



**Fraunhofer** Institut  
Solare Energiesysteme

# Langzeitmonitoring der Demonstrations- gebäude im Rahmen des Forschungs- programms EnBau:MONITOR

Zwischenbericht

TAG-ChN-E-01-2005

**Bearbeitung**

Christian Neumann

Freiburg im August 05

Dieser Bericht enthält 32 Seiten einschließlich Anhang.

Fraunhofer ISE  
Gruppe Solares Bauen  
Freiburg, 2. August 2005

Christian Neumann  
Bearbeitung

Sebastian Herkel  
Leiter der Gruppe Solares Bauen

## INHALT

Zusammenfassung	1
Datengrundlage	2
Gesamt-Endenergieverbrauch im Langzeitmonitoring	4
Analyse des Verbrauchs	9
Einschränkungen	9
Analyse Wärme, Kälte, Strom	11
Fraunhofer ISE	14
DB Netz	15
Fachhochschule Bonn-Rhein-Sieg (FH BRS)	16
Gesellschaft für Innovation und Transfer (GIT)	17
Passivhaus Lamparter	18
TU Braunschweig Informatikzentrum (TUB)	19
SurTec	20
Zentrum für Umweltbewusstes Bauen (ZUB)	21
Pollmeier	22
Solvis	23
KfW Bankengruppe	24
Energieforum Berlin	25
TMZ Erfurt	26
BOB – Balanced Office Building	27
Solar Info Center (SIC)	28
Fazit	29

## 1. Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht zeigt die Auswertung der Energieverbrauchsdaten, die im Rahmen von EnBau:MONITOR im Langzeitmonitoring anhand von wöchentlichen Zählerablesungen erfasst werden. Für insgesamt 18 von 23 Projekten liegen Daten vor. 12 dieser 18 Projekte liefern aktuell noch Daten.

Da im Langzeitmonitoring der Endenergieverbrauch inklusive Arbeitshilfen erfasst wird, ist dieser größer als bei den vergleichbaren Auswertungen in der regulären Monitoringphase, bei denen der Verbrauch der Arbeitshilfen nicht mit eingeht.

Insgesamt liegen die meisten Projekte mit ihrem Gesamt-Endenergieverbrauch bei Werten zwischen 50-100 kWh/m<sup>2</sup>a und damit um Faktor 2,5 bis 3 niedriger als der Gebäudebestand.

Der Gebäudebetrieb wurde mit Hilfe von Kennliniendiagrammen bewertet. Diese stellen das Wochenmittel der Leistung von Wärme und Stromverbrauch dar und erlauben eine grobe Aussage über die energetische Qualität des Betriebs. Insbesondere erlaubt die Art der Darstellung eine Bewertung schon nach wenigen Wochen des Betriebs. Die wochenweise Erfassung der Energieverbrauchswerte bietet eine gute Grundlage für die Entwicklung einer Methode zur Analyse der Betriebsführung.

## 2. Datengrundlage

Im Rahmen des Forschungsprogramms EnBau:MONITOR des BMWA wurden bislang 23 Demonstrationsgebäude gefördert, ein Projekt wurde eingestellt. Alle Projekte durchlaufen eine 2 jährige Monitoringphase bzw. werden diese noch durchlaufen.

Tab. 1: Liste der Projekte mit Dauer des Langzeitmonitorings

	Projekt	Nutzung	Standort	Bezugs- jahr	Langzeitmonitoring (Handablesungen) von – bis	Dauer in Jahren (ca.)
1	ECOTEC	Büro	Bremen	1997/98	-	-
3	Wagner	Büro	Cölbe	1998	-	-
4	Hübner	Produktion	Kassel	1998	-	-
5	FhG ISE	Institut	Freiburg	2001	Jun 01 – heute	4
6	DB Netz	Büro	Hamm	1999	Jan 03 – Jun 03	0,5
7	Fh BRS	Hochschule	St. Augustin	1999	Dez 02 – Okt 04	1,75
8	GIT	Hochschule	Siegen	2002	Dez 02 – heute	2,75
9	Lamparter	Büro	Weilheim	1990	Dez 02 – heute	2,75
10	TUB-NIZ	Hochschule	Braunschweig	2001	Dez 02 – heute	2,75
11	SurTec	Büro/Prod.	Zwingenberg	2000	Dez 02 – Apr 03	0,25
12	ZUB	Büro	Kassel	2001	Dez 02 – Okt 04	1,75
13	Pollmeier	Büro	Creuzburg	2001	Dez 01 – Apr 04	2,25
14	Solvis	Büro/Prod.	Braunschweig	2002	Dez 02 – heute	2,75
15	KfW	Büro	Frankfurt	2002	Feb 03 – heute	2,5
16	EnergieForum	Büro	Berlin	2002	Mai 03 – heute	2,5
17	EnerGon	Büro	Ulm	2002	-	-
18	TZM Erfurt	Büro	Erfurt	2001	Dez 02 – Dez 04	2
19	BOB	Büro	Aachen	2002	Mrz 03 – heute	2
20	GMS Biberach	Hochschule	Biberach	2004	Dez 04 – heute <sup>1</sup>	-
21	Lebenshilfe	Büro/Prod.	Lindenberg	2004	Noch nicht erfasst	-
22	SIC	Büro	Freiburg	2003	Nov 04 – heute	0,5
23	UBA	Büro	Dessau	2005	Noch nicht erfasst	-

<sup>1</sup> Noch nicht evaluiert

Während im Rahmen des 2-jährigen Monitorings detaillierte Analysen zu Energieverbrauch, Komfort und Funktion der Anlagentechnik erstellt werden, sollen in einem Langzeitmonitoring, das über diesen 2-Jahres-Zeitraum hinaus geht, vor allem die Haupt-Energieflüsse der Gebäude erfasst werden. Dies geschieht durch wöchentliche Handablesung der Zählerstände durch die Betreiber oder das Monitoringteam vor Ort. Die Auswahl der Zähler, die aufgenommen werden, trifft das jeweilige Monitoringteam im Projekt. Die aktuellen Daten werden vom Fraunhofer ISE zentral gesammelt und für jedes Projekt auf der Internetseite [www.enbau-monitor.de](http://www.enbau-monitor.de) unter dem Punkt „Messwerte“ beim jeweiligen Projekt grafisch angezeigt.

### 3. Gesamt-Endenergieverbrauch im Langzeitmonitoring

Der Endenergiebedarf der im Langzeitmonitoring erfasst wird, unterscheidet sich von dem, der im Rahmen der 2-jährigen Monitoringphase ermittelt wird.

Im Rahmen des Programms EnBau:MONITOR wurden nur Vorgaben für den „planbaren“ Energiebedarf der Gebäude gemacht. Dieser setzt sich zusammen aus dem Energiebedarf für Wärme (Heizung und Warmwasserbereitung) und dem Bedarf an elektrischer Energie für die technische Gebäudeausrüstung (Beleuchtung, Lüftung, Pumpen, etc.). Vorgaben wurden für den Primärenergiebedarf ( $< 100 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ) gemacht. Zusätzlich wurde der Heizenergiebedarf auf  $40 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  beschränkt. Als Primärenergiefaktor wurde für Strom 3 angesetzt. Daraus ergibt sich ein maximal zulässiger elektrischer Energiebedarf von  $20 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ .

Andere Verbraucher, wie z.B. Arbeitshilfen (Computer, Drucker, etc.) sind nicht Gegenstand der Beschränkung, da deren Auswahl in der Regel vom Nutzer bestimmt wird, und somit dem Zugriff des Planers entzogen sind.

Bei den Daten, die im Langzeitmonitoring erfasst werden, handelt es sich dagegen um den Gesamtendenergieverbrauch, der auch den Verbrauch der Arbeitshilfen mit einschließt.

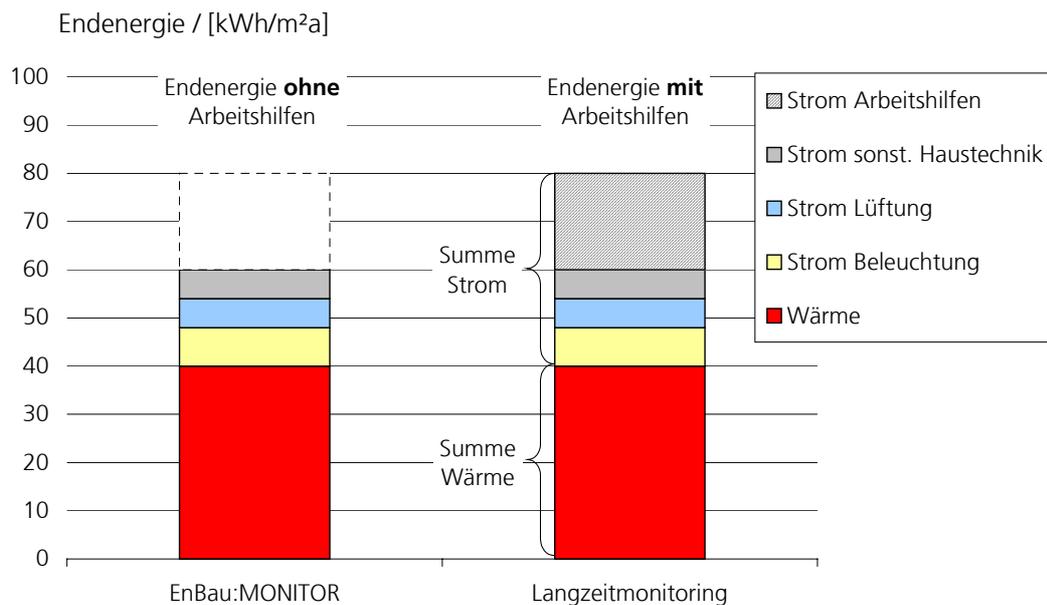


Abb. 1 Erfasster Endenergiebedarf im Vergleich. Im Rahmen von EnBau:MONITOR wird Energieverbrauch für Arbeitshilfen mit erfasst. Daher sind die Werte kleiner als der Gesamt-Endenergieverbrauch, der im Langzeitmonitoring ermittelt wird. Im Langzeitmonitoring werden meist nur die Summenwerte für Wärme bzw. Brennstoffe und Strom aufgezeichnet.

Tab. 2 zeigt den gemessenen Gesamt-Endenergieverbrauch der Projekte. In der Tabelle ist außerdem vermerkt, für welche Anwendungen die Energieträger verwendet werden.

