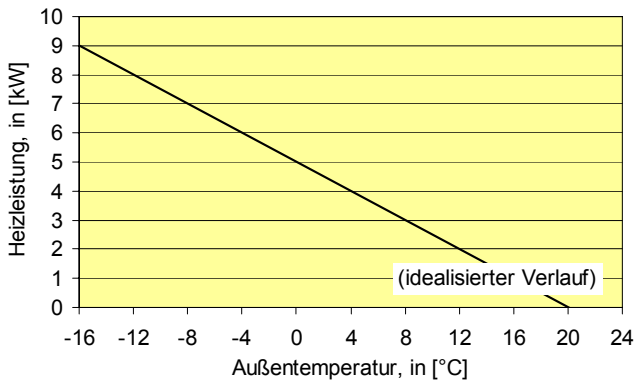




## Erläuterung des Kurvenverlaufs

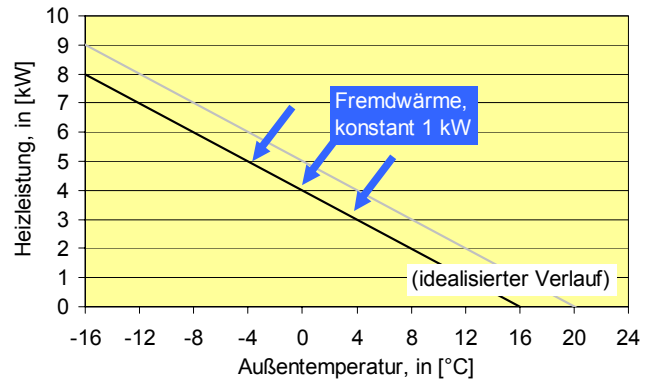
Wärmeverluste aus Transmission und Lüftung  
keine Fremdwärme

a



Wärmeverluste aus Transmission und Lüftung  
mit konstanter Fremdwärme

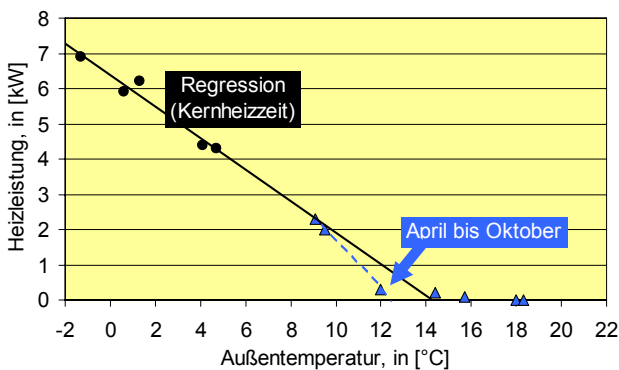
b



## Einfluss des Nutzerverhaltens

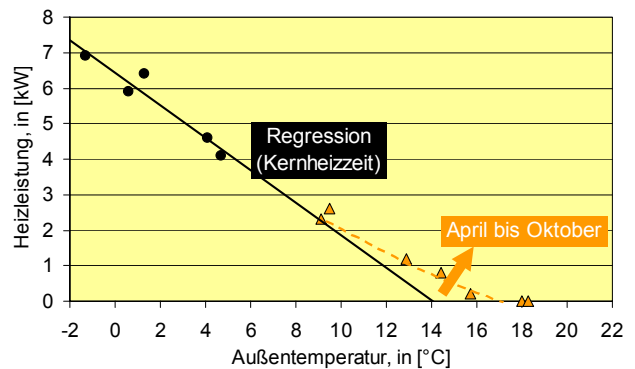
Heizleistung aus gemessenem Verbrauch  
vernünftiges Lüftungsverhalten

a



Heizleistung aus gemessenem Verbrauch  
starkes Lüftungsverhalten in der Übergangszeit

b





### Auswertung von Messwerten und Nachbildung der Leistungsgeraden

Monatliche Aufstellung der Gleichung: Einsetzen bekannter Größen

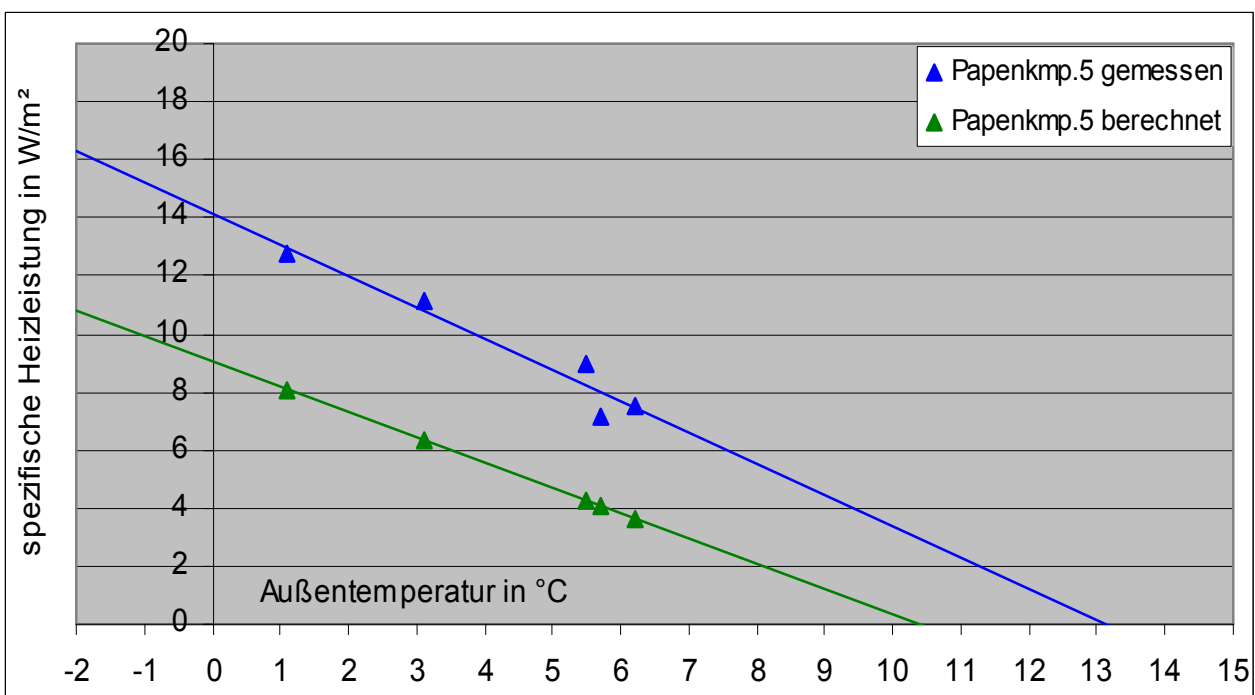
$$Q_h = (t_i - t_a) \cdot t \cdot (n \cdot 0,34 \text{ Wh/m}^3\text{K} \cdot V_{\text{Luft}} + U \cdot A_{\text{Hülle}}) - \dot{q}_{\text{Fremd}} \cdot A_{\text{beheizt}} \cdot t$$

Annahme von Innentemperatur und Luftwechsel bis die Gerade der Messwerte nachgebildet wird

Einsetzen bekannter bzw. abgeschätzter Werte

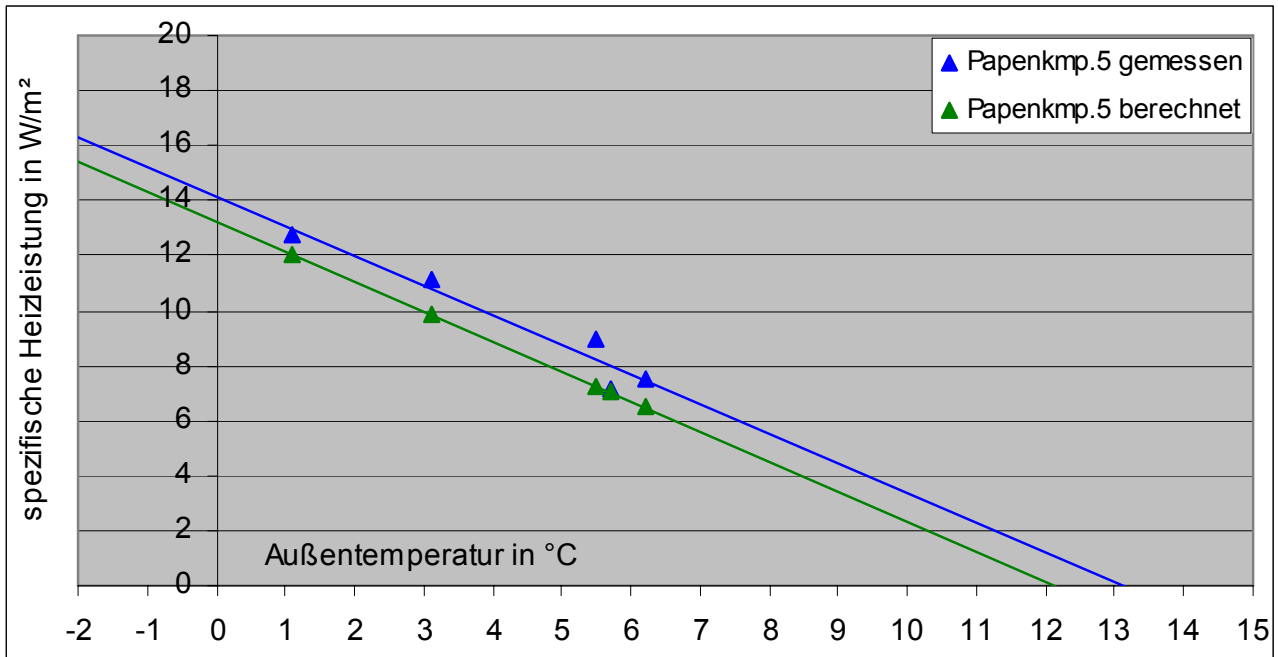


Annahmen: Luftwechsel:  $n = 0,3 \text{ 1/h}$  - Raumtemperatur:  $t = 19^\circ\text{C}$

