

Energieberatungsbericht zum Hochschulgebäude B10, Darmstadt

**Durchgeführt im Rahmen des Forschungsprojektes
Bausteine für die CO₂-Neutralität im Liegenschaftsbestand
hessischer Hochschulen**

Stand: 04.12.2012

Erstellt durch:

Universität Kassel, Fachgebiet Technische Gebäudeausrüstung
Gottschalkstraße 28
34127 Kassel

Projektleitung: Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Förderung: Hessisches Ministerium der Finanzen

Impressum

Projekt	Bausteine für die CO ₂ -Neutralität im Liegenschaftsbestand hessischer Hochschulen
Kurztitel	CO₂nHS
Gefördert durch	Hessisches Ministerium der Finanzen
Projektteilnehmer	<ul style="list-style-type: none"> • Institut Wohnen und Umwelt – IWU (Projektleitung) • Universität Kassel, Fachgebiet Technische Gebäudeausrüstung
Geschäftsadresse	Institut Wohnen und Umwelt GmbH Rheinstraße 65 64295 Darmstadt Tel. +49 (0) 6151 / 2904 -0 Fax +49 (0) 6151 / 2904 -97
Autoren	Wiebke Kirchhof, Jens Knissel
Dokument	2012_12_04 Beratungsbericht Hochschule Darmstadt B10.doc

Dieser Energieberatungsbericht wurde erstellt durch:

Universität Kassel, FG Technische Gebäudeausrüstung

Prof. Dr.-Ing. Jens Knissel

Gottschalkstraße 28

34127 Kassel

Tel: 0561 804 2779

e-mail: knissel@uni-kassel.de

04.12.2012, Kassel

Datum, Ort

Unterschrift, Stempel



Inhalt

1 Zusammenfassung	1
2 Einleitung und Aufgabenstellung	3
3 Projekt- und Gebäudebeschreibung	4
4 Bewertung des Ist-Zustandes	5
4.1 Gemessene Verbrauchsdaten.....	5
4.2 Lastganganalysen.....	8
4.2.1 Lastganganalyse Brennstoff bzw. Nah-/Fernwärme.....	8
4.2.2 Lastganganalyse elektrische Energie.....	8
4.3 Rechnerische Bilanzierung des Energieaufwandes des Gebäudes.....	11
4.3.1 Vergleich der Berechnung mit dem gemessenen Verbrauch.....	11
4.3.2 Berechnete Energiekennwerte.....	12
5 Gebäudeanalyse über Teilenergiekennwertbewertung	16
6 Modernisierungsempfehlungen	18
6.1 Modernisierungsempfehlung 1: Außenwanddämmung.....	18
6.2 Modernisierungsempfehlung 2: Flachdachdämmung.....	19
6.3 Modernisierungsempfehlung 3: Dämmung / Fenster.....	20
6.4 Modernisierungsempfehlung 4: Präsenzmelder.....	20
6.5 Zusammenfassung und Vergleich.....	21
7 Durchgeführte Messungen	23
7.1 Bestimmung von mittleren Raumtemperaturen.....	23
7.2 Leistungsmessung von Lüftungsanlagen.....	24
8 Anhang – Literatur	26
9 Anhang: Datenerhebung	27
9.1 Vom Eigentümer zur Verfügung gestellte Unterlagen.....	27
9.2 Annahmen aufgrund fehlender Daten.....	28
10 Anhang: TEK – Bewertung je Nutzungseinheit	30
11 Anhang: TEK – Bewertung auf Zonenebene	31
12 Anhang: TEK - Kurzdokumentation	36



1 Zusammenfassung

Im vorliegenden Energieberatungsbericht wird das zu bewertende Gebäude mit Hilfe einer Gebäudeanalyse nach dem Verfahren Teilenergiekennwerte von Nicht-Wohngebäuden (TEK) untersucht. Bei dem untersuchten Objekt handelt es sich um ein massives Gebäude mit quadratischem Grundriss, welches einen Innenhof besitzt. Es wurde in massiver Bauweise mit Sichtklinkermauerwerk sowohl auf der Außenfassade als auch an den Innenwandflächen im Jahr 1962 errichtet. Das Gebäude bzw. die Außenfassade steht unter Denkmalschutz und steht mit benachbarten Hochschulgebäuden aus ähnlicher Bauzeit unter Ensembleschutz. Bis auf den Austausch der meisten Fenster im Jahr 2008 wurden keine weiteren baulichen Sanierungsmaßnahmen vorgenommen. Die beiden kleinen RLT-Anlagen sowie Teile der Beleuchtungsanlage wurden ebenfalls in 2008 ausgetauscht.