Tab. 2 Ausstattung und Verbrauchswerte für die Projekte im Langzeitmonitoring, die Verwendung der Energieträger ist mit farbigen Punkten gekennzeichnet: ● Wärmeerzeugung, ● Kälteerzeugung, ● Koppelprozess (Strom + Wärme), ● Deckung des Strombedarfs

Projekt	Bezugs-jahr	Wärme							Strom			Kälte				Endenergieverbrauch			Bemerkung
		Gaskessel	Holzessel	Fernwärme	BHKW	Brennstoffzelle	Wärmep.	Abluft-WP	Therm. Solaranlage	Netz	BHKW	PV	KKM	AKM	WP	Passive Kühlung	Bezug Brennstoffe	Bezug Fernwärme	
																KWh/m²a	KWh/m²a	KWh/m²a	
ECOTEC				■				■	■		■				■				Kein Langzeitmonitoring
Wagner					■			■	■	■					■				Kein Langzeitmonitoring
Hübner				■				■	■						■				Kein Langzeitmonitoring
FhG ISE	2004	■			■			■	■	■	■	■	■		■	440 ●●●	-	213 ●●	
DB Netz		■						■	■			■			■	- ●	-	- ●●	Es liegt kein vollständiges Jahr mit Ablesedaten vor
Fh BRS	2003	■			■			■	■	■	■				■	59,1 ●●	-	42,4 ●	
GIT	2004	■					■	■	■		■				■	132,5 ●	-	65,9 ●●	
Lamparter	2004	■					■	■	■		■				■	15,4 ●		33,3 ●	
TUB	2004			■				■	■			■			■	-	29,6	58,8 ●●	
SurTec		■						■	■						■	- ●	-	- ●	Es liegt kein vollständiges Jahr mit Ablesedaten vor
ZUB	2003			■				■	■						■	-	22,7	14,8 ●	
Pollmeier	2003			■			■	■	■		■	■			■		51,5	63,0 ●●●	Kühlung nur für Serverraum

(Fortsetzung nächste Seite)

(Fortsetzung Tab. 2)

Projekt	Bezugs-jahr	Wärme							Strom			Kälte				Endenergieverbrauch			Bemerkung
		Gaskessel	Holzessel	Fernwärme	BHKW	Brennstoffzelle	Wärmepumpe	Abluft-WP	Therm. Solaranlage	Netz	BHKW	PV	KKM	AKM	WP	Passive Kühlung	Bezug Brennstoffe	Bezug Fernwärme	
																kWh/m²a	kWh/m²a	kWh/m²a	
Solvis	2004	■			■			■	■	■	■				■	-	-	23,8	Abwärme Kessel aus F+E- Bereich fehlt
KfW	2004	■	■					■	■			■			■	(47,6)	-	75,7	Bezugswert Brennstoffe entspricht erzeugter Wärme. Gasverbrauch ist niedriger als Wärme Gaskessel!
EnergieForum	2004			■		■	■	■	■		■				■	(53,5)	44,1	15,9	Bezugswert Brennstoffe entspricht erzeugter Wärme (FW + WP). Brennstoffzelle nur Vorhaltung
Energon	-			■				■	■		■	■			■				Noch nicht erfasst, Aktive Kühlung nur für Serverräume
TZM Erfurt	2003			■		■	■	■	■		■			■		-	47,9	104	
BOB	2004							■	■						■	-	-	31,2	„nur-Strom-Haus“
GMS Biberach			■			■		■	■					■					Noch nicht erfasst
Lebenshilfe			■			■		■	■					■					Noch nicht erfasst
UBA				■				■	■		■	■		■					Noch nicht erfasst
SIC				■				■	■		■	■		■		-	-	-	Es liegt kein vollständiges Jahr mit Ablesedaten vor
<b>Anzahl</b>		<b>8</b>	<b>3</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>12</b>	<b>22</b>	<b>4</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>21</b>			

Unter „Passiver Kühlung“ sind alle Techniken zusammengefasst, die das Temperaturniveau der Umgebung (Außenluft, Erdreich oder Grundwasser) ohne die Verwendung einer Kältemaschine zu Kühlzwecken nutzen (z.B. Nachtlüftung, Betonkernaktivierung über Erdsonden oder Rückkühlwerke).

In der letzten Zeile von Tab. 2 ist die Häufigkeit der in den Projekten eingesetzten Versorgungstechnologien ersichtlich. Gemäß den Vorgaben des Programms EnBau:MONITOR kamen in rund 50% der Projekte thermische Solaranlagen und Photovoltaikanlagen zum Einsatz. Außer bei ECOTEC wurden überall Technologien zur passiven Kühlung verwendet. Bei der Wärmeversorgung greifen 17 von 22 Projekten zumindest zur Grundversorgung auf Gaskessel und Fernwärme – also konventionelle Technik- zurück. An zweiter Stelle folgen Wärmepumpen, die Erdreich, Grundwasser oder Abluft als Wärmequelle verwenden. In 4 Projekten wurden BHKWs eingesetzt und in 3 kamen Holzkessel zum Einsatz. In nur einem Projekt (EnergieForum) wurde eine Brennstoffzelle zu Demonstrationszwecken eingesetzt, die jedoch aufgrund ihrer geringen Leistung (7 kW thermisch) keinen nennenswerten Beitrag zur Energieversorgung leistet.

Abb. 2 zeigt den Gesamt-Endenergieverbrauch für alle Gebäude, für die mindestens ein vollständiges Jahr an Daten aus dem Langzeitmonitoring vorliegt.

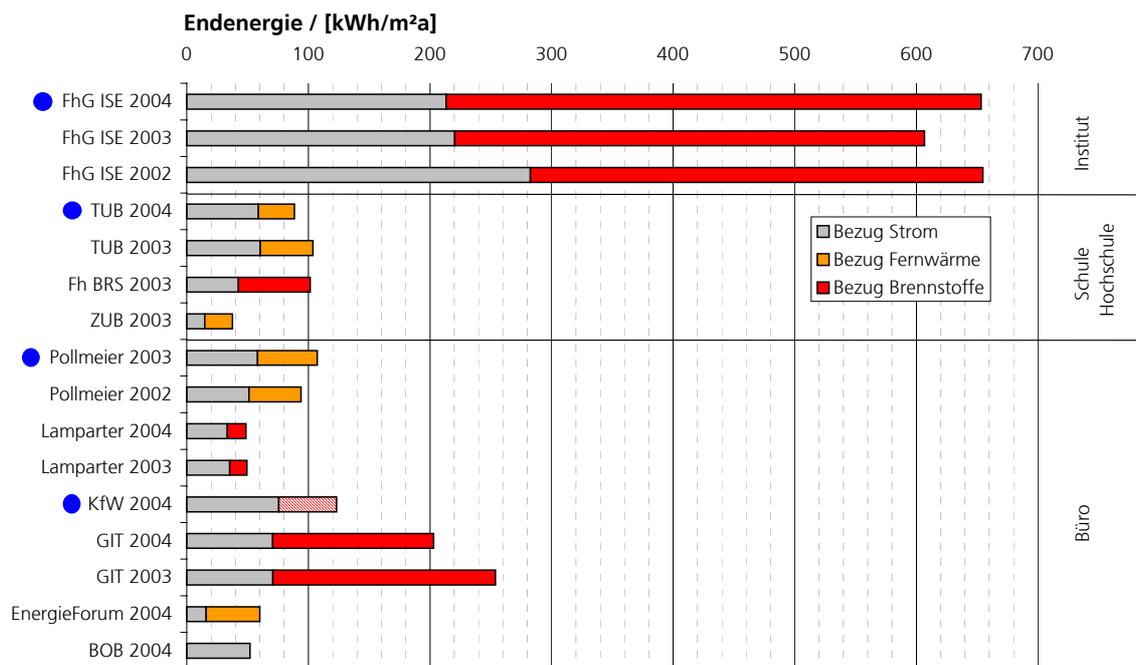


Abb. 2 Langzeitmonitoring: Gesamt-Endenergieverbrauch aller Projekte, für die mindestens 1 vollständiges Jahr mit entsprechenden Messwerten vorliegt. Projekte, die maschinelle Kühlung für Teilbereiche enthalten, sind mit blauem Punkt markiert.

Auffallend ist zunächst der hohe Verbrauch des Fraunhofer ISE. Er erklärt sich durch den hohen Strom- und Kühlbedarf der Labore. Er wurde im Rahmen von

EnBau:MONITOR nicht ausgewertet, da für diese Sondernutzung keine nutzbaren Vergleichsgrößen vorhanden sind.

Die anderen Projekte bewegen sich mit ihrem Endenergiebedarf zwischen 50 und 100 kWh/m<sup>2</sup>a. Eine Ausnahme stellt das GIT dar, das einen deutlich erhöhten Endenergiebedarf für Wärme aufweist. Aus den Daten des Langzeitmonitorings ergibt sich als eine der Ursachen ein sehr geringer Nutzungsgrad für den Gaskessel (< 70%), was Ende 2003 korrigiert wurde.

Die Gebäude mit maschineller Kühlung in Teilbereichen weisen gegenüber den anderen Gebäuden durchschnittlich einen erhöhten Strombedarf auf.

Beim Gebäude der KfW wurde im Langzeitmonitoring der Brennstoffverbrauch für den Holzkessel bislang nicht wöchentlich erfasst. Als Folge hiervon kann der Gesamt-Endenergiebedarf nicht dargestellt werden. Behelfsmäßig ist in Abb. 2 die Summe aus erzeugter Wärme von Gas- und Holzkessel gezeigt. Die Verluste des Holzkessels bleiben damit unberücksichtigt. Trotzdem liegt der Wärmeverbrauch noch relativ hoch.

Abb. 3 zeigt den Vergleich der Gesamt-Endenergie zur Endenergie gemäß EnBau:MONITOR (Endenergie Wärme + elektrische Energie Haustechnik).

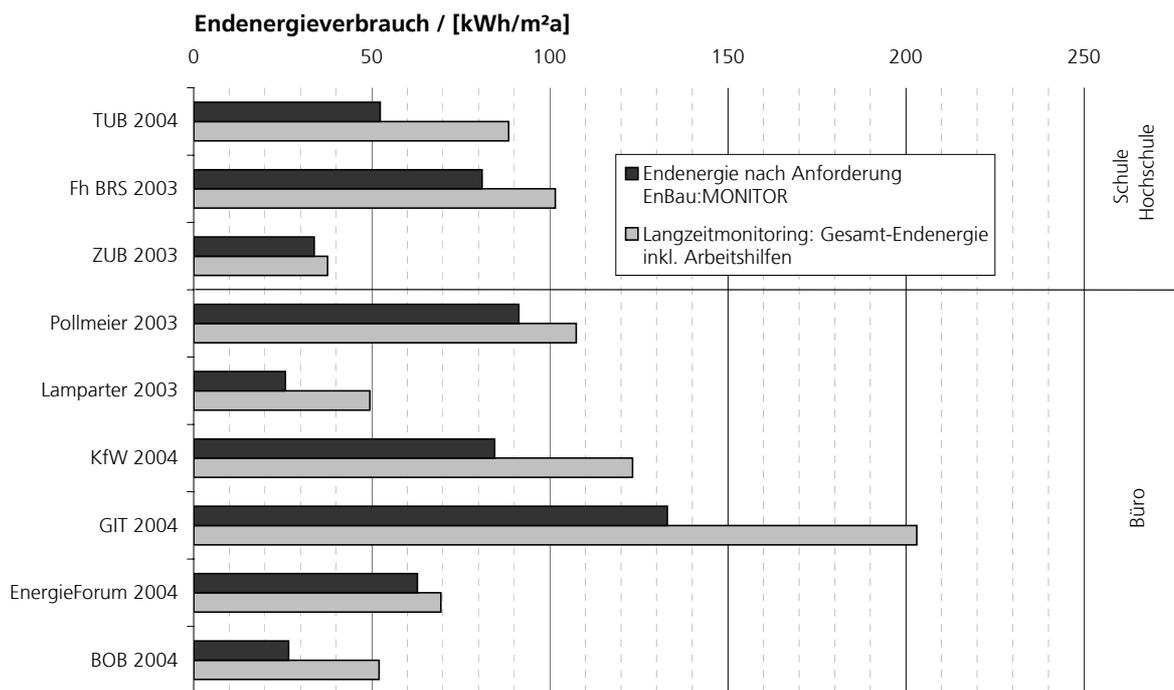


Abb. 3 Vergleich des Gesamtendenergieverbrauchs der Gebäude inkl. Arbeitshilfen zum Endenergieverbrauch entsprechend der Vorgaben von EnBau:MONITOR (Quelle Daten EnBau:MONITOR: K. Voss, Universität Wuppertal).