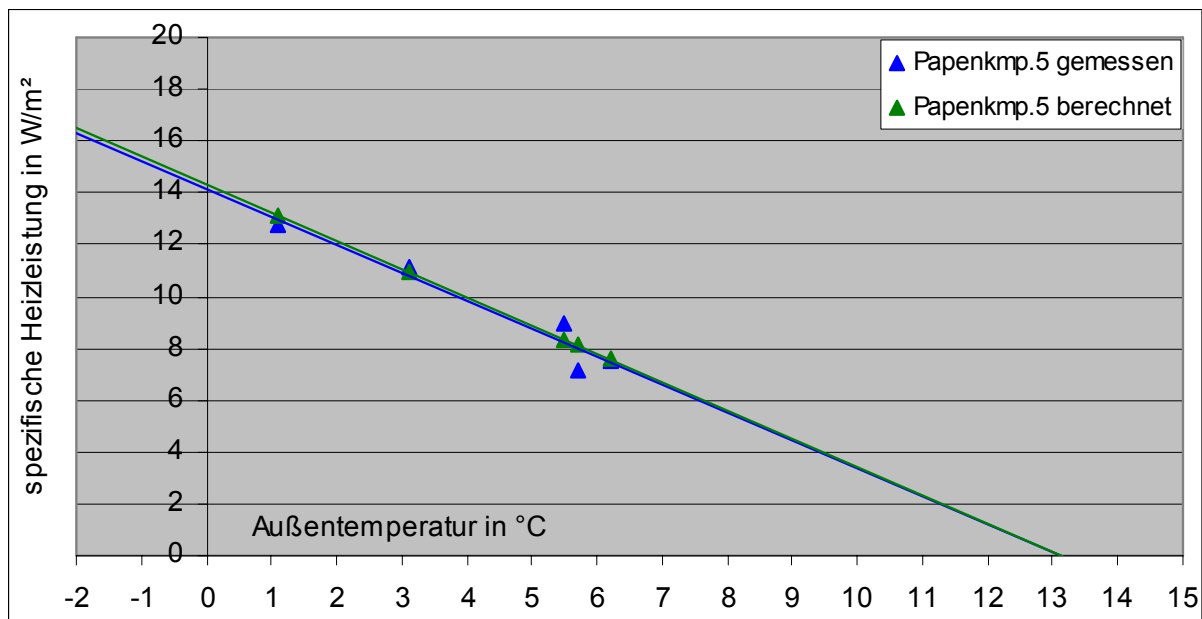




Annahmen: Luftwechsel:  $n = 0,5 \text{ 1/h}$  - Raumtemperatur:  $t = 19^\circ\text{C}$



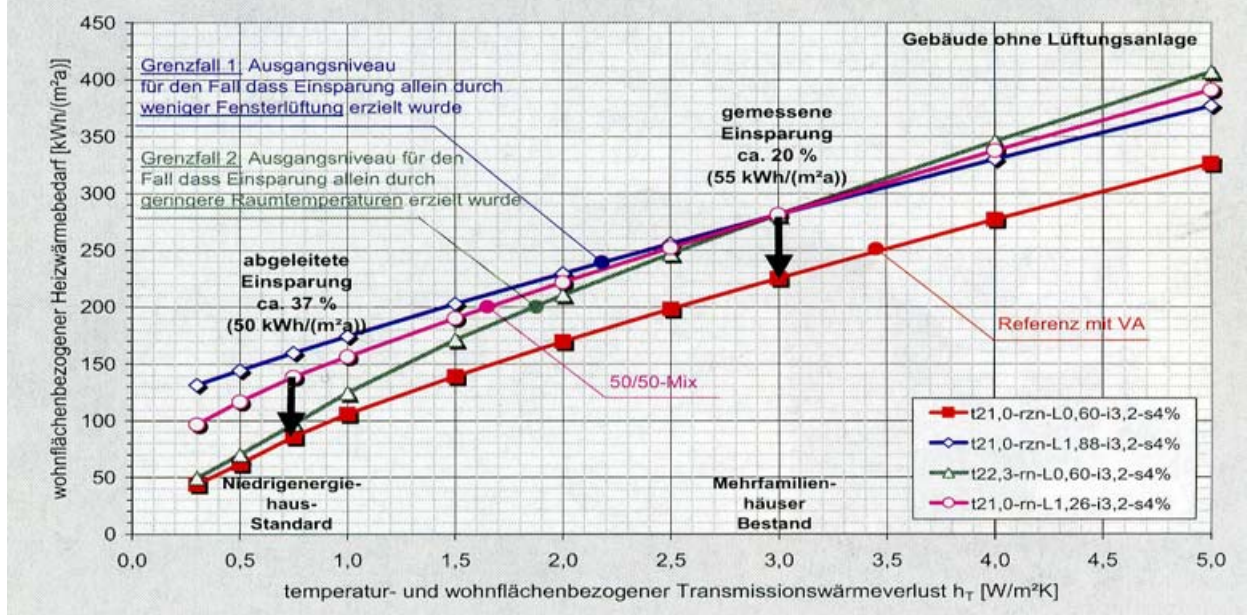
Annahmen: Luftwechsel:  $n = 0,5 \text{ 1/h}$  - Raumtemperatur:  $t = 20^\circ\text{C}$





## Bestätigung des Vorgehens in der Literatur:

Bild 1: Reduktion des Heizwärmebedarfs durch verbrauchsabhängige Heizkostenabrechnung