Im Gebäude sind der Fachbereich „Architektur“ als auch der Fachbereich „Bauingenieurwesen“ untergebracht.



Der Primärenergiebedarf des Objekts beträgt $397,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Unter Berücksichtigung der vorhandenen Nutzung wird dieser Energieaufwand von der TEK-Bewertung als „mittel“ eingestuft. Somit liegt der Verbrauch etwa am Mittelwert für vergleichbare Bestandsgebäude. Im Folgenden sind als Ergebnis der Untersuchung die Modernisierungsempfehlungen dargelegt. Weitere Informationen dazu können den entsprechenden Kapiteln des vorliegenden Berichts entnommen werden.

Aus den Untersuchungen können folgende Handlungsempfehlungen abgeleitet werden:

- Der energetische Zustand der Gebäudehülle ist als eher schlecht einzustufen. Bis auf den Austausch des größten Teils der Fenster in 2008 wurden keine weiteren Maßnahmen durchgeführt. Da die Fassade einen großen Teil der Hüllfläche ausmacht, wird hier eine von außen aufgebrachte Dämmung empfohlen. Diese Maßnahme würde bei dem untersuchten Gebäude zu einer Reduzierung der Endenergie für Heizung von $199,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ auf $175,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ führen. Bei der vorgeschlagenen Maßnahme wird davon ausgegangen, dass Sie im Rahmen von ohnehin anfallenden Arbeiten / Ausbesserungen an der Fassade durchgeführt wird. Aus diesem Grund werden nicht die vollen Kosten von $90\text{€}/\text{m}^2$ an-

gesetzt, sondern ein Abzug von 50% (Sowieso-Kosten) angenommen. Die sich daraus ergebenden Investitionskosten belaufen sich insgesamt auf ca. 110.000€ Die Maßnahme würde zu einer jährlichen Einsparung von 12.000€ führen.

- Das Flachdach hat ebenfalls eine sehr große Fläche und ist im energetischen Zustand des Baualters. Hier wird ebenfalls eine Dämmmaßnahme vorgeschlagen. Diese Maßnahme würde bei dem untersuchten Gebäude zu einer Reduzierung der Endenergie für Heizung von 199,0 kWh/(m² a) auf 146,7 kWh/(m² a) führen. Bei der vorgeschlagenen Maßnahme wird davon ausgegangen, dass Sie im Rahmen von ohnehin anfallenden Arbeiten / Ausbesserungen an der Dachhaut durchgeführt wird. Aus diesem Grund werden nicht die vollen Kosten von 110€/m² angesetzt, sondern ein Abzug von 60% (Sowieso-Kosten) angenommen. Die sich daraus ergebenden Investitionskosten belaufen sich insgesamt auf ca. 97.000€. Die Maßnahme würde zu einer jährlichen Einsparung von 41.000€ führen.
- Die Deckenplatte / Fußboden des 1.OGs zum Durchgangsbereich ist ebenfalls massiv und weist vermutlich keine bis eine sehr geringe Dämmung auf. Hier sollte ebenfalls eine Dämmschicht aufgebracht werden. Es werden die vollen Kosten von 51€/m² angesetzt. Die sich daraus ergebenden Investitionskosten belaufen sich insgesamt auf ca. 4.600€. Die Fenster im KG die zu den Außenbereichen zeigen wurden im Zuge der Austauschmaßnahme in 2008 nicht ersetzt. Da diese einen eher maroden Zustand aufweisen sollten diese ebenfalls ersetzt werden. Bei der vorgeschlagenen Maßnahme wird davon ausgegangen, dass dort in der nächsten Zeit vermehrt Ausbesserungs- und Austauschmaßnahmen anstehen. Aus diesem Grund werden nicht die vollen Kosten von 281€/m² angesetzt, sondern ein Abzug von 50% (Sowieso-Kosten) angenommen. Die sich daraus ergebenden Investitionskosten belaufen sich insgesamt auf ca. 17.000€. Die beiden Maßnahme würde bei dem untersuchten Gebäude zu einer Reduzierung der Endenergie für Heizung von 199,0 kWh/(m² a) auf 196,0 kWh/(m² a) führen. Die Maßnahme würde zu einer jährlichen Einsparung von 1.000€ führen.
- Der elektrische Energiebedarf der Beleuchtung im Verkehrsbereich kann durch den Einsatz von Präsenzmeldern gesenkt werden, da in diesen Bereichen ist die Beleuchtung häufig dauerhaft in Betrieb ist. Bei der vorgeschlagenen Maßnahme werden die vollen Kosten von 4,91€/m² angesetzt. Die sich daraus ergebenden Investitionskosten belaufen sich insgesamt auf ca. 11.500€. Insgesamt kann der Aufwand für die Beleuchtung von 12,1 kWh/(m² a) auf 11,1 kWh/(m² a) reduziert werden. Zu beachten ist, dass aufgrund der reduzierten Wärmelasten der Beleuchtung der Energiekennwert für Heizung mit etwa 1 kWh/(m² a) leicht ansteigt. Die Maßnahme würde zu einer jährlichen Einsparung von 1.000€ führen.