Aus der Darstellung ist das Fraunhofer ISE bewusst herausgenommen, da kein geeigneter Vergleichswert vorliegt.

Der Gesamt-Endenergiebedarf inkl. Arbeitshilfen liegt bei den meisten Projekten um 20%-30% höher als der Endenergiebedarf gemäß der Bilanzierung in EnBau:MONITOR. Nur bei Gebäuden mit sehr geringem Endenergiebedarf (Lamparter, BOB) und bei den Gebäuden mit aktiver Kühlung beträgt der nutzungsbedingte Anteil bis zu 50% des Endenergieverbrauchs. Bei den Passivhäusern Lamparter und BOB ist der im Vergleich zum restlichen Energieverbrauch hohe Stromverbrauch für Arbeitshilfen u.ä. dafür verantwortlich. Bei den Gebäuden mit aktiver Kühlung trägt diese zu einem erhöhten Strombedarf bei.

Eine Ausnahme bildet wiederum das GIT, das aufgrund von Fehlfunktionen sowohl beim Wärme-, als auch beim Stromverbrauch deutlich höhere Werte aufweist.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die Mehrzahl der Gebäude einen Gesamt-Energieverbrauch von 50-100 kWh/m<sup>2</sup>a erreichen, der verglichen mit dem Gebäudebestand, bei dem Werte zwischen 150 – 250 kWh/m<sup>2</sup>a üblich sind, um eine Faktor 2,5-3 niedriger ist.

## 4. Analyse des Verbrauchs

### 4.1. Einschränkungen

Mit den Verbrauchsdaten, die im Rahmen des Langzeitmonitorings erfasst werden, wird in der Regel die Gesamt-Endenergie protokolliert, die dem Gebäude zugeführt wird. In Abb. 4 entspricht das dem linken Block „Endenergie“. Über die Prozesse „Erzeugung“, „Speicherung“, „Verteilung“ und „Übergabe“ wird mit der zugeführten Endenergie die nachgefragte Dienstleistung erbracht (Block „Nutzenergie“). Bei einigen Projekten werden auch verschiedene Energiemengen protokolliert, die nach der Erzeugung zur Verfügung stehen. Im Allgemeinen nimmt jedoch die Verfügbarkeit von Messdaten in Richtung „Nutzenergie“ stark ab.

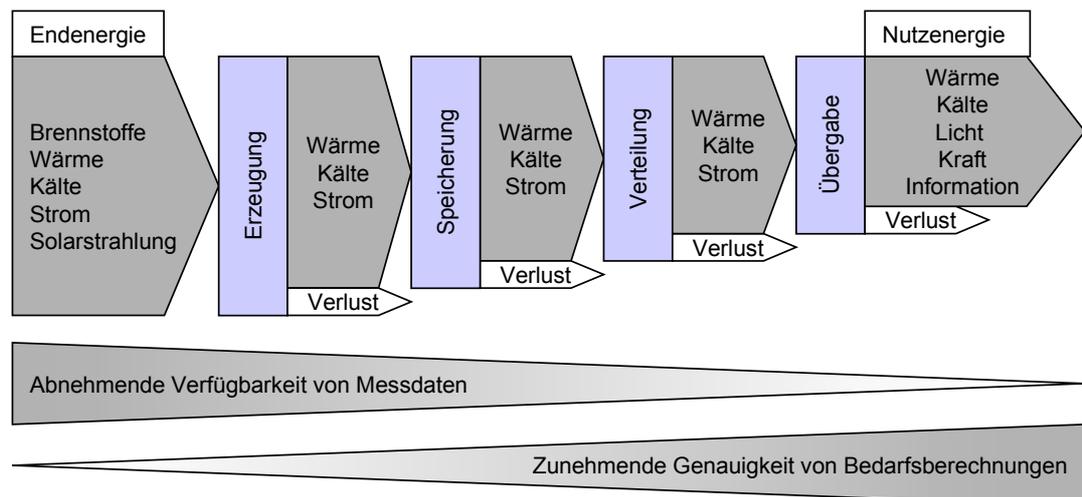


Abb. 4 Vereinfachtes Schema der Energieflüsse in einem Gebäude, angelehnt an die Struktur der DIN 18599.

Für die Analyse des Energieverbrauchs der Gebäude auf Grundlage der Daten aus dem Langzeitmonitoring ergeben sich damit folgende Einschränkungen:

- **Mangelnde Vergleichbarkeit von Verbrauchs- und Bedarfsdaten**

Zur Analyse des Verbrauchs wird in der Regel mit Modellen gearbeitet, die zunächst den Nutzenergiebedarf bestimmen. Mit Hilfe von so genannten Aufwandszahlen, die die Effizienz der Prozesse der Energiebereitstellung beschreiben, wird dann ein Endenergiebedarf errechnet. Dabei wird naturgemäß die Genauigkeit bei jedem Prozessschritt geringer, da die Anzahl der notwendigen Annahmen zunimmt.

Wird nun messtechnisch lediglich der Endenergieverbrauch erfasst, so kann auch messtechnisch die Effizienz (bzw. die Aufwandszahl) der Erzeugung, Speicherung, Verteilung und Übergabe nicht ermittelt werden. Es ist daher eine systematische Ungenauigkeit beim Vergleich von Verbrauchs- und Bedarfswerten gegeben. Weiterhin kann bei erhöhten Verbrauchswerten keine eindeutige Zuordnung zu einem der Prozesse vorgenommen werden.

- **Keine eindeutige Zuordnung von Endenergieverbrauch zu Nutzenergie**

Wenn nur die Endenergiezufuhr messtechnisch erfasst wird, ist u.U. keine Zuordnung des jeweiligen Endenergeträgers zu einer Dienstleistung (Nutzenergie) möglich.

Während z.B. der Erdgasverbrauch eines Gas-Kessels, der ausschließlich zur Raumheizung dient, vollständig der Dienstleistung „Raumheizung“ zugeordnet werden kann, ist das bei Koppelprozessen nicht mehr möglich. Wird das Gas z.B. in einem BHKW eingesetzt, so ist ohne eine Unterzählung der erzeugten Mengen an Strom und Wärme keine Zuordnung zu Nutzenergien möglich.

Auch wenn Energieträger zur Bereitstellung verschiedener Energiedienstleistungen (z.B. Gas für Wärme- und Kältebereitstellung) eingesetzt werden, ergibt sich dieses Problem, wenn nicht nach dem jeweiligen Erzeuger für alle Produkte eine Zwischenzählung erfolgt.

Eine eindeutige Zuordnung von End- zu Nutzenergie ist jedoch notwendig, um die Höhe des Endenergieverbrauchs bewerten zu können.

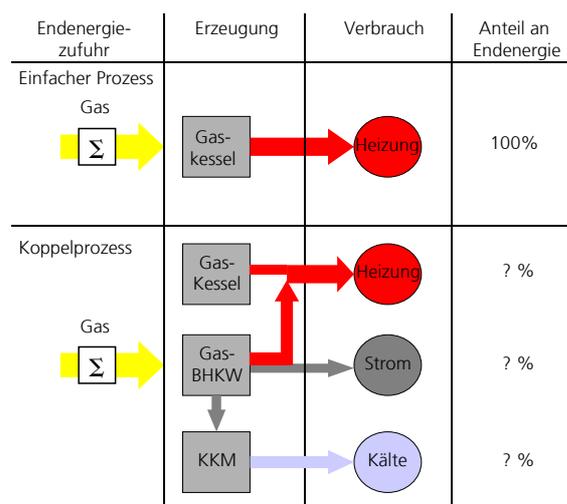


Abb. 5 Darstellung des Problems fehlender Zuordnung von Endenergie zu Verbrauch bei Koppelprozessen, wenn ausschließlich die Endenergiezufuhr gemessen wird.

Weiterhin ergibt sich für die Vergleichbarkeit der Projekte untereinander die Schwierigkeit, dass einige für das Langzeitmonitoring nicht durchgängig die Endenergiezufuhr, sondern z.B. für einzelne Wärmeerzeuger die erzeugte Wärmemenge aufnehmen.

## 4.2. Analyse Wärme, Kälte, Strom

Im Folgenden wird für alle Projekte eine Grobanalyse des Energieverbrauchs durchgeführt.

Dazu erfolgt die Darstellung der mittleren wöchentlichen Leistung für den Endenergiebezug über dem Wochenmittel der Außentemperatur. In dieser Darstellung können Kennlinien für den jeweiligen Endenergiebezug eingetragen werden, die sich aus einer linearen Regression der Messwerte ergeben. Abb. 6 zeigt ein typisches Diagramm, anhand dessen die einzelnen Größen erläutert werden.

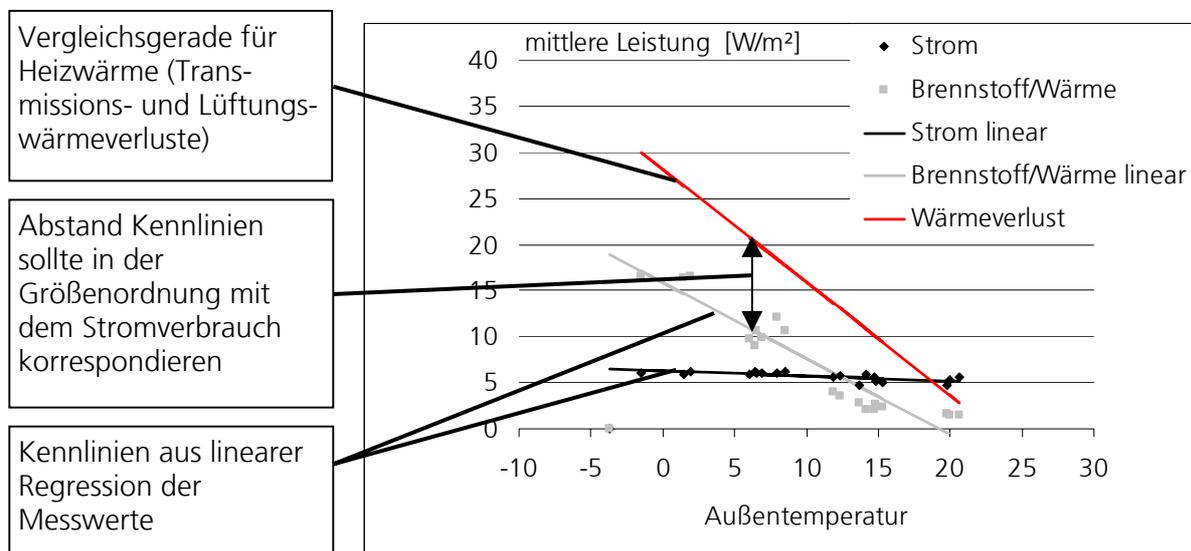


Abb. 6 Beispiel eines typischen Kennliniendiagramms mit mittlerer wöchentlicher Leistung über dem Wochenmittel der Außentemperatur

- Brennstoff / Wärme**  
 Diese „Punktwolke“ ergibt sich aus den wöchentlichen Ablesungen für Brennstoff- bzw. Wärmeverbrauch. Aus den Ablesewerten wird der Energieverbrauch in der jeweiligen Woche in kWh berechnet. Dieser wird durch die Anzahl der Stunden zwischen den beiden betreffenden Ablesungen und durch die Nettogrundfläche geteilt. Als Ergebnis erhält man eine mittlere wöchentliche spezifische Leistung.
- Strom**  
 Mit den Ablesewerten für den Stromverbrauch wird analog verfahren. Daraus ergibt sich die „Punktwolke“ für die Stromwerte.
- Brennstoff / Wärme und Strom linear**  
 Aus den berechneten Werten der mittleren spezifischen Leistung wird mit Hilfe

einer linearen Regression eine Kennlinie erzeugt. Vereinfachend wird hierbei ein linearer Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und Außentemperatur angenommen.