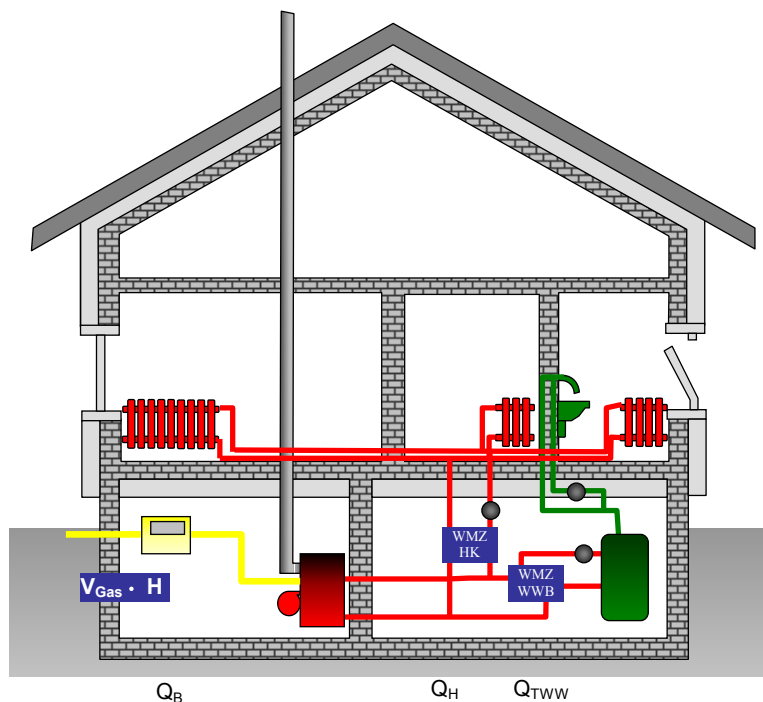


## DBU-Projekt: Brennwertanlagen

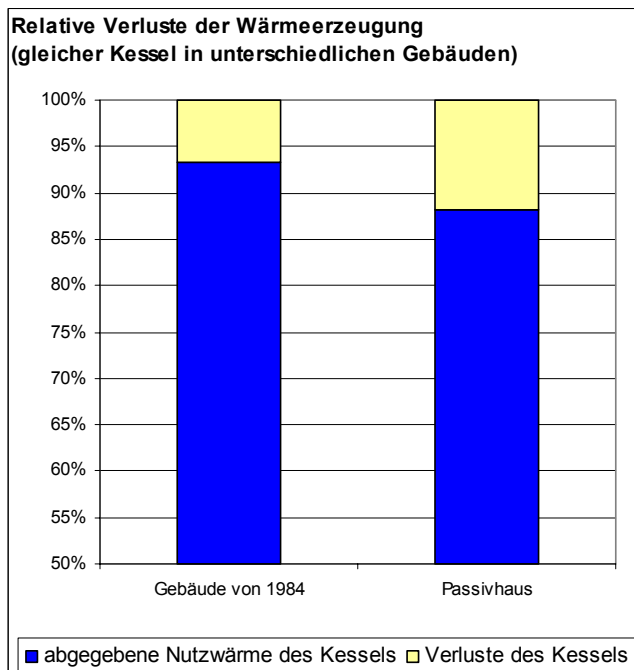
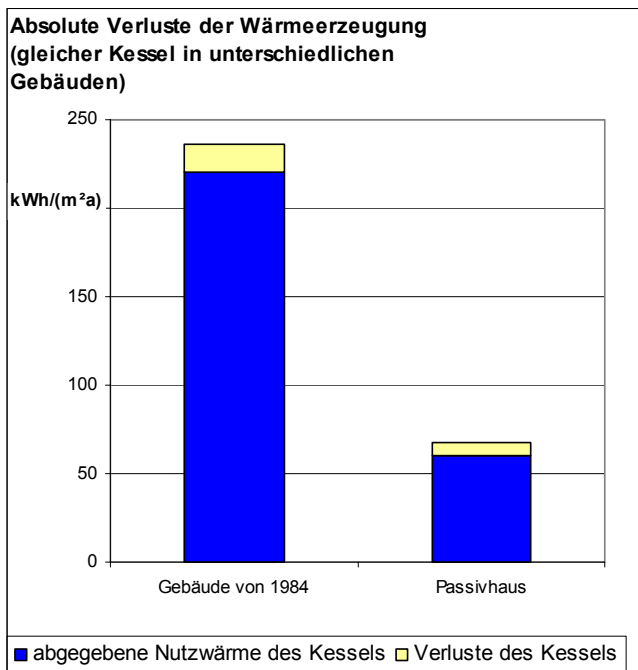
Auswertung von Messdaten:  
Informationen über die Wärmeerzeugergüte



## Ausstattung der Anlagen mit Messgeräten



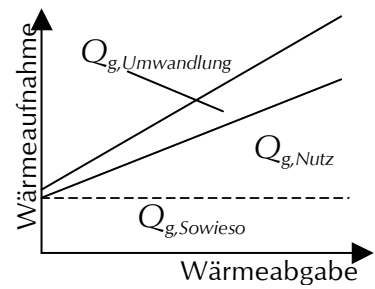
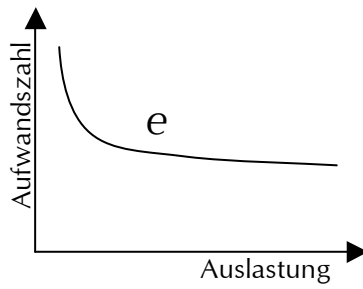
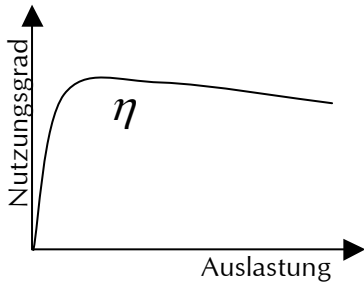
## Die Aussagekraft von relativen Kenngrößen: Nutzungsgrad eines Kessels



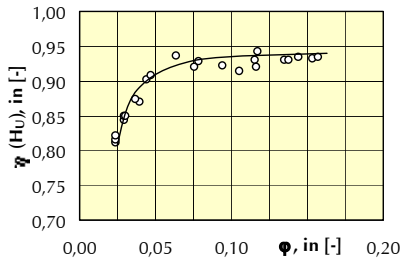
Trotz geringerer absoluter Verluste des Kessels sinkt sein Nutzungsgrad im Passivhaus !



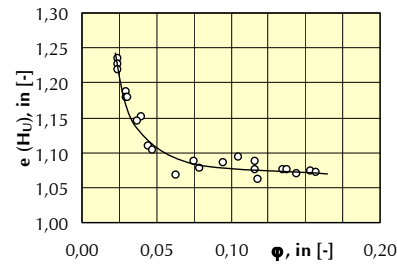
### Arten der Darstellung von Kesselverlusten



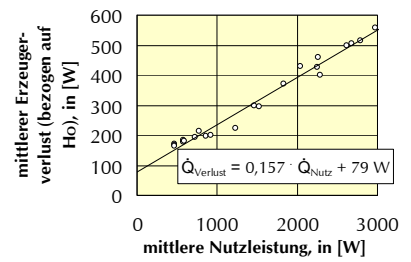
Erzeugernutzungsgrad  
(aus Monatsmesswerten)



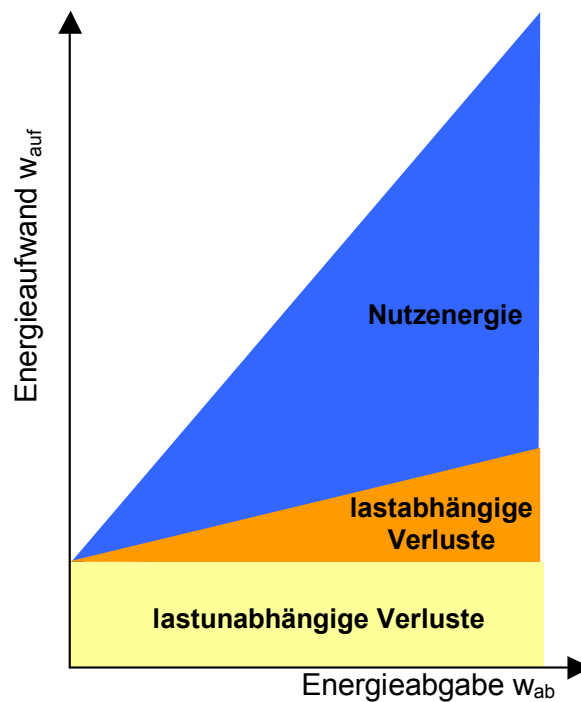
Erzeugeraufwandszahl  
(aus Monatsmesswerten)



Erzeugernutz- und -verlustleistung  
(aus Monatsmesswerten)