Weitere Informationen dazu können den entsprechenden Kapiteln des vorliegenden Berichts entnommen werden.



2 Einleitung und Aufgabenstellung

Im Rahmen des vom Hessischen Ministerium der Finanzen geförderten Forschungsprojektes „Bausteine für die CO₂-Neutralität im Liegenschaftsbestand hessischer Hochschulen“ wird die neu entwickelte Teilenergiekennwertmethode, kurz TEK - an sieben technisch komplexen Hochschulgebäuden erprobt. Aus den Analysen gewonnene Erkenntnisse und Erfahrungen dienen der Weiterentwicklung der Bewertungsmethodik. Zudem sollen Erkenntnisse über die energetische Struktur von bestehenden, komplexen Nichtwohngebäuden gewonnen werden. Die aus den Analysen gewonnenen Gebäude- und Anlagendaten dienen als Datengrundlage für eine Querschnittsanalyse zum Nichtwohngebäudebestand.

In dem vorliegenden Bericht wird eine der sieben energetischen Gebäudeanalysen beschrieben. Diese bezieht sich auf das Gebäude:

Fachhochschule Darmstadt – B10; Schöfferstraße 1; 64295 Darmstadt

Der folgende Kurzbericht umfasst:

- Eine kurze Beschreibung des Projektes und des Gebäudes,
- die Bewertung des Ist-Zustands des Gebäudes,
- die Angabe von Modernisierungsmaßnahmen unter Nennung der Energieeinsparung, der Grobkosten und der sich hieraus ergebenden Wirtschaftlichkeit,
- einen Anhang mit ausführlichen Informationen zur Gebäudeanalyse.

3 Projekt- und Gebäudebeschreibung

Das Gebäude B10 der Hochschule Darmstadt befindet sich zentral auf dem Campusgelände der Fachhochschule Darmstadt. Es hat drei Vollgeschosse und ein Kellergeschoss welches ebenfalls beheizt wird. Im Kernbereich gibt es einen Innenhof und wird am Standort auch als Atrium-Gebäude bezeichnet. Es besitzt ein Flachdach, der Zugang erfolgt über einen Durchgangsbereich der von Säulen getragen wird.