- **Vergleichsgerade „Wärmeverluste“**

Der Heizenergiebedarf für Gebäude wird in statischen Bilanzverfahren üblicherweise folgendermaßen berechnet:

$$Q_{\text{heiz}} = Q_{\text{verluste}} - \eta Q_{\text{gewinne}}$$

mit:

$$Q_{\text{verluste}} = Q_{\text{transmission}} + Q_{\text{lüftung}}$$

$$Q_{\text{gewinne}} = Q_{\text{intern}} + Q_{\text{solar}}$$

$\eta$  = Ausnutzungsgrad der Wärmequellen

Bis auf die Transmissionswärmeverluste sind alle anderen Bilanzgrößen u.U. stark nutzerunabhängig. Um zunächst eine einfache und robuste Vergleichsgröße für den Heizenergiebedarf zu erhalten, werden daher nur die Wärmeverluste herangezogen, wobei die Lüftungswärmeverluste anhand der Projektdaten abgeschätzt werden. Für die EnBau-Projekte wird sie gemäß folgender Gleichung berechnet:

$$P_{\text{heiz,max,m}} = \frac{(U_{\text{Hülle}} \cdot A_{\text{Hülle}} + n_m \cdot 0,34 \cdot (1 - \eta_{\text{WRG}} \cdot x_{\text{WRG}}) \cdot \text{NRI}) \cdot (T_{\text{raum}} - T_{\text{außen,m}})}{\text{NGF}}$$

mit:

$p_{\text{heiz,max,m}}$	Wochenmittel der maximalen Heizleistung in W/m <sup>2</sup>
$U_{\text{hülle}}$	mittlerer U-Wert der Gebäudehüllfläche in W/m <sup>2</sup> K
$A_{\text{hülle}}$	Gebäudehüllfläche in m <sup>2</sup>
$n_m$	Wochenmittel des Luftwechsels in 1/h (wird anhand der Anzahl der Nutzer, der Betriebszeiten und einer Luftmenge von 60 m <sup>3</sup> /h pro Person hochgerechnet)
$\eta_{\text{WRG}}$	Wärmebereitstellungsgrad Wärmerückgewinnung (falls WRG vorhanden wird pauschal 60% angesetzt)
$x_{\text{WRG}}$	Anteil des Luftvolumens der WRG am gesamten Luftvolumen (wurde für das jeweilige Projekt geschätzt)
NRI	Nettorauminhalt in m <sup>3</sup>
NGF	Nettogeschossfläche in m <sup>2</sup>
$T_{\text{raum}}$	Raumtemperatur (Annahme: 23°C)
$T_{\text{außen,m}}$	Wochenmittel der Außentemperatur

Die rote Gerade im Kennliniendiagramm repräsentiert diese Wärmeverluste. Sie ist als Maximalabschätzung des Heizenergiebedarfs zu betrachten, da im realen Gebäude interne und solare Gewinne zur dessen Reduzierung beitragen.

Geht man davon aus, dass ein Großteil des Stromverbrauchs als interner Gewinn zur Reduzierung des Heizenergiebedarfs beiträgt, so sollte der Abstand der Kennlinie Brennstoff/Wärme zur Vergleichsgeraden mindestens in der Größenordnung der Kennlinie Strom liegen. Allerdings muss diese Annahme mit Vorsicht betrachtet werden, da z.B. bei Gebäuden mit klimatisierten, zentralen EDV-Räumen ein hoher Stromverbrauch auftreten kann, der nicht als interner Gewinn im Gebäude verbleibt.

Im folgenden wird für alle Projekte, für die entsprechende Daten vorliegen, das Kennliniendiagramm vorgestellt. Aufgrund der in 4.1 beschriebenen Einschränkungen ist die Zuordnung von Endenergie zu Verbrauch nicht bei allen Projekten möglich.



Projekte bei denen die Zuordnung von Endenergie zu Verbrauch erschwert ist oder sonstige Auffälligkeiten bestehen, sind mit dem nebenstehenden Symbol gekennzeichnet. Dies ist kein Hinweis auf die Qualität der energetischen Performance.

#### 4.2.1. Fraunhofer ISE

Tab. 3: Kennwerte Fraunhofer ISE

Mittlerer U-Wert	0,43 W/m <sup>2</sup> K
Mittlerer Luftwechsel	0,4 1/h
Wärmerückgewinnung	teilweise
Nutzung	Institut, Betrieb: Mo-Fr, 8-20 Uhr
<b>Messwerte</b>	
Brennstoff/Wärme	● ● ● Gas gesamt
Strom	● ● Strom gesamt

Verwendung: ● Wärmeerzeugung, ● Kälteerzeugung, ● Stromerzeugung / Deckung Strombedarf

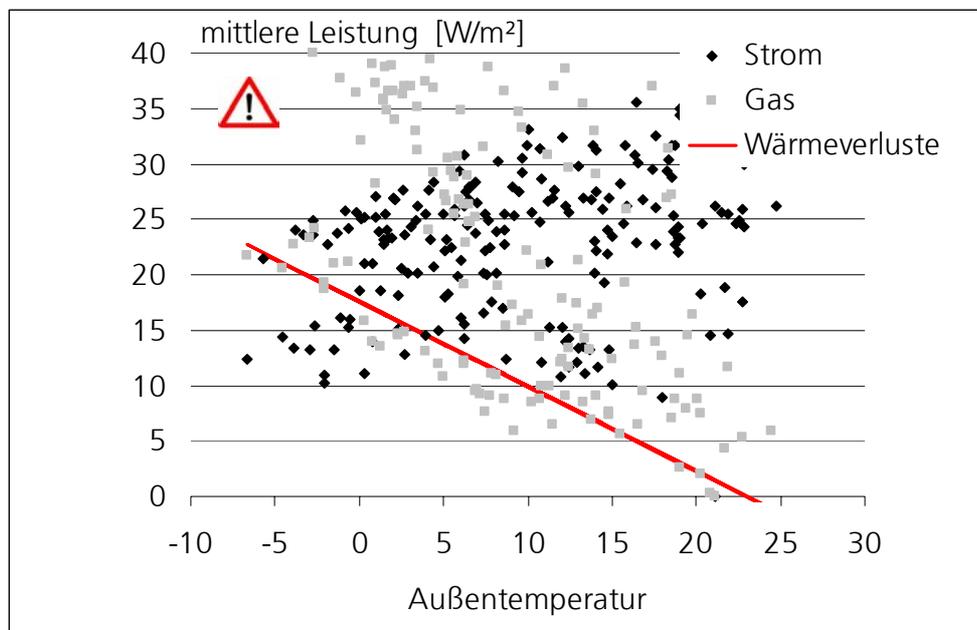


Abb. 7 Kennlinien Endenergiebezug Fraunhofer ISE

Die Versorgung des Fraunhofer ISE erfolgt über einen Kraft-Wärme-Kälte Verbund. Im Langzeitmonitoring wird nur Erdgaszufuhr und Strombezug vom Versorger erfasst. Dadurch ist keine Zuordnung des Endenergiebezugs zur Nutzung möglich.

Abb. 7 zeigt deutlich, dass bei diesem Projekt kein Zusammenhang zwischen Gesamtendenergiebezug und Außentemperatur besteht.

Um eine Analyse des Verbrauchs durchführen zu können, müssten im Langzeitmonitoring weitere Zähler aufgenommen werden.

#### 4.2.2. DB Netz

Tab. 4: Kennwerte DB Netz

Mittlerer U-Wert	0,57 W/m <sup>2</sup> K
Mittlerer Luftwechsel	0,6 1/h
Wärmerückgewinnung	Teilweise
Nutzung	Büro, Betrieb: Mo-Fr, 9-18 Uhr
<b>Messwerte</b>	
Brennstoff/Wärme ●	Gas gesamt
Strom ●●	Strom gesamt

Verwendung: ● Wärmeerzeugung, ● Kälteerzeugung, ● Stromerzeugung / Deckung Strombedarf

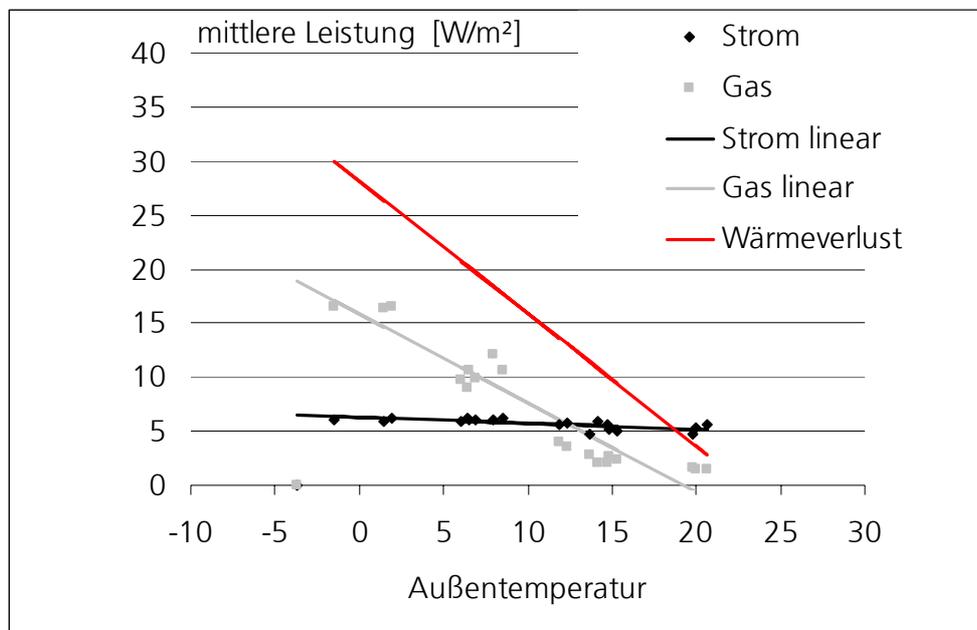


Abb. 8 Kennlinien Endenergiebezug DB Netz

Sowohl beim Endenergieverbrauch Gas als auch beim Strom ist ein eindeutiger Zusammenhang zur Außentemperatur zu erkennen. Die Kennlinie Gas liegt deutlich unterhalb der Vergleichsgeraden („Wärmeverlust“), wodurch eine grobe Fehlfunktion der Heizung ausgeschlossen werden kann.