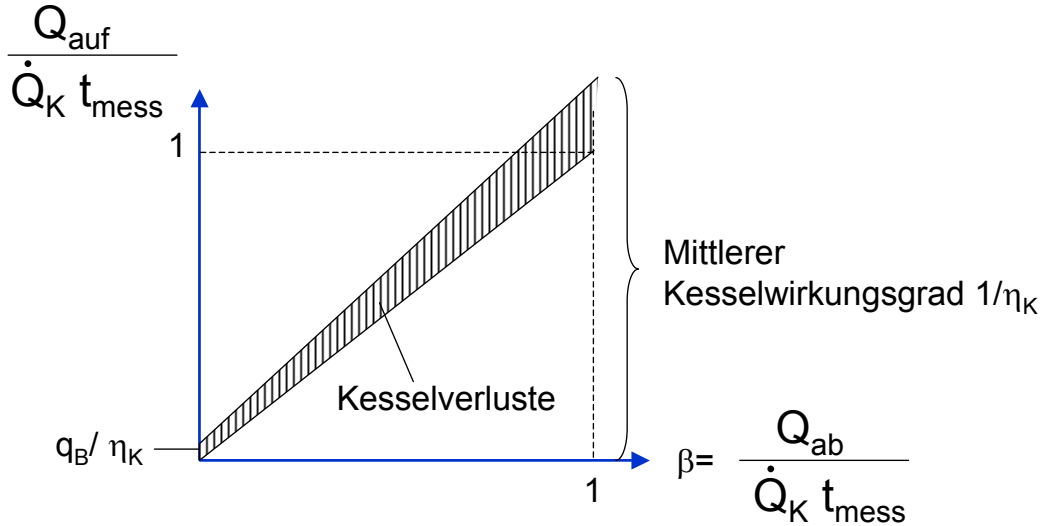


### Erläuterung des Bildes

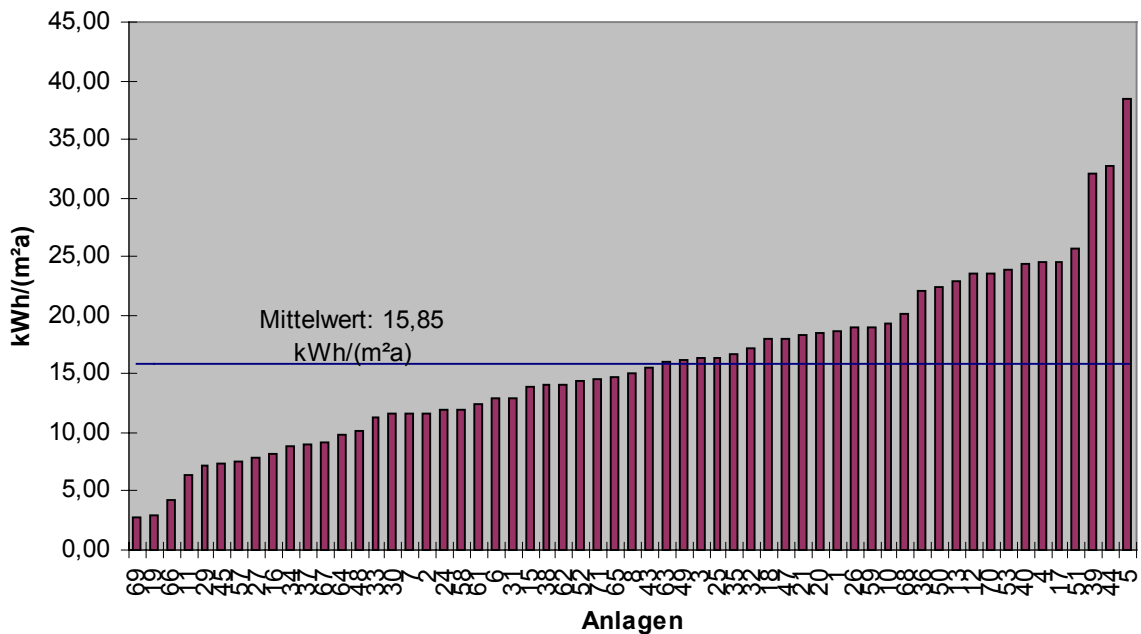




Auswertung: Effizienz des Wärmeerzeugers



Flächenbezogener jährlicher Erzeugerverlust in kWh(H<sub>0</sub>)/(m<sup>2</sup> a)





	Einheit	BW-Kessel	NT-Kessel
Zahl der Anlagen		60	7
Jahresnutzungsgrad	% (H <sub>U</sub> )	<b>96</b>	<b>83</b>
Jahresnutzungsgrad	% (H <sub>O</sub> )	<b>86,6</b>	<b>75,3</b>
Spez. Kesselverluste (H <sub>O</sub> )	kWh/(m <sup>2</sup> a)	<b>15,9</b>	<b>37,8</b>
Mittlere Kesselbelastung	%	<b>9</b>	
Mittlerer Kesselwirkungsgrad η <sub>K</sub>	% (H <sub>O</sub> )	<b>90,0</b>	
Mittlerer Bereitschaftsverlust	% (H <sub>O</sub> )	<b>0,47</b>	
Betriebsbereitschaftsverlustleistung	kW	<b>0,1</b>	
Mittlerer Nutzungsgrad aus normiertem Energieaufwand	% (H <sub>O</sub> )	<b>85,9</b>	
Stromverbrauch	kWh/(m <sup>2</sup> a)	<b>2,91</b>	<b>1,64</b>

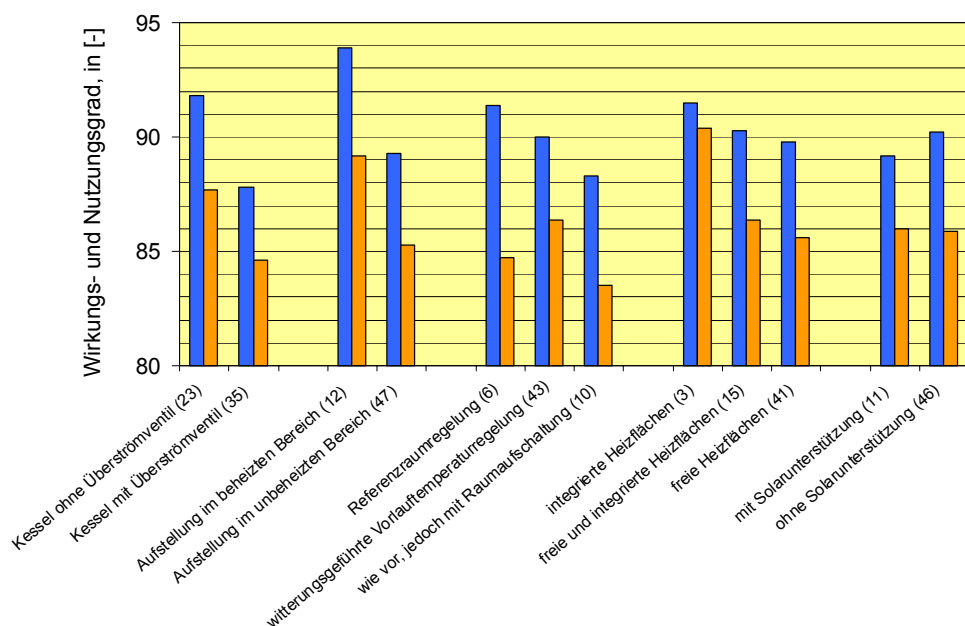
*Durchschnittliche Kesselnutzungsgrade und Betriebsbereitschaftsverlustleistung*



**Praxisergebnisse**

**Einflüsse von Anlagenmerkmalen auf den mittleren Kesselwirkungsgrad und den mittleren normierten Kesselnutzungsgrad**

■ mittlerer Kesselwirkungsgrad  
■ mittlerer normierter Kesselnutzungsgrad



Mittlerer Nutzungsgrad (H<sub>O</sub>): 85,9%



## Energetisches Einsparpotential [bis 50 kWh/(m<sup>2</sup>a)]: Heizwärmebedarf von zwei bis drei Passivhäusern

Die mittleren, auf die beheizte Wohnfläche bezogenen Wärmeezeugerverluste von Brennwertkesseln liegen mit ca. 15 ... 16 kWh/(m<sup>2</sup>a) in der gleichen Größenordnung wie der gesamte Raumheizwärmebedarf eines Passivhauses.

Integrierte Pumpen mit 40 bis zu 80 W elektrischer Überschussleistung erzeugen einen zusätzlichen Primärenergiebedarf von 5 bis 9 kWh/(m<sup>2</sup>a)

Die Wärmeabgabe von Trinkwarmwasser-Zirkulationsleitungen und von Heizwasserleitungen liegt mindestens noch einmal in der gleichen Größenordnung.

Durch eine QS der Sekundärseite (Verteilung, Übergabe) ergibt sich ein weiteres Einsparpotential von ca. 10 kWh/(m<sup>2</sup>a), wie erste Ergebnisse der OPTIMUS-Studie zeigen.



## Zusammenfassender Vorschlag:

### Extreme Vereinfachung der Nachweisverfahren und der Bilanzansätze

Auch beim PKW fragt keiner nach dem Verbrauchsanteil der Reifen oder der Benzineinspritzung...

**Ansatz:**  $Q = H \cdot G + Q_t$

**mit:**

$$H = H_T + H_V$$

$$G = z \cdot (t_{HG} - t_{am})$$

$$Q_t = Q_d + Q_g$$

*Temperaturbezogener Q-Verlust*

*Heizgradtage*

*technische Verluste außerhalb  
der gedämmten Hülle*

***Bedarf und Verbrauch können auf einfachste Weise verglichen werden!***



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit**

**Noch Zeit für Diskussion?**

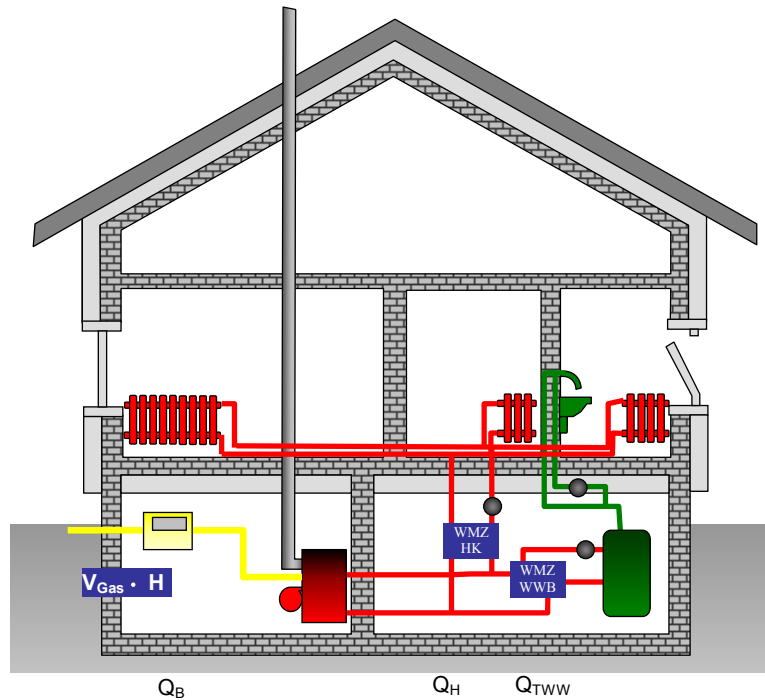


## **Ziel**

### **"Felduntersuchungen: Betriebsverhalten von Heizungsanlagen mit Gasbrennwertkessel"**

60 Heizungsanlagen mit Gas-Brennwertkesseln und 7 mit Gas-Niedertemperaturkesseln wurden mit zusätzlichen Wärmemengenzählern ausgestattet.