1.1 Allgemeine Projektinformationen		
CO2-neutrale Hochschulen _ Gebäudeanalysen		
Gebäude	Eigentümer	Energieberatung
Gebäude B 10 Hochschule Darmstadt Schöffersstraße 1 64295 Darmstadt	Hochschule Darmstadt Schöffersstraße 3 64295 Darmstadt	Universität Kassel FG Technische Gebäudeausr Gottschalkstr. 28 34127 Kassel



1.2 Allgemeine Gebäudeeigenschaften			
Gebäudekategorie	Hochschulen	en. Qualität Gebäudehülle H_T	1,67 W/(m ² _{BTF} K)
Unterkategorie	Institutsgebäude für Lehre und Forschung	en. Qualität Lüftung H_V	0,43 W/(m ³ /h K)
		Fensterant. (oberirdisch)	34 %
Baujahr Gebäude	1962	Anzahl beheiz. Geschosse	3,6
Energiebezugsfläche	6.927 m ²	Anzahl der Zonen	8
davon	künst. belichte	Anzahl der RLT-Anlagen	2
	mech. belüftet	Anzahl zentr. Kälteerz.	0
	gekühlt	Anzahl zentr. Wärmeerz.	1
	befeuchtet		
A/V-Verhältnis	0,33 m-1		

Abbildung 3-1: Zusammenfassende Darstellung der wichtigsten Gebäudeeigenschaften

Im Jahr 2008 wurden fast alle Fenster ausgetauscht. Eine Ausnahme bilden dabei die zu den Außenbereichen gerichteten Fenster im Kellergeschoß. Diese stammen noch aus der Bauzeit es handelt sich um Holzfenster mit einer Verbundverglasung. Die beiden kleinen RLT-Anlagen sowie Teile der Beleuchtungsanlage wurden ebenfalls in 2008 ausgetauscht. Bisher wurden keine weiteren baulichen Maßnahmen umgesetzt, so dass sich die wesentlichen Außenflächen wie die Fassade und das Flachdach im ursprünglichen Zustand befinden.



4 Bewertung des Ist-Zustandes

Im Folgenden wird der Ist-Zustand des Gebäudes unter energetischen Gesichtspunkten bewertet. Hierauf aufbauend werden in Abschnitt 5 Schwachstellen aufgezeigt sowie Abschnitt 6 Modernisierungsempfehlungen gegeben.

Zur energetischen Bewertung werden zunächst die Verbrauchskennwerte des Gebäudes für Brennstoff bzw. Nah-/Fernwärme (im Weiteren vereinfacht als Brennstoff bezeichnet) sowie für elektrische Energie den Vergleichswerten der EnEV 2009 für bestehende Gebäude [3] gegenübergestellt und der zeitaufgelöste Lastgang des Gebäudes analysiert (Abschnitt 4.2). Nach dieser ersten Grobbewertung erfolgt eine Bewertung der Effizienz auf der Grundlage einer Bilanzberechnung (Abschnitt 4.3.2). Um die Realitätsnähe der Berechnung zu überprüfen, werden dabei zunächst die Berechnungsergebnisse den gemessenen Verbräuchen gegenübergestellt (Abschnitt 4.3.1).

4.1 Gemessene Verbrauchsdaten

Für die Verbrauchsanalyse werden die folgenden Verbrauchsdaten des Gebäudes herangezogen:

Nahwärme: Monatliche Verbrauchsdaten des Hauptzählers für den Zeitraum von 2008 bis einschließlich 2011. Die Daten wurden einer Klimabereinigung gemäß [3] unterzogen. Für das Benchmarking wurden alle vorhandenen Jahre berücksichtigt.

Elektrische Energie: Monatliche Verbrauchsdaten des Hauptzählers für den Zeitraum von Mitte 2009 bis einschließlich 2011. Für das Benchmarking wurde nur das Jahr 2011 berücksichtigt. Das Jahr 2009 wird auf Grund der Unvollständigkeit nicht berücksichtigt. Das Jahr 2010 wird ebenfalls nicht berücksichtigt, da dort extreme Schwankungen auftreten. Nach Rücksprache mit der Liegenschaftsabteilung ist dies vermutlich auf Messfehler durch veraltete Zähler zurückzuführen und ist deshalb ebenfalls nicht repräsentativ.