Trotz der Verwendung einer elektrischen Kältemaschine fällt der Strombedarf bei steigender Außentemperatur ab. Möglicherweise überwiegen der Verbrauch von Beleuchtung und Haustechnik, deren Wert bei fallender Außentemperatur ansteigt.

### 4.2.3. Fachhochschule Bonn-Rhein-Sieg (FH BRS)

Tab. 5: Kennwerte FH BRS

Mittlerer U-Wert	0,42 W/m <sup>2</sup> K
Mittlerer Luftwechsel	0,9 1/h
Wärmerückgewinnung	Teilweise
Nutzung	Hochschule, Betrieb Mo-Fr, 8-19 Uhr
<b>Messwerte</b>	
Brennstoff/Wärme ● ●	Gas gesamt
Strom ●	Strom gesamt

Verwendung: ● Wärmeerzeugung, ● Kälteerzeugung, ● Stromerzeugung / Deckung Strombedarf

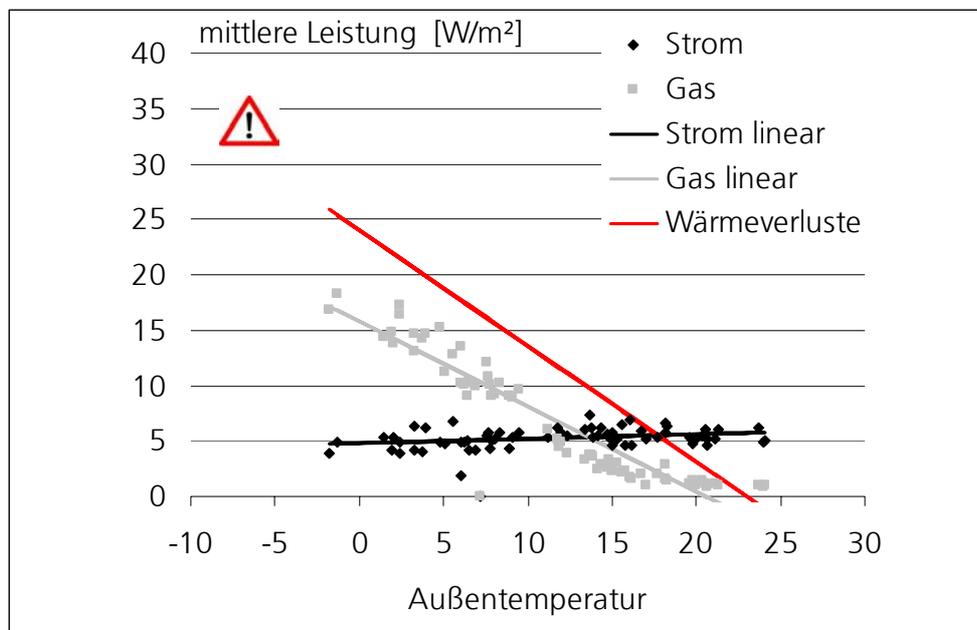


Abb. 9 Kennlinien Endenergiebezug FH BRS

Da Gas sowohl in einem Gaskessel als auch in einem BHKW eingesetzt wird, korrespondiert die Kennlinie Gas nicht direkt mit dem Wärmeverbrauch. Aufgrund des Koppelprozesses wird die mittlere Leistung des Wärmebezugs überschätzt. Allerdings wird das BHKW nur zur Spitzenlastdeckung im Winter eingesetzt und hat vermutlich nur einen geringen Anteil an der Versorgung. Die Kennlinie liegt dennoch unterhalb der Vergleichsgeraden.

Die mittlere Leistung des Strombezugs steigt mit steigender Außentemperatur trotz fehlender maschineller Kühlung leicht an. Die Gründe dafür sind aus den Daten des Langzeitmonitorings nicht ersichtlich.

#### 4.2.4. Gesellschaft für Innovation und Transfer (GIT)

Tab. 6: Kennwerte GIT

Mittlerer U-Wert	0,36 W/m <sup>2</sup> K
Mittlerer Luftwechsel	1,0 1/h
Wärmerückgewinnung	Ja
Nutzung	Büro, Betrieb: Mo-Fr, 7-18 Uhr
<b>Messwerte</b>	
Brennstoff/Wärme ●	Gas gesamt
Strom ●●	Strom gesamt

Verwendung: ● Wärmeerzeugung, ● Kälteerzeugung, ● Stromerzeugung / Deckung Strombedarf

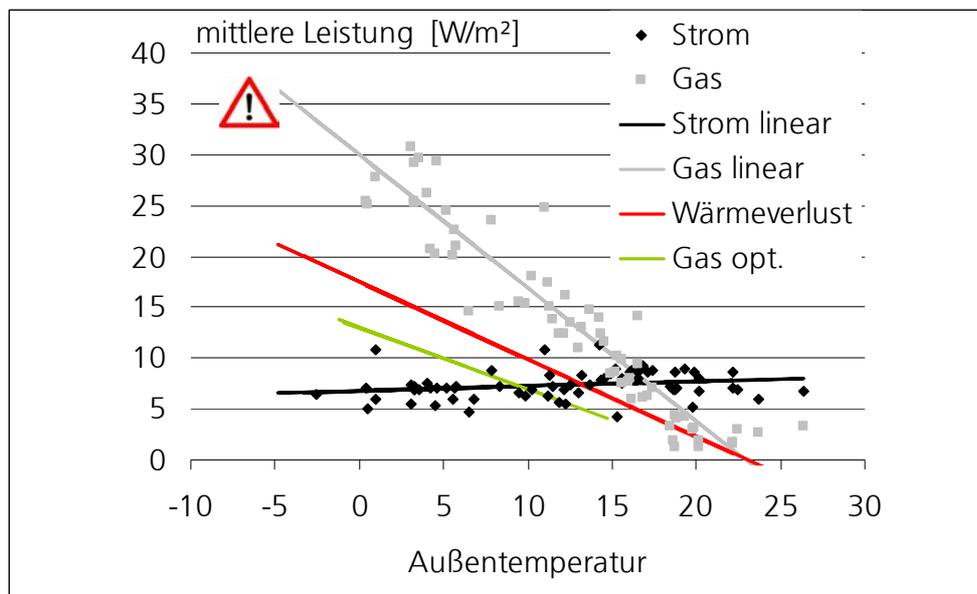


Abb. 10 Kennlinien Endenergiebezug GIT (grau: Jan. 03 bis Sept. 04, grün: Sept. 04 bis Juni 05)

Die Lage der Kennlinie Gas deutlich oberhalb der Vergleichsgeraden „Wärmeverluste“ weist auf einen massiven Funktionsfehler im Heizbetrieb hin. Zumal die Wärme der Wärmepumpen nicht berücksichtigt wird. Nachdem die Mängel durch das Monitoring erkannt wurden, erfolgte eine schrittweise Behebung. Die grüne Kennlinie zeigt den aktuellen Stand, der eine deutliche Verbesserung nachweist.

Die Werte für die mittlere elektrische Leistung liegen zwischen 5 und 10 W/m<sup>2</sup> mit leicht zunehmender Tendenz bei höheren Außenlufttemperaturen. Die Ursache hierfür ist die verstärkte Nachtlüftung. Zusätzlich sind in den aufgetragenen Werten die Effekte einer fehlerhaften Gebäuderegulierung enthalten.

#### 4.2.5. Passivhaus Lamparter

Tab. 7: Kennwerte Lamparter

Mittlerer U-Wert	0,30 W/m <sup>2</sup> K
Mittlerer Luftwechsel	0,7 1/h
Wärmerückgewinnung	Ja
Nutzung	Büro, Betrieb: Mo-Fr, 7-18 Uhr
<b>Messwerte</b>	
Brennstoff/Wärme ●	Gas gesamt
Strom ●	Strom gesamt

Verwendung: ● Wärmeerzeugung, ● Kälteerzeugung, ● Stromerzeugung / Deckung Strombedarf

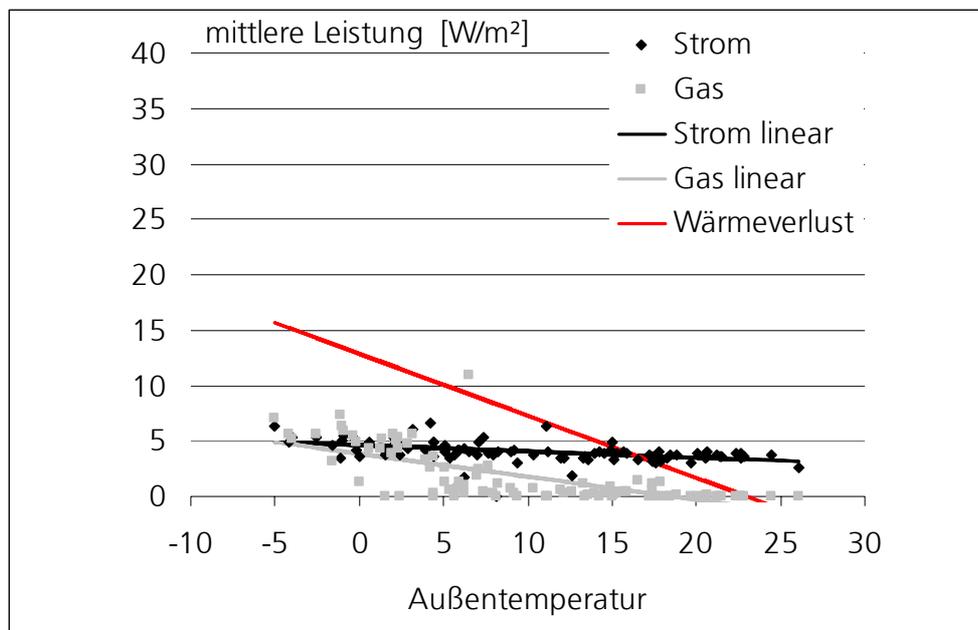


Abb. 11 Kennlinien Endenergiebezug Lamparter

Die Kennlinie Gas liegt deutlich unter der Vergleichsgeraden und weist zu dieser eine deutliche Divergenz auf. Eine grobe Fehlfunktion des Heizbetriebs kann ausgeschlossen werden.

Die Kennlinie Strom liegt bei Werten um 4 bis 5 W/m<sup>2</sup> und fällt bei steigender Außentemperatur leicht ab. Ein Grund hierfür könnte der Strombedarf für Beleuchtung sein, der bei kälteren Außentemperaturen und damit tendenziell weniger Tageslicht ansteigt.