Die Auswertung des Messprogramms sollte die Frage beantworten, ob für die Bewertung von Wärmeerzeugern häufig herangezogene Normnutzungsgrade von bis zu 109 % ( $H_u$  bezogen) im Praxisbetrieb erreicht werden und ob der Jahresnutzungsgrad des Kessels als alleiniges Beurteilungskriterium einer Heizungsanlage für die energetische Effizienz ausreicht.



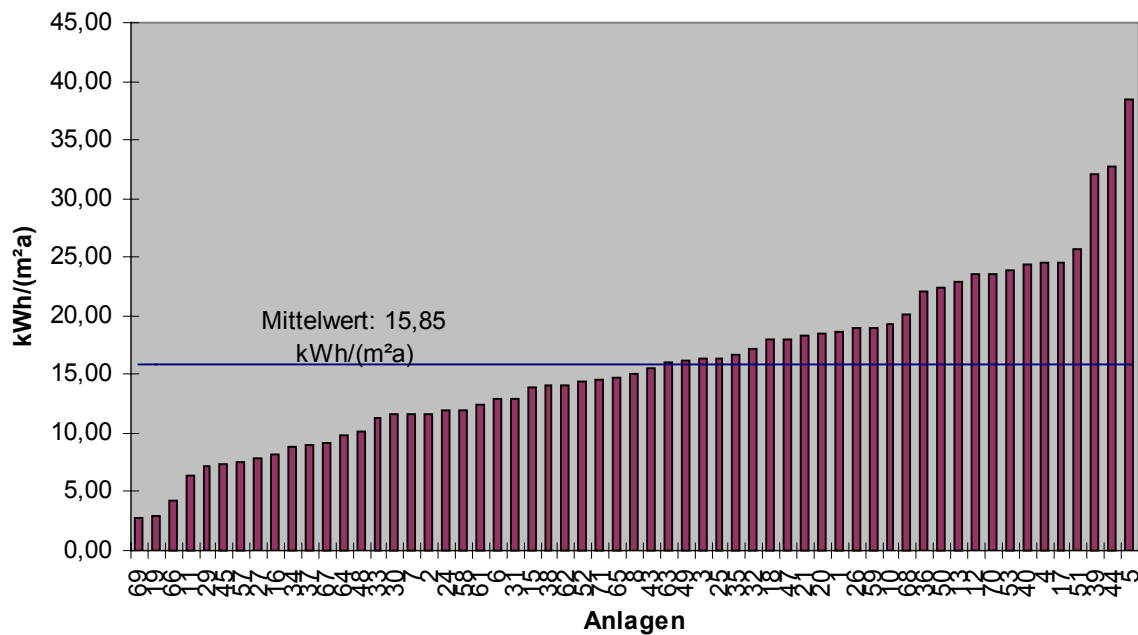
Ausstattung der Anlagen mit Messgeräten



**In diesem Projekt werden konsequent alle energetischen Kennwerte auf den oberen Heizwert bzw. auf den Brennwert  $H_o$  (bzw. heute besser europäisch  $H_s$ ) bezogen. Hierdurch können auch keine "negativen Kesselverluste" ("regenerative Effekt") entstehen, die sonst bei Nutzungsgraden über 100 % auftreten.**



Flächenbezogener jährlicher Erzeugerverlust in kWh(H<sub>0</sub>)/(m<sup>2</sup> a)



	Einheit	BW-Kessel	NT-Kessel
Zahl der Anlagen		60	7
Jahresnutzungsgrad	% (H <sub>U</sub> )	<b>96,4</b>	<b>83,4</b>
Jahresnutzungsgrad	% (H <sub>O</sub> )	<b>86,6</b>	<b>75,3</b>
Spez. Kesselverluste (H <sub>O</sub> )	kWh/(m <sup>2</sup> a)	<b>15,9</b>	<b>37,8</b>
Mittlere Kesselbelastung	%	9	
Mittlerer Kesselwirkungsgrad η <sub>K</sub>	% (H <sub>O</sub> )	<b>90,0</b>	
Mittlerer Bereitschaftsverlust	% (H <sub>O</sub> )	<b>0,47</b>	
Betriebsbereitschaftsverlustleistung	kW	<b>0,1</b>	
Mittlerer Nutzungsgrad aus normiertem Energieaufwand	% (H <sub>O</sub> )	<b>85,9</b>	
Stromverbrauch	kWh/(m <sup>2</sup> a)	<b>2,91</b>	<b>1,64</b>

Durchschnittliche Kesselnutzungsgrade und Betriebsbereitschaftsverlustleistung



	Einheit	Kessel ohne Überströmventil	Kessel mit Überströmventil
Zahl der untersuchten Anlagen		23	35
Jahresnutzungsgrad aus Jahresmesswerten	% (H <sub>0</sub> )	89,0	85,0
Spez. Kesselverluste (H <sub>0</sub> )	kWh/(m <sup>2</sup> a)	14,3	17,0
Mittlere Kesselauslastung	%	10,1	8,2
Mittlerer Kesselwirkungsgrad $\eta_K$	% (H <sub>0</sub> )	91,8	87,8
Mittlerer Bereitschaftsverlust	% (H <sub>0</sub> )	0,53	0,34
<b>Mittlerer Nutzungsgrad aus normiertem Energieaufwand</b>	<b>% (H<sub>0</sub>)</b>	<b>87,7</b>	<b>84,6</b>

*Anlagenvergleich mit/ohne Überströmventil im Kesselkreis*



	Einheit	Aufstellung im unbeheiztem Bereich	Aufstellung im beheiztem Bereich
Zahl der untersuchten Anlagen		47 (47)	11 (12)
Jahresnutzungsgrad aus Jahresmesswerten	% (H <sub>0</sub> )	86,6	88,5
<b>Spez. Kesselverluste (H<sub>0</sub>)</b>	<b>kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>	<b>16,6</b>	<b>12,9</b>
Mittlere Kesselauslastung	%	9,0	9,4
<b>Mittlerer Kesselwirkungsgrad <math>\eta_K</math></b>	<b>% (H<sub>0</sub>)</b>	<b>89,3</b>	<b>93,9</b>
Mittlerer Bereitschaftsverlust	% (H <sub>0</sub> )	0,46	0,56
<b>Mittlerer Nutzungsgrad aus normiertem Energieaufwand</b>	<b>% (H<sub>0</sub>)</b>	<b>85,3</b>	<b>89,2</b>

*Einfluss des Kesselaufstellortes*



	Einheit	Anlagen mit Solarunterstützung	Anlagen ohne Solarunterstützung
Zahl der untersuchten Anlagen		11 (11)	47(46)
Jahresnutzungsgrad aus Jahresmesswerten	% (H <sub>0</sub> )	85,1	86,9
Spez. Kesselverluste (H <sub>0</sub> )	kWh/(m <sup>2</sup> a)	16,7	15,9
Mittlere Kesselauslastung	%	8,6	9,1
Mittlerer Kesselwirkungsgrad $\eta_K$	% (H <sub>0</sub> )	89,2	90,2
Mittlerer Bereitschaftsverlust	% (H <sub>0</sub> )	0,37	0,50
<b>Mittlerer Nutzungsgrad aus normiertem Energieaufwand</b>	<b>% (H<sub>0</sub>)</b>	<b>86,0</b>	<b>85,9</b>
<b>Wärmemenge Kessel zur TWW Bereitung</b>	<b>kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>	<b>10,7</b>	<b>21,5</b>

### Anlagenvergleich mit/ohne solare Trinkwarmwasserbereitung



## Unterschiede zwischen Theorie und Praxis im EnEV-Nachweis

	durchschnittliche Nutzfläche	Erzeugerverlust		
		Messwert	DIN V 4701-10 Anhang C 70/55 °C	BDH-Produktkennwerte 55/45 °C
	m <sup>2</sup>	kWh/(m <sup>2</sup> a) (H <sub>0</sub> )	kWh/(m <sup>2</sup> a) (H <sub>0</sub> )	kWh/(m <sup>2</sup> a) (H <sub>0</sub> )
Brennwertkessel	159	<b>15,9</b>	<b>15,2</b>	<b>9,3</b>
Niedertemperaturkessel	149	<b>37,8</b>	<b>19,9</b>	--