Die Abbildung 4-1 und Abbildung 4-2 zeigen die Monatsverläufe sowie Jahreswerte der bereinigten Verbrauchskennwerte für die ausgewerteten Jahre.

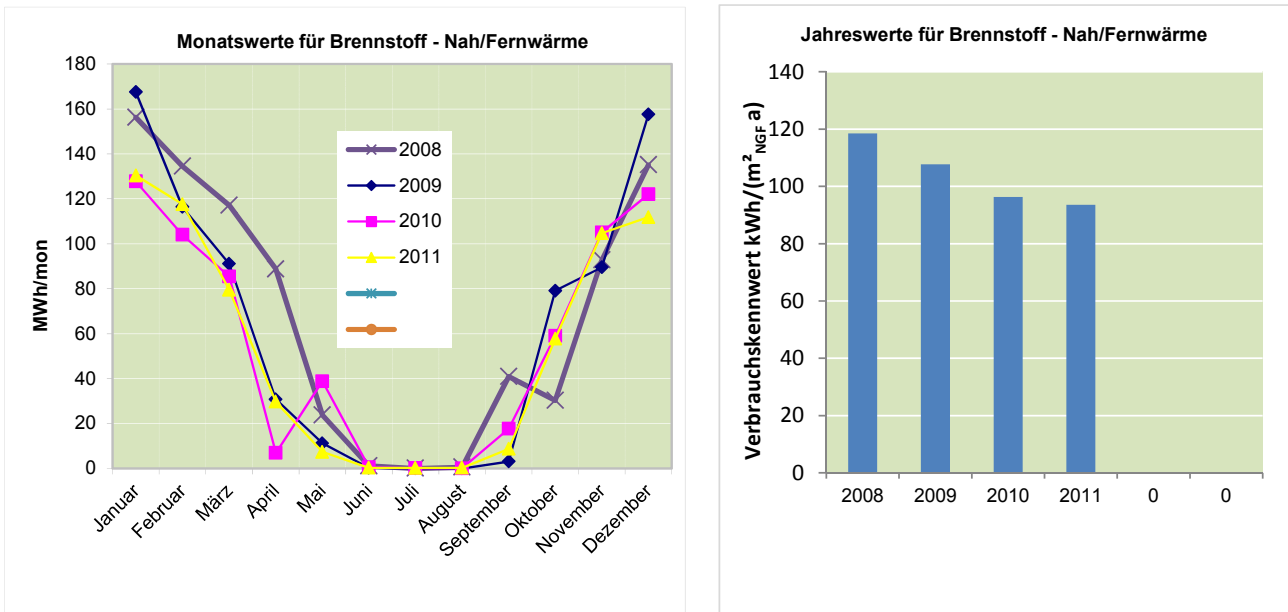


Abbildung 4-1: Witterungsbereinigte Monats- und Jahresverbräuche für Brennstoff bzw. Nah-/Fernwärme der letzten 4 Jahre)