#### 4.2.6. TU Braunschweig Informatikzentrum (TUB)

Tab. 8: Kennwerte TUB

Mittlerer U-Wert	0,63 W/m <sup>2</sup> K
Mittlerer Luftwechsel	0,4 1/h
Wärmerückgewinnung	(Abwärmennutz.)
Nutzung	Hochschule, Betrieb: Mo-Fr, 8-17 Uhr
<b>Messwerte</b>	
Brennstoff/Wärme ●	Fernwärme gesamt
Strom ●●	Strom gesamt, Strom Kälte

Verwendung: ● Wärmeerzeugung, ● Kälteerzeugung, ● Stromerzeugung / Deckung Strombedarf

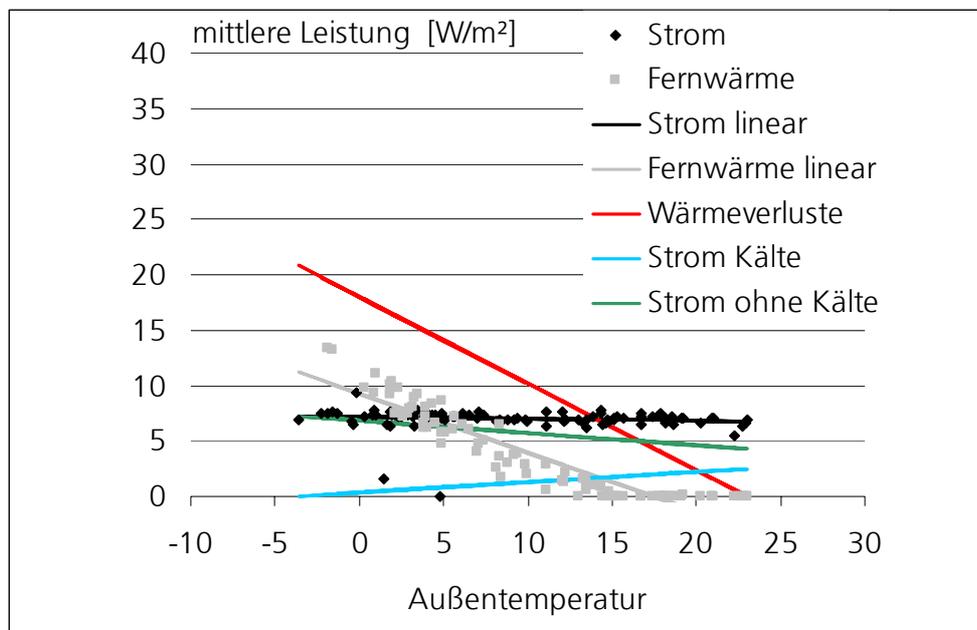


Abb. 12 Kennlinien Endenergiebezug TUB

Die Kennlinie Fernwärme liegt unterhalb der Vergleichsgeraden. Eine grobe Fehlfunktion des Heizbetriebs kann ausgeschlossen werden.

Der Gesamtstrombezug beträgt annähernd konstant ca. 7 W/m<sup>2</sup>. Da bei diesem Projekt im Langzeitmonitoring der Strombezug für die Kälteerzeugung separat erfasst wird, kann auch dieser dargestellt werden. Es zeigt sich, dass sich der konstante Verlauf des Gesamtstrombezugs aus dem mit der Außentemperatur ansteigenden Strombezug zur Kälteerzeugung und dem gleichzeitig abfallenden Reststrombezug ergibt.

#### 4.2.7. SurTec

Tab. 9: Kennwerte SurTec

Mittlerer U-Wert	0,27 W/m <sup>2</sup> K
Mittlerer Luftwechsel	0,12 1/h
Wärmerückgewinnung	Ja
Nutzung	Büro / Produktion, Betrieb Mo-Fr, 7-18 Uhr
<b>Messwerte</b>	
Brennstoff/Wärme ●	Gas gesamt
Strom ●	Strom gesamt

Verwendung: ● Wärmeerzeugung, ● Kälteerzeugung, ● Stromerzeugung / Deckung Strombedarf

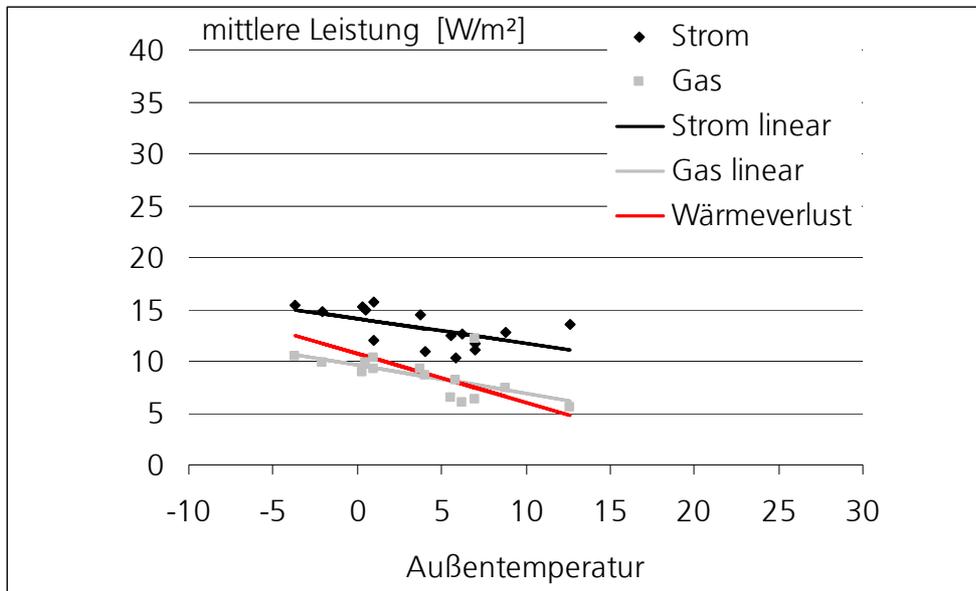


Abb. 13 Kennlinien Endenergiebezug SurTec

Die Kennlinie Gas liegt teilweise oberhalb der Vergleichsgeraden, was auf einen Fehlbetrieb der Heizung hinweisen könnte. Andererseits handelt es sich bei SurTec um ein Produktionsgebäude mit sehr spezifischer Nutzung, was sich auch im hohem Strombezug widerspiegelt.

Das Projekt SurTEC wurde als Passivhaus konzipiert. Im Vergleich zu den anderen Passivhäusern oder „Fast-Passivhäusern“ (Lamparter, BOB) fällt dennoch der stark erhöhte Energieverbrauch auf.

#### 4.2.8. Zentrum für Umweltbewusstes Bauen (ZUB)

Tab. 10: Kennwerte ZUB

Mittlerer U-Wert	0,32 W/m <sup>2</sup> K
Mittlerer Luftwechsel	0,19 1/h
Wärmerückgewinnung	Ja
Nutzung	Büro, Betrieb Mo-Fr, 8-17 Uhr
<b>Messwerte</b>	
Brennstoff/Wärme ●	Fernwärme gesamt
Strom ●	Strom gesamt

Verwendung: ● Wärmeerzeugung, ● Kälteerzeugung, ● Stromerzeugung / Deckung Strombedarf

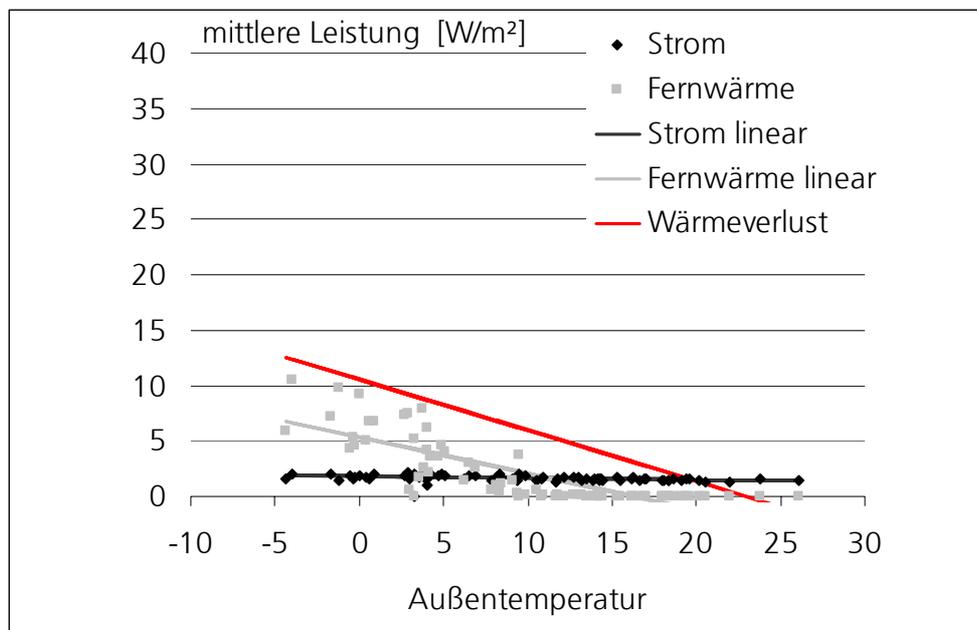


Abb. 14 Kennlinien Endenergiebezug ZUB

Eine grobe Fehlfunktion des Heizbetriebs kann ausgeschlossen werden. Auffallend bei der Kennlinie Fernwärme ist jedoch die relativ große Streuung der Messwerte.

Die Kennlinie Strom liegt im Vergleich zu den anderen Projekten extrem niedrig bei ca. 2 W/m<sup>2</sup>. Die Gründe dafür lassen sich aus den im Rahmen des Langzeitmonitorings erfassten Daten nicht ermitteln, jedoch aus der Detailanalyse des ZUB.

#### 4.2.9. Pollmeier

Tab. 11: Kennwerte Pollmeier

Mittlerer U-Wert	0,29 W/m <sup>2</sup> K
Mittlerer Luftwechsel	0,45 1/h
Wärmerückgewinnung	Teilweise
Nutzung	Büro, Betrieb: Mo-Fr, 7-18 Uhr
<b>Messwerte</b>	
Brennstoff/Wärme ●	Summe Fernwärme +Wärmeabgabe WP
Strom ●●●	Strom gesamt

Verwendung: ● Wärmeerzeugung, ● Kälteerzeugung, ● Stromerzeugung / Deckung Strombedarf

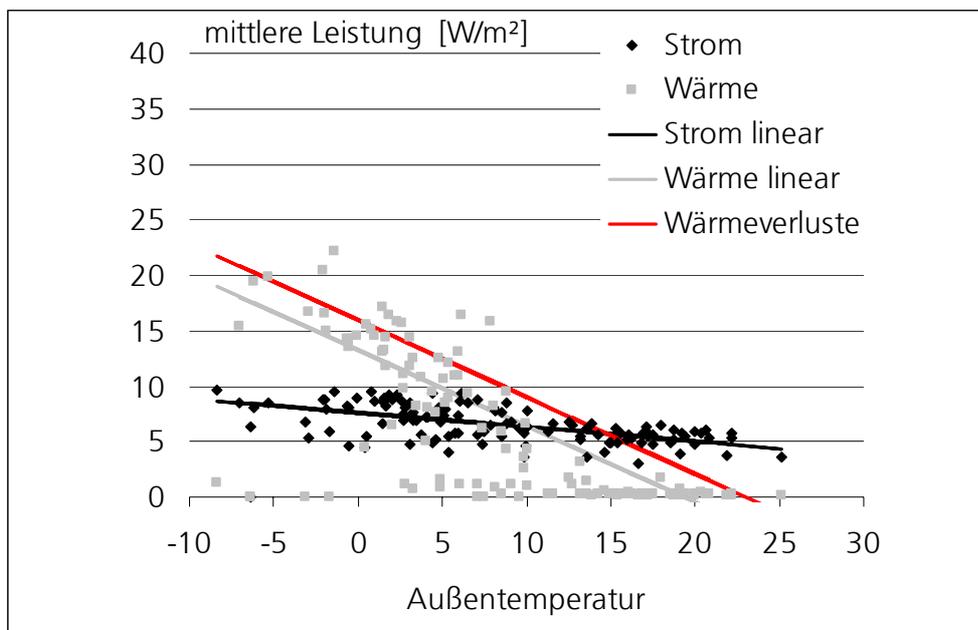


Abb. 15 Kennlinien Endenergiebezug Pollmeier

Beim Projekt Pollmeier ist eine starke Streuung der Messwerte für Wärme festzustellen. Weiterhin ist der Abstand der Kennlinie Wärme von der Vergleichsgeraden mit etwa 3 W/m<sup>2</sup> relativ gering. Insbesondere wenn man die Kennlinie Strom berücksichtigt, die zwischen 5 und 10 W/m<sup>2</sup> liegt und mit sinkender Außentemperatur ansteigt.