### Gemessene Erzeugerverluste und Bedarfswerte nach DIN V 4701-10



## Rahmenbedingungen zum Erreichen von verbesserten Produktkennwerten

- Einstellung von niedrigen Auslegungsheizwassertemperaturen am zentralen Kesselregler
- möglichst Verzicht auf den Einsatz von Überströmventilen zur Aufrechterhaltung eines Kesselmindestwasservolumenstromes
- möglichst Aufstellung des Wärmeerzeugers (und des Trinkwarmwasserspeichers) im beheizten Bereich
- Einsatz einer witterungsgeführten Kessel-/Vorlauftemperaturregelung anstelle einer zentralen Raumtemperaturregelung,

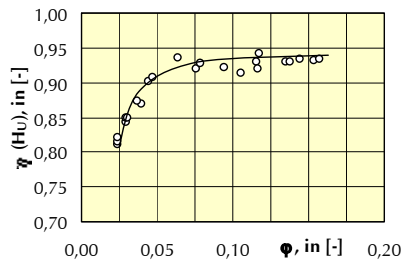


- möglichst niedrige Heizwassertemperaturen, z.B. durch eine alleinige Flächenheizung; der Einfluss eines Fußbodenheizungssystems auf den Heizwärmebedarf, der unabhängig vom eingesetzten Wärmeerzeuger ist, kann aber durchaus negativ sein,
- optimierte regelungstechnische und hydraulische Einbindung von Trinkwarmwasserspeichern insbesondere bei zusätzlicher solarer Warmwasserbereitung,
- Wärmeerzeuger mit optimierten Pumpen **oder - Kesselkonstruktionen mit geringem hydraulischen Widerstand - ohne integrierte Pumpen,**
- Kesselkonstruktionen mit modulierenden Brennern bei großem Modulationsbereich sowie mit optimierten Heizflächen im Feuerraum, bei denen die Abgastemperaturen nur geringfügig über den Kesselwasser-Rücklauftemperaturen liegen.

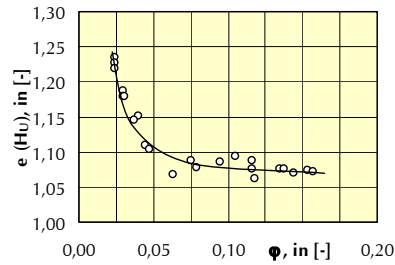


### Auswertung von Messwerten:

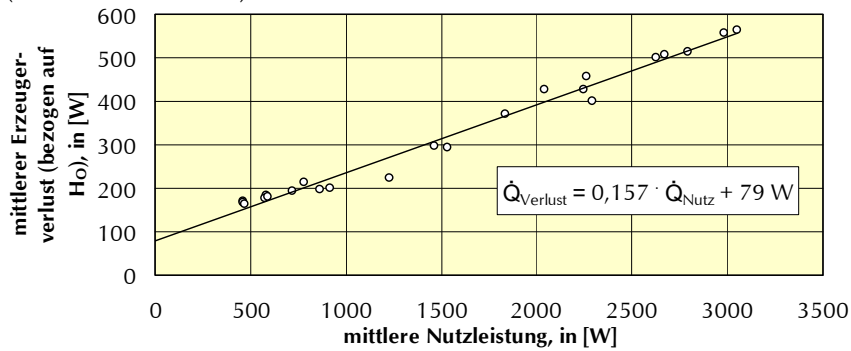
Erzeugernutzungsgrad  
(aus Monatsmesswerten)



Erzeugeraufwandszahl  
(aus Monatsmesswerten)

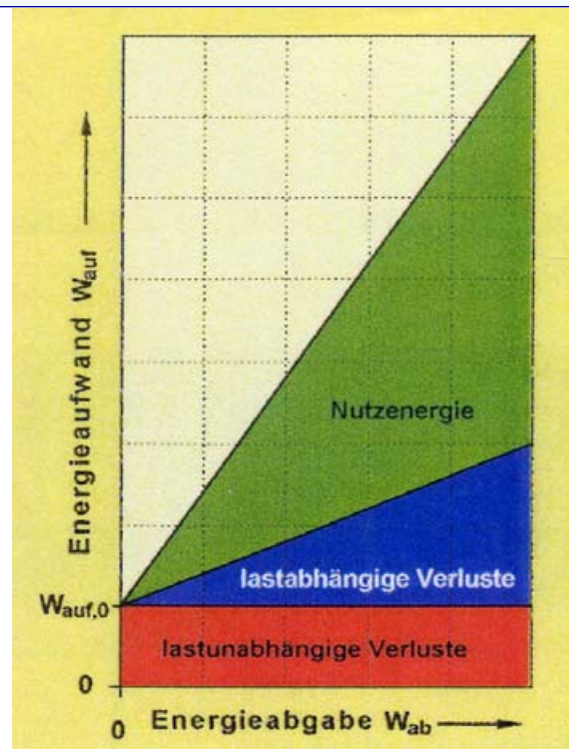


Erzeugernutz- und -verlustleistung  
(aus Monatsmesswerten)



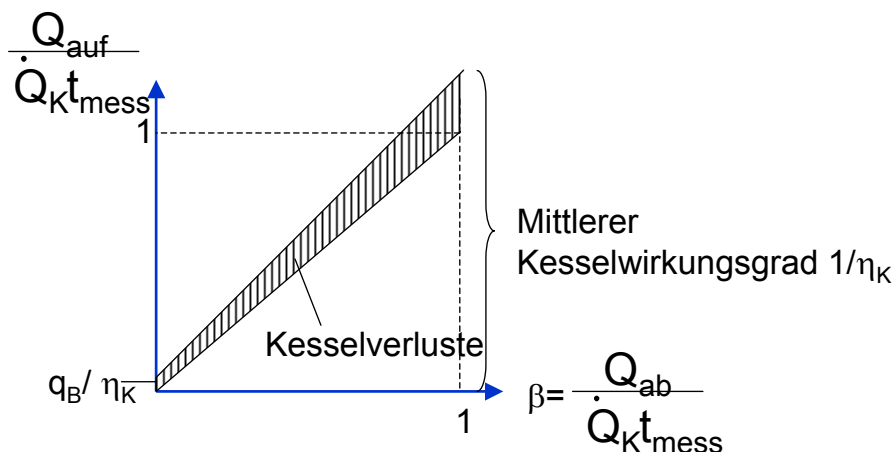
### Normierter Energieaufwand

$$w_{\text{auf}}(\beta) = w_{\text{auf},0} + \left( \frac{1}{\eta_{\text{Nenn}}} - w_{\text{auf},0} \right) \cdot \beta$$





### Auswertung: Effizienz des Wärmeerzeugers

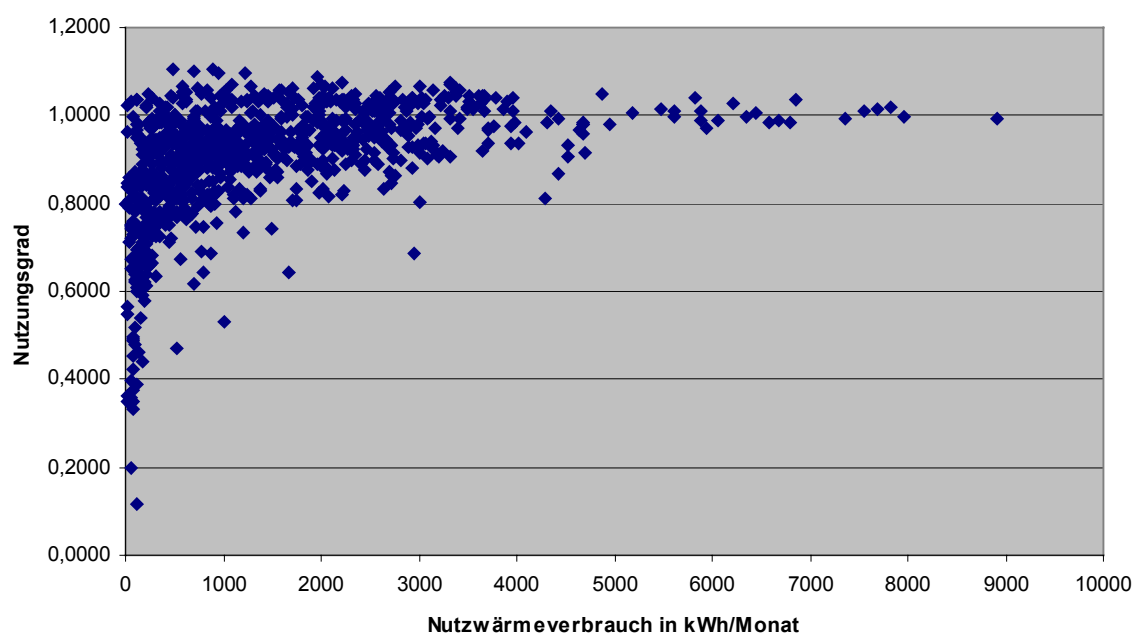


Typische Ergebnisse

	gemessen	berechnet	
Verluste Brennwert	16	6,5	kWh <sub>HO</sub> /(m <sup>2</sup> a)
Verluste Niedertemperatur	38	20	