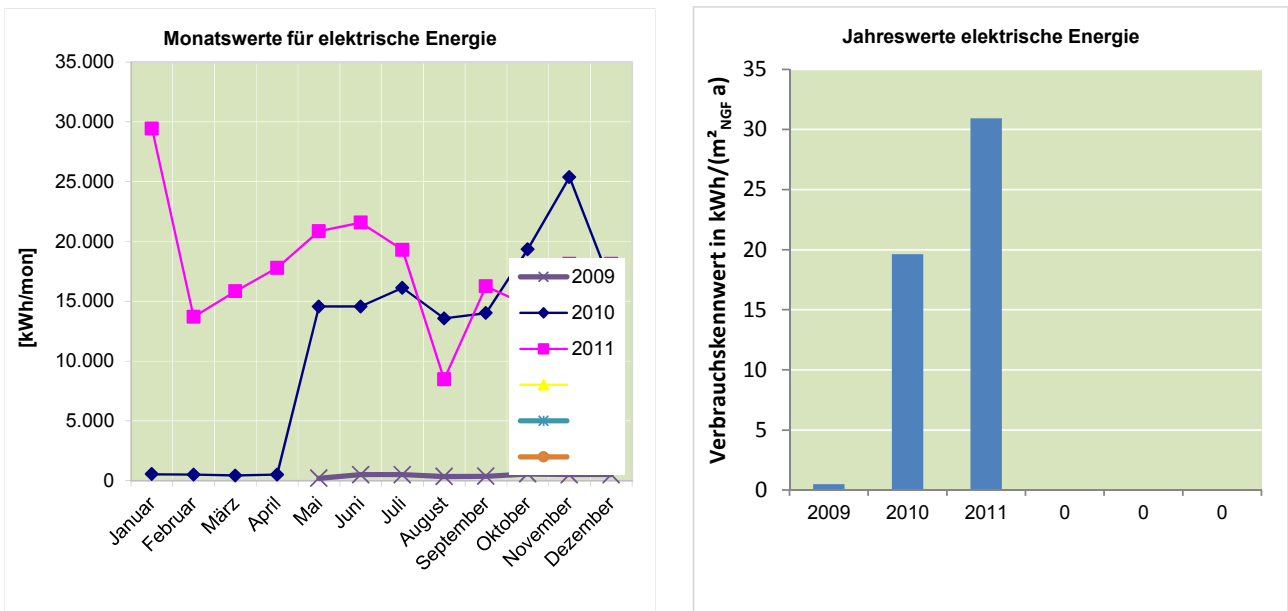


Abbildung 4-2: Monatsverbräuche elektrischer Energie der letzten 5 Jahre

Die Jahresmittelwerte für Brennstoff bzw. Nah-/Fernwärme sowie elektrische Energie sind in Abbildung 4-3 den Vergleichswerten der vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung veröffentlichten Bekanntmachung „Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Ver-



gleichwerte im Nichtwohngebäudebestand“ [3] gegenübergestellt. Der Ist-Verbrauch des untersuchten Gebäudes ist dabei als Prozentwert der Referenzwerte angegeben, d. h. die Referenzwerte entsprechen 100 %.