#### 4.2.10. Solvis

Tab. 12: Kennwerte Solvis

Mittlerer U-Wert	0,3 W/m <sup>2</sup> K*
Mittlerer Luftwechsel	0,2 1/h
Wärmerückgewinnung	Teilweise
Nutzung	Büro / Produktion, Betrieb: Mo-Fr, 7-18 Uhr

#### Messwerte

Brennstoff/Wärme ● ●	Summe Wärmeabgabe BHKW + WP
Strom ● ●	Summe Strombezug Netz + , Eigennutzung BHKW

Verwendung: ● Wärmeerzeugung, ● Kälteerzeugung, ● Stromerzeugung / Deckung Strombedarf  
\* geschätzt

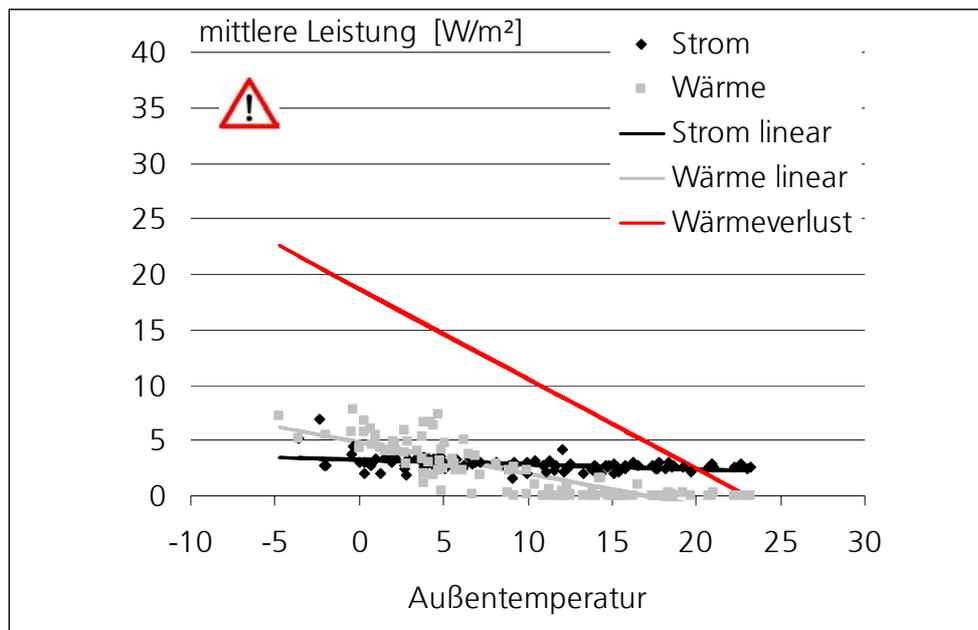


Abb. 16 Kennlinien Endenergiebezug Solvis

Bei den Kennlinien ist zu beachten, dass bei der Darstellung des Wärmeverbrauchs die Abwärmenutzung aus dem F+E-Bereich der Firma fehlt. D.h. die Kennlinie liegt in der Tendenz zu niedrig, was evtl. den großen Abstand zur Vergleichsgeraden erklärt.

Die Stromkennlinie liegt im Vergleich zu den anderen Projekten niedrig. Allerdings ist zu beachten, dass der große Produktionsbereich relativ wenig stromintensiv ist.

#### 4.2.11. KfW Bankengruppe

Tab. 13: Kennwerte KfW

Mittlerer U-Wert	0,54 W/m <sup>2</sup> K
Mittlerer Luftwechsel	0,32 1/h
Wärmerückgewinnung	Teilweise
Nutzung	Büro, Betrieb: Mo-Fr, 7-18 Uhr
<b>Messwerte</b>	
Brennstoff/Wärme	Summe Wärmeabgabe Holz-+ Gaskessel ●
Strom	Strom gesamt ●●

Verwendung: ● Wärmeerzeugung, ● Kälteerzeugung, ● Stromerzeugung / Deckung Strombedarf

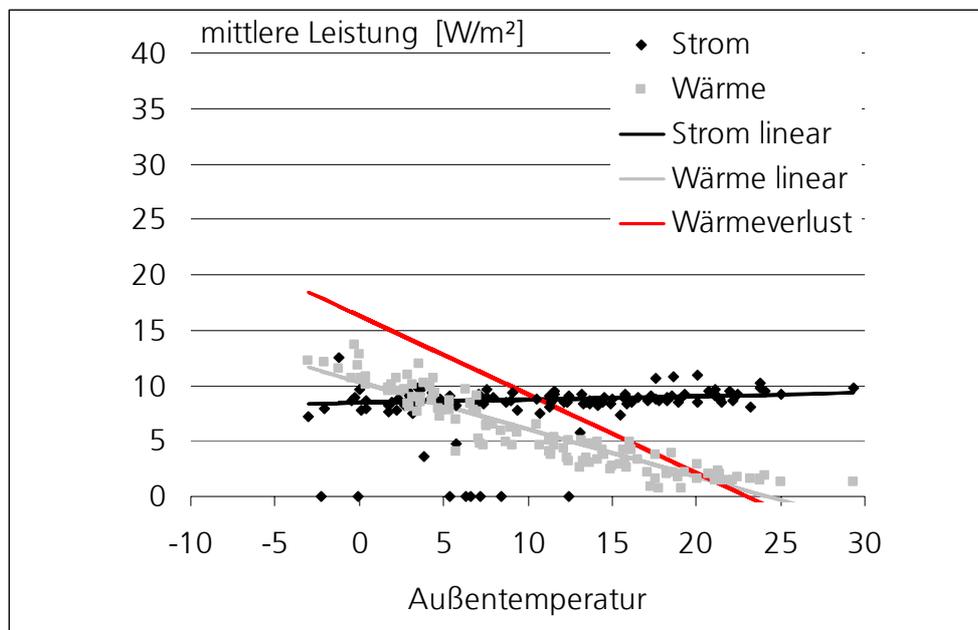


Abb. 17 Kennlinien Endenergiebezug KfW

Eine grobe Fehlfunktion der Heizung kann ausgeschlossen werden.

Die positive Steigung der Kennlinie Strom spiegelt den mit der Außentemperatur ansteigenden Kältebedarf wieder. Insgesamt liegt sie im Vergleich mit den andern Projekten relativ hoch.

#### 4.2.12. Energieforum Berlin

Tab. 14: Kennwerte Energieforum

Mittlerer U-Wert	0,69 W/m <sup>2</sup> K
Mittlerer Luftwechsel	0,4 1/h
Wärmerückgewinnung	Teilweise
Nutzung	Büro, Betrieb: Mo-Fr, 7-19 Uhr
<b>Messwerte</b>	
Brennstoffe/Wärme ●	Summe Fernwärme + Wärmeabgabe Abluft-WP
Strom ●●	Strom gesamt

Verwendung: ● Wärmeerzeugung, ● Kälteerzeugung, ● Stromerzeugung / Deckung Strombedarf  
\* Brennstoffzelle ist nicht aufgeführt (nur Vorhaltung)

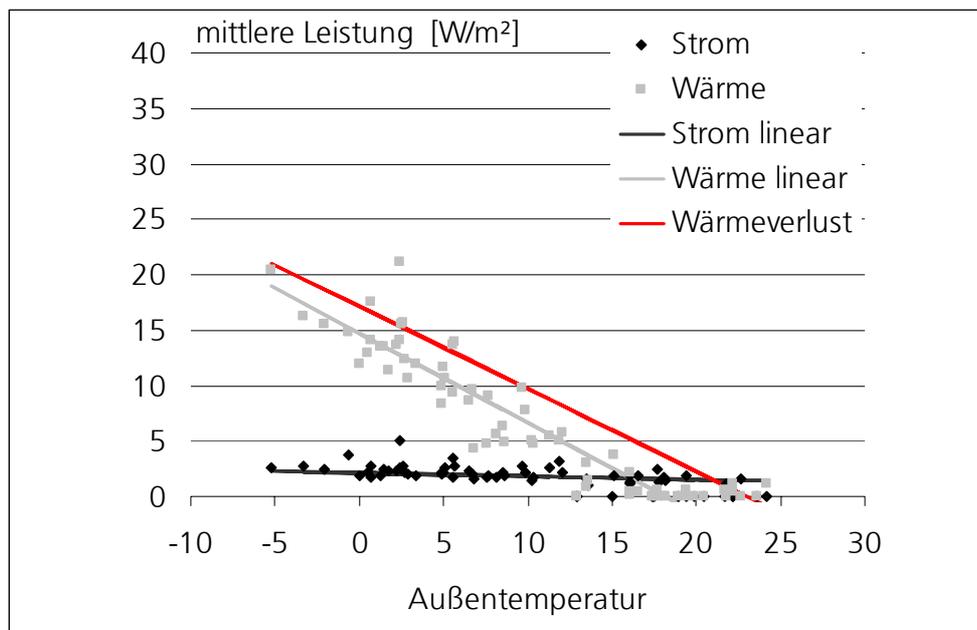


Abb. 18 Kennlinien Endenergiebezug Energieforum

Die Kennlinie Wärme hat zur Vergleichsgeraden nur einen relativ geringen Abstand. Das Gebäude ist zwar nur teilweise belegt (ca. 65%) aber systembedingt (Auskühlung Erdreich über Betonkernaktivierung) vollständig beheizt. Bei höherer Auslastung könnte sich daher der Abstand der Geraden erhöhen.

Für die niedrige Lage der Kennlinie Strom bei Werten um 2 W/m<sup>2</sup> ist evtl. ebenfalls die Teilbelegung verantwortlich. Trotz des Einsatzes von Wärmepumpen ist kein deutliches Ansteigen der Kennlinie Strom bei sinkender Außentemperatur erkennbar.