### Monatliche Nutzungsgrade aller Brennwertanlagen über dem Nutzwärmeverbrauch (Messzeitraum 2 Jahre)





Normierter Energieaufwand über Auslastung (alle BW-Anlagen)

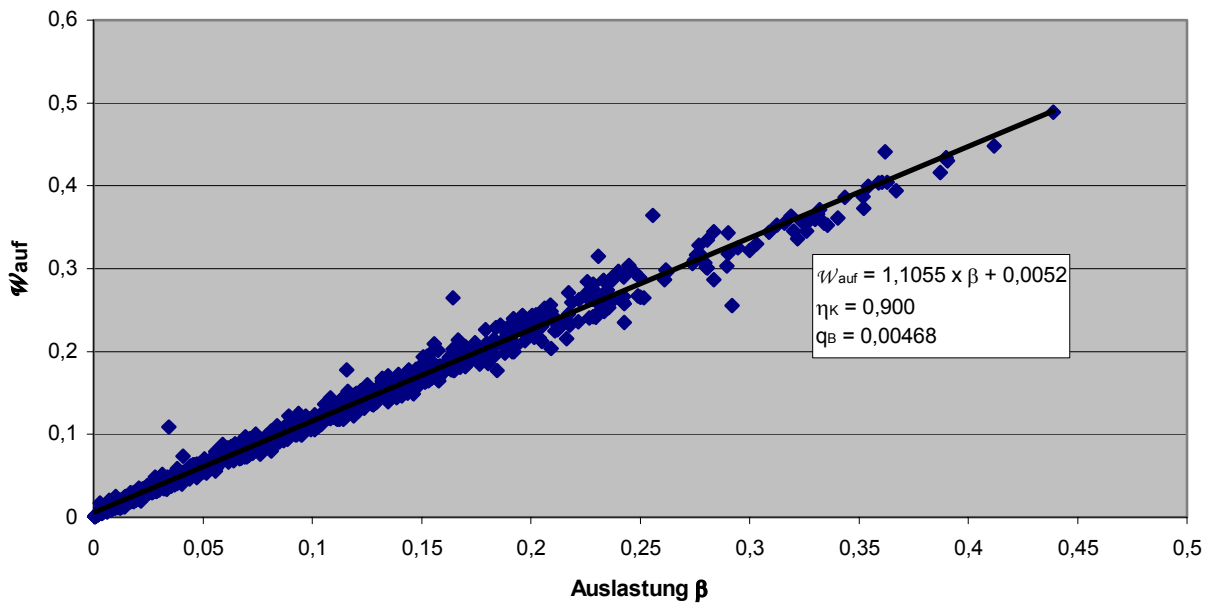


Abbildung: Normierter Energieaufwand über normierter Energieabgabe



### Durchschnittswerte aller untersuchten Anlagen

Mittlerer Betriebsbereitschaftsverlust:  $q_B = 0,5 \%$

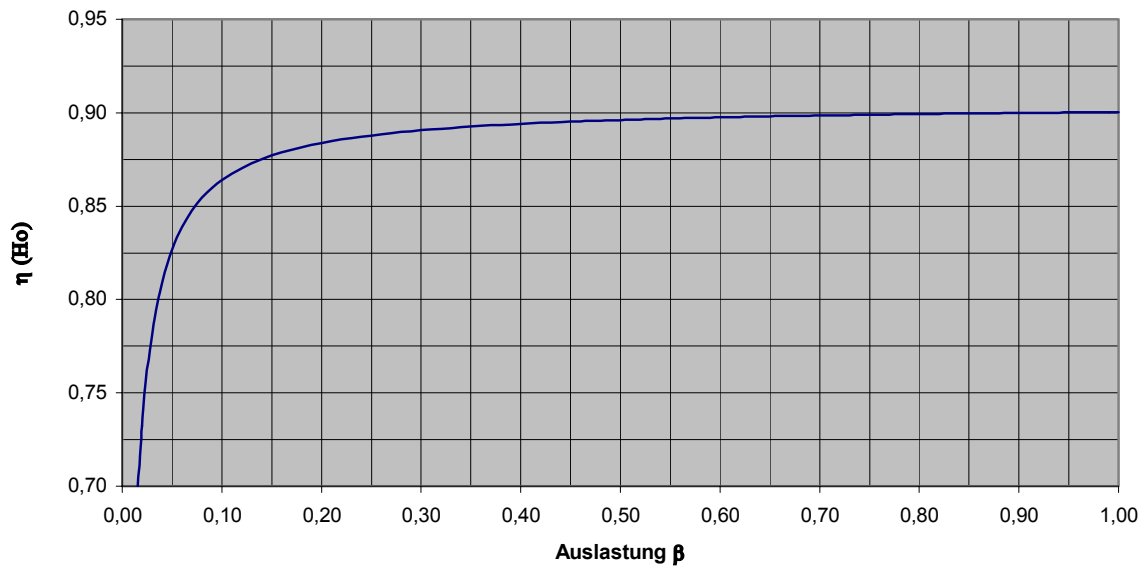
Mittlerer Kesselwirkungsgrad:  $90 \%$  ( $H_o$ )

Mittlerer Jahresnutzungsgrad:  $86 \%$  ( $H_o$ ).

Mittlere Kesselbelastung:  $\beta = 0,09$   
 (1,8 kW bei 20 kW Kesselleistung)



Nutzungsgradverlauf aller untersuchten BW-Anlagen

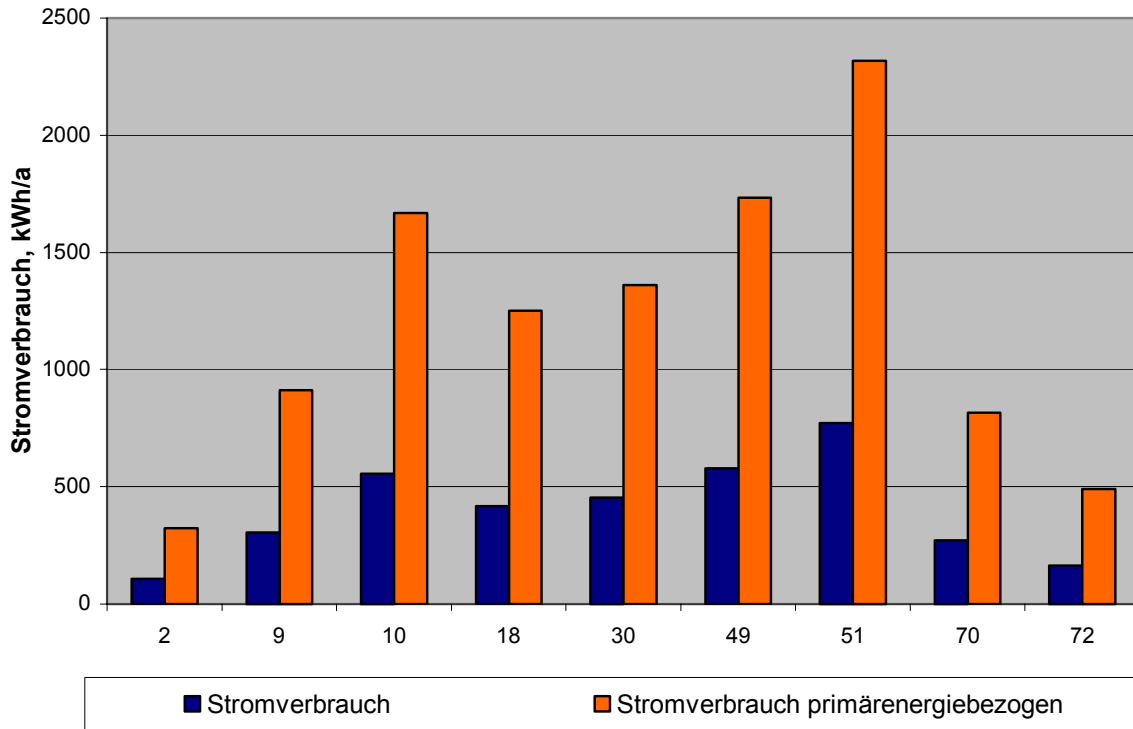


*Nutzungsgradverlauf ( $H_0$ ) aller Brennwertanlagen abhängig von der Auslastung*