#### 4.2.13. TMZ Erfurt

Tab. 15: Kennwerte TMZ

Mittlerer U-Wert	0,4 W/m <sup>2</sup> K*
Mittlerer Luftwechsel	0,12 1/h
Wärmerückgewinnung	Ja
Nutzung	Büro, Betrieb: Mo-Fr, 8-18 Uhr
<b>Messwerte</b>	
Brennstoffe/Wärme ●	Wärmeverbrauch gesamt
Strom ●●●	Strom gesamt

Verwendung: ● Wärmeerzeugung, ● Kälteerzeugung, ● Stromerzeugung / Deckung Strombedarf  
\* geschätzt

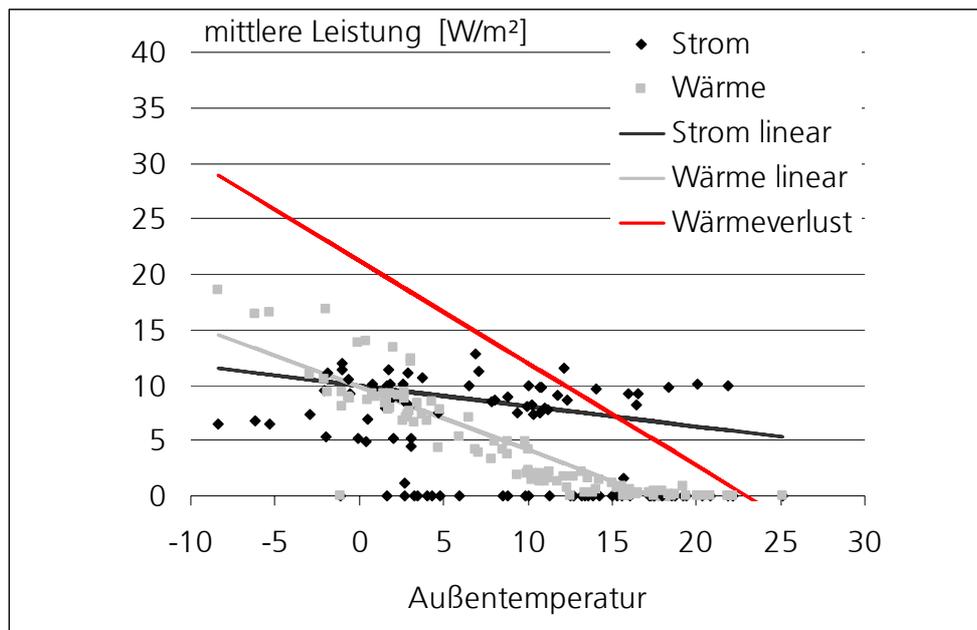


Abb. 19 Kennlinien Endenergiebezug TMZ

Die Kennlinie Wärme und die Vergleichsgerade haben einen relativ großen Abstand, was auch bei diesem Projekt an der Teilbelegung liegen könnte.

Die Lage der Kennlinie Strom ist im Vergleich zu anderen Projekten relativ hoch und die Messwerte streuen stark. Möglicherweise ist dies mit dem Wärmepumpenbetrieb für Heizung und Kühlung zu erklären.

#### 4.2.14. BOB – Balanced Office Building

Tab. 16: Kennwerte BOB

Mittlerer U-Wert	0,48 W/m <sup>2</sup> K
Mittlerer Luftwechsel	0,9 1/h
Wärmerückgewinnung	Ja
Nutzung	Büro, Betrieb: Mo-Fr, 7-19 Uhr
<b>Messwerte</b>	
Brennstoff/Wärme	keine Brennstoff-/Wärmezufuhr, da „Stromgebäude“
Strom ●●	Strom gesamt, Strom Wärmepumpe

Verwendung: ● Wärmezeugung, ● Kälteerzeugung, ● Stromerzeugung / Deckung Strombedarf

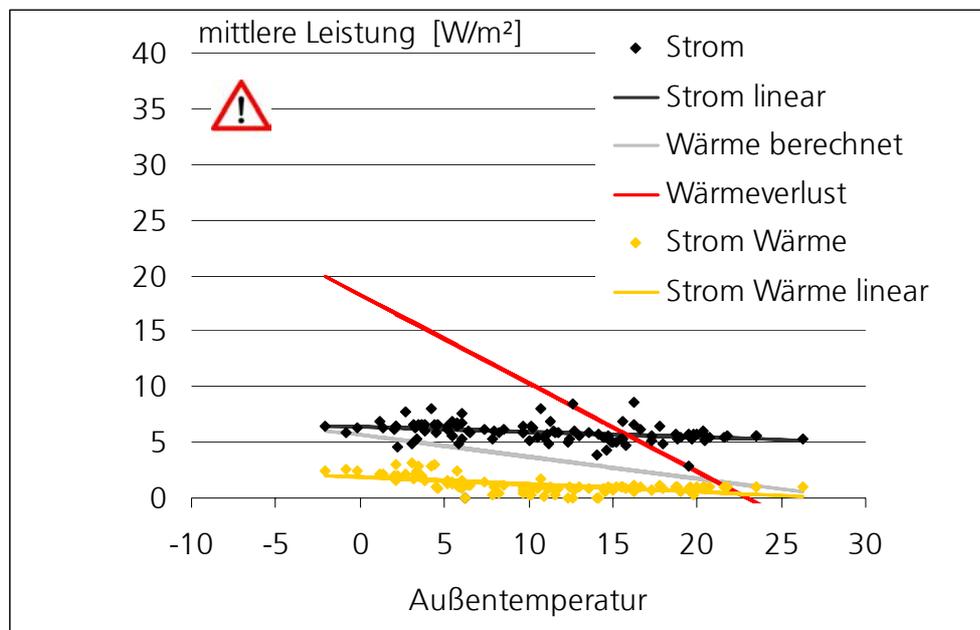


Abb. 20 Kennlinien Endenergiebezug BOB

Bei diesem Projekt wird die Wärmeabgabe der Wärmepumpe bislang nicht erfasst. Die Kennlinie, die im Diagramm gezeigt ist, wurde aus den Messdaten für den Stromverbrauch der Wärmepumpe mit einer Arbeitszahl von 3 hochgerechnet. Dabei ist allerdings zu beachten, dass dieser Strombedarf auch den Bezug für die Umwälzpumpe der direkten Kühlung über die Erdsonden im Sommer enthält. Trotz dieser Einschränkung kann eine grobe Fehlfunktion der Heizung ausgeschlossen werden.

Die Kennlinie Strom liegt bei Werten um  $5 W/m^2$ . Für die leicht negative Steigung ist der Strombezug der Wärmepumpe verantwortlich.

#### 4.2.15. Solar Info Center (SIC)

Tab. 17: Kennwerte SIC

Mittlerer U-Wert	0,44 W/m <sup>2</sup> K
Mittlerer Luftwechsel	0,55 1/h
Wärmerückgewinnung	Teilweise
Nutzung	Büro, Betrieb: Mo-Fr 8-18 Uhr
<b>Verwendung Endenergie</b>	
Brennstoffe/Wärme ●	Fernwärme gesamt
Strom ●●●	Strom gesamt

● Wärmeerzeugung, ● Kälteerzeugung, ● Stromerzeugung / Deckung Strombedarf

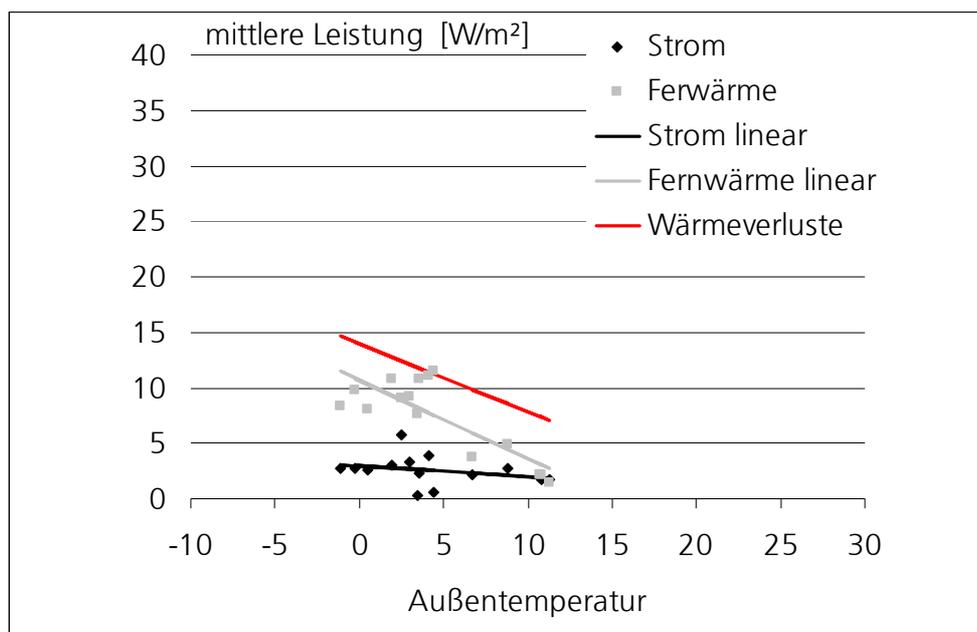


Abb. 21 Kennlinien Endenergiebezug SIC

Die Kennlinie Wärme liegt unterhalb der Vergleichsgeraden. Eine grobe Fehlfunktion der Heizung kann ausgeschlossen werden

Für die vergleichsweise niedrige Lage der Kennlinie Strom könnte die Teilbelegung der Grund sein.

Für das Gebäude liegen zum Zeitpunkt der Erstellung des Berichts erst 16 Wochen an Daten vor. Das daraus schon eine grobe Einordnung des Betriebs erfolgen kann, zeigt die Stärke des Verfahrens.

### 4.3. Fazit

- Anhand der gezeigten Methode der Kennlinien-Diagramme auf Grundlage wöchentlicher Ablesewerte kann der energetische Betrieb der Gebäude grob beurteilt werden. Schwerwiegende Fehlfunktionen des Heizbetriebs können mit Hilfe der Vergleichsgerade „Wärmeverluste“ identifiziert werden. Die Vergleichsgerade berücksichtigt nur die Wärmeverluste (Transmission- und Lüftungswärmeverluste) des Gebäudes.
- Einschränkungen der Aussagekraft der Kennlinien-Diagramme ergeben sich, wenn keine Zuordnung des Endenergieverbrauchs zu Energiedienstleistungen möglich ist (z.B. bei multifunktionalen Erzeugungsprozessen ohne Unterzählung der jeweiligen Produkte, siehe Abschnitt 4.1). Die Interpretation der Kennlinien ist in diesen Fällen deutlich erschwert. Abhilfe kann nur mit zusätzlichen Unterzählungen geschaffen werden.
- Die Vergleichbarkeit der Projekte untereinander wird durch die unterschiedliche Datenlage erschwert. So wird bei einigen Projekten nur die zugeführte Endenergie (z.B. Gas und Strom) gemessen, während bei anderen Projekten nur die Energiemengen nach dem Erzeuger (z.B. Wärme aus Gaskessel) gemessen wird. Zwischen den beiden Werten liegt der Nutzungsgrad des jeweiligen Erzeugers.
- Warmwasserbereitung ist bei den meisten Projekten gegenüber der Heizenergie vernachlässigbar. Andernfalls müsste sich ein „klimaunabhängiger Sockel“ bei der Kennlinie Wärme ausbilden.
- Bei der Kennlinie Strom fällt auf, dass die meisten der Bürogebäude einen von der Außentemperatur nur schwach abhängigen Wert von ca. 5 - 10 W/m<sup>2</sup> aufweisen. Die Verwendung von Strom zum Kühlen oder Heizen ist in den meisten Fällen anhand der Steigung der Kennlinie Strom ablesbar.