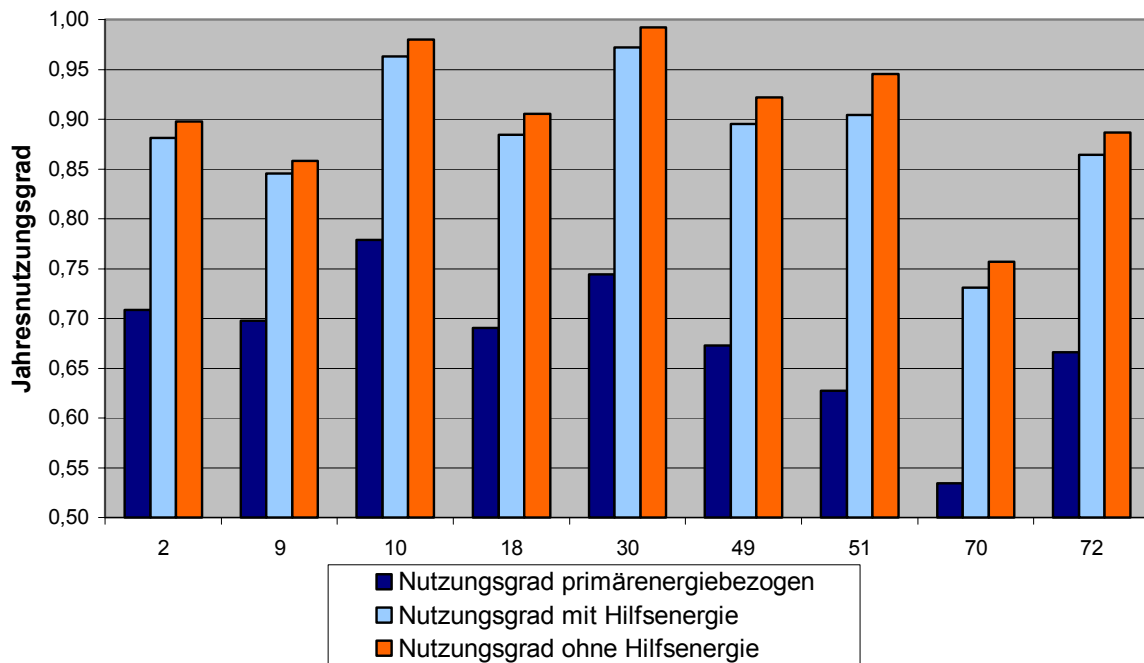


	Einheit	Geregelte Pumpe	Ungeregelte Pumpe
Zahl der untersuchten Anlagen		28	31
Feuerungswärmemenge $Q_B (H_0)$	kWh	548363	556591
Nutzwärmemenge $Q_{Nutz}$	kWh	471693	488838
Spezifische Nutzwärmemenge	kWh/(m <sup>2</sup> a)	106,3	99,2
Jahresnutzungsgrad $\eta (H_0)$	% ( $H_0$ )	86,0	87,8
Mittlere Kesselauslastung	%	0,09	0,09
Mittlerer Nutzungsgrad aus normiertem Energieaufwand	% ( $H_0$ )	85,5	87,2
Mittlerer Kesselwirkungsgrad $\eta_K$	% ( $H_0$ )	88,7	91,3
Mittlerer Bereitschaftsverlust	% ( $H_0$ )	0,42	0,53
Spezifische Kesselverluste ( $H_0$ )	kWh/(m <sup>2</sup> a)	17,7	14,2

Vergleich: Regelpumpen – Ungeregelte Pumpen



Stromverbrauch und Primärenergetisch bewerteter Stromverbrauch



Jahresnutzungsgrad mit und ohne Hilfsenergie



## Empfehlungen an die Hersteller

Zur Zeit:

- kombinierten Heiz- und Trinkwarmwasserbetrieb nach dem Durchflussprinzip,
- meist mit nur einer Pumpe und einem Umschaltventil,
- kombinierten Heiz- und Trinkwarmwasserbetrieb mit gesondertem Speicher.

Beide Aufgaben sollen mit nur einem Konstruktionsprinzip erfüllt werden.  
Folge: Niedriger Kesselwasserinhalt. Hohe hydraulische Widerstände

Zunehmender Dämmstandard - Leistungsanforderung an minimale und maximale Kesselleistung:

Raumheizung Einfamilienhaus: 2 ... 6 kW  
Trinkwassererwärmung;: 10 ... 12 kW beim Speicherprinzip  
18 ... 24 kW beim Durchflussprinzip



Der geringe Kesselwasserinhalt der Geräte bewirkt:

- hohe hydraulische Widerstände und als Folge hohe Geräte-druckverluste,
- die Notwendigkeit eines Kesselmindestumlaufstroms,
- den Einbau integrierter, für die nach geschalteten Heizkreise im Regelfall viel zu großer Pumpen,
- den Einbau von Überströmventilen oder sogar den Einsatz von hydraulischen Weichen, die zur Rücklauf Temperaturanhebung und damit zu verminderter Brennwertnutzung führen.

In Einzelfällen wird sogar der Einbau von Heizwasserpufferspeichern empfohlen. Sowohl beim Einsatz von hydraulischen Weichen als auch von Pufferspeichern ist der zusätzliche Einsatz einer gesonderten Pumpe in der Primärenergiebilanz zu berücksichtigen.



Da heute überwiegend die Trinkwassererwärmung nach dem Speicherprinzip erfolgt, sollten die hierfür eingesetzten Brennwertkesselkonstruktionen einen so hohen Kesselwasserinhalt aufweisen, dass der hydraulische Widerstand des Gerätes vernachlässigbar wird und somit auf eine Kesselpumpe verzichtet werden kann.

An diese Geräte könnten heizseitig die kleinsten heute verfügbaren Pumpen mit einer elektrischen Leistungsaufnahme zwischen 8 bis maximal 25 W (60 bis über 100 W in heutigen Wandgeräten) eingesetzt werden.  
Äquivalente Nutzungsgraderhöhung: **8 – 12 % - Punkte!!!**

Parallel sind möglichst hohe Modulationsbereiche der eingesetzten Gasbrenner (Optimum 1:15) zu fordern, um eine Anpassung an verschiedene Auslegungslasten und Teillastbereiche zu ermöglichen.



## Empfehlungen für die Ausführung

Plandaten von den ausführenden Handwerkern einstellen und in einer Fachunternehmererklärung bestätigen:

- Korrekte Einstellung der Heizkurve am Regler
- Anpassung der Pumpe
- Durchführung des hydraulischen Abgleichs

## Empfehlungen für die Nutzung

Information und Einweisung in alle wesentlichen Geräte- und Bedienfunktionen v. a. für die Reglereinstellung (Heizpausen, Heizgrenztemperaturen, Sommerbetrieb, Thermostatventilregler)



## Zusammenfassung

1. Die nach dem Trinkwarmwasserwärmebedarf dimensionierten Wärmeerzeuger sind für den Neubaubereich mit Heizlasten von 25...50 W/m<sup>2</sup> zu groß und arbeiten weitgehend unterhalb des Modulationsbereichs des Brenners im Taktbetrieb.
2. Der durch die Konstruktion der Brennwertwandkessel erforderliche Mindestkesselvolumenstrom (wegen des geringen Wasserinhalts der meisten am Markt angebotenen Brennwertgeräte) und der damit verbundene Einsatz von Überströmventilen oder hydraulischer Weichen führt zu einer unerwünschten Rücklauftemperaturenanhebung und damit zu einer Minderung des Brennwertnutzens.



3. Die in den Wärmeerzeugern eingebauten Heizkreisumwälzpumpen weisen für den Neubaubereich viel zu hohe Förderdrücke auf. Im Zusammenspiel mit nicht hydraulisch abgeglichenen Heiznetzen führt dies wegen der hohen Umlaufwassermengen zu kleinen Temperaturspreizungen, erhöhten Rücklauftemperaturen und verstärkter Schalthäufigkeit, die den Nutzungsgrad verschlechtern.
4. Aus nicht angepassten Heizkurven und Reglereinstellungen resultieren zu hohe Systemtemperaturen. Hier sollte von Herstellerseite eine niedrigere Werkseinstellung gewählt werden, um den Heizungsbauer zu zwingen, bei der Inbetriebnahme eine Anpassung der Heizkurve auf Planwerte vorzunehmen.



## **Energetisches Einsparpotential [bis 50 kWh/(m<sup>2</sup>a)]: Heizwärmebedarf von zwei bis drei Passivhäusern**

Die mittleren, auf die beheizte Wohnfläche bezogenen Wärmeezeugerverluste von Brennwertkesseln liegen mit ca. 15 ... 16 kWh/(m<sup>2</sup>a) in der gleichen Größenordnung wie der gesamte Raumheizwärmebedarf eines Passivhauses.

Integrierte Pumpen mit 40 bis zu 80 W elektrischer Überschussleistung erzeugen einen zusätzlichen Primärenergiebedarf von 5 bis 9 kWh/(m<sup>2</sup>a)

Die Wärmeabgabe von Trinkwarmwasser-Zirkulationsleitungen und von Heizwasserleitungen liegt mindestens noch einmal in der gleichen Größenordnung.

Durch eine QS der Sekundärseite (Verteilung, Übergabe) ergibt sich ein weiteres Einsparpotential von ca. 10 kWh/(m<sup>2</sup>a), wie erste Ergebnisse der OPTIMUS-Studie zeigen.