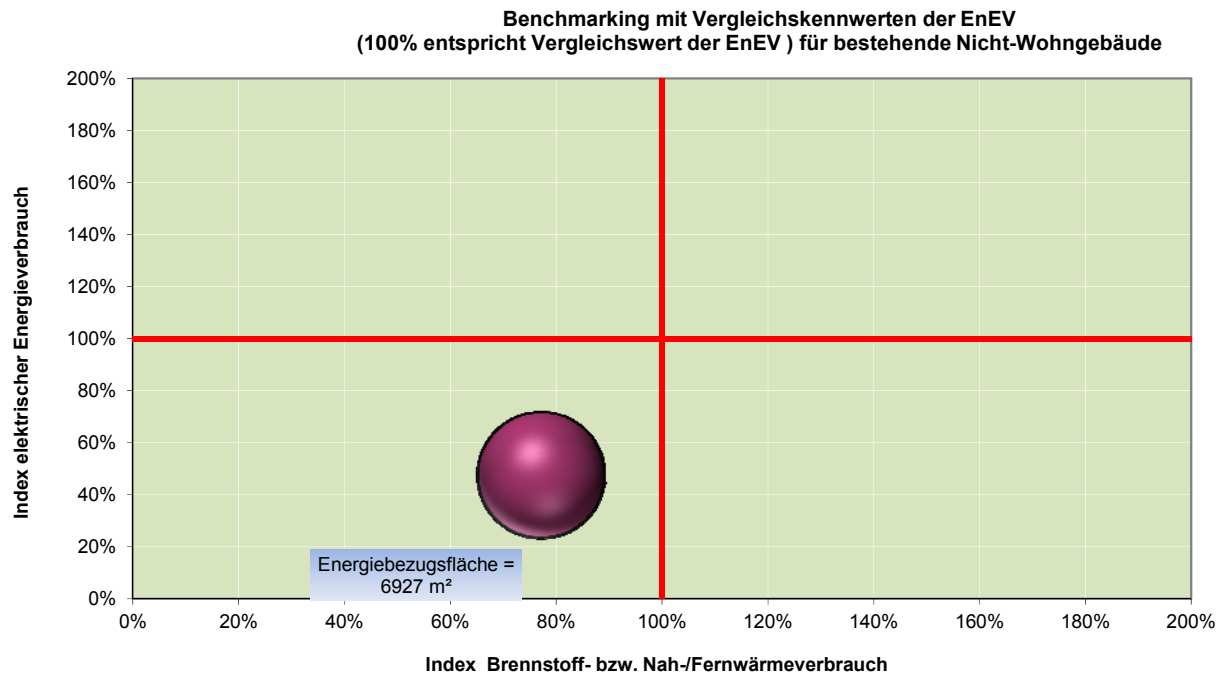


Abbildung 4-3: Bewertung des gemessenen Energieverbrauchs durch Vergleich mit den Referenzwerten der [Bekanntmachung 2009] (entsprechend dem Wert 100 %)

Das Gebäude wurde aufgrund der eher einheitlichen Nutzung in die Kategorie „Institutsgebäude für Lehre und Forschung“ nach den o.g. Bekanntmachungen des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung [3] eingeteilt.

Wie Abbildung 4-3 zeigt, liegt das untersuchte Hochschulgebäude in Bezug auf den „Index Brennstoff- bzw. Nah-/Fernwärmeverbrauch“ unterhalb des Vergleichskennwertes der EnEV:

- Der elektrische Energieverbrauch des Gebäudes liegt mit 48% deutlich unter dem Vergleichswert der EnEV 2009.
- Der Nahwärmeverbrauch des Hochschulgebäudes liegt mit 77% unter dem Vergleichswert der EnEV 2009.

Anhand der EnEV-Bewertungsmethode handelt es sich also um ein Gebäude mit – gemessen an seiner Nutzung – niedrigen Verbräuchen.

4.2 Lastganganalysen

Neben den Monats- bzw. Jahresverbräuchen werden im Folgenden zeitlich hochaufgelöste Verbrauchsdaten analysiert. Für die Lastganganalysen standen folgende Verbrauchsdaten des Gebäudes zur Verfügung:

Nahwärme: keine Verbrauchsdaten

Elektrische Energie: Lastgang des Hauptzählers von 02.07.2010 bis 16.11.2010

4.2.1 Lastganganalyse Brennstoff bzw. Nah-/Fernwärme

Da für die Nahwärme keine Verbrauchsdaten zur Verfügung stehen, konnte keine Lastganganalyse vorgenommen werden.

4.2.2 Lastganganalyse elektrische Energie

Abbildung 4-4 zeigt das Wochenprofil des elektrischen Energieverbrauchs. Die orangene Linie stellt den Mittelwert aller ausgewerteten Wochen dar, die die grauen Linien den Maxi- und Minimalwert. Auffällig ist, dass die mittlere elektrische Grundlast mit ca. 5 kW im Verhältnis zur Spitzenlast, die bei ca. 8kW liegt eher hoch ausfällt. Diese fällt auch nachts und an den Wochenenden an, obwohl zu diesen Zeiten das Gebäude nicht genutzt wird. Im Mittel steigt an Wochentagen die elektrische Leistung dann ab ca. 6 Uhr an und erreicht gegen zwölf Uhr ihr Maximum, welches bei etwa 8 kW liegt.



Auffällig sind die Ausreißer in den Minimalwerten. Ursache hierfür ist wahrscheinlich ein Defekt des Datenloggers am 14.07.2010 sowie am 05.09.2010. An diesen Tagen stehen für mehrere Stunden keine Verbräuche zur Verfügung.

Eine so hohe Grundlast weist im Regelfall auf Dauerverbraucher hin, die jedoch weder über Rückfragen noch über die Begehung des Gebäudes identifiziert werden konnten. Außerdem fällt auf, dass der mittlere Verbrauch in der Auslesephase im Verhältnis zum mittleren Jahresverbrauch deutlich höher liegt und etwa den Faktor vier von diesem aufweist. Das Messergebnis erscheint somit nicht plausibel und sollte erneut in einer weiteren Untersuchung überprüft werden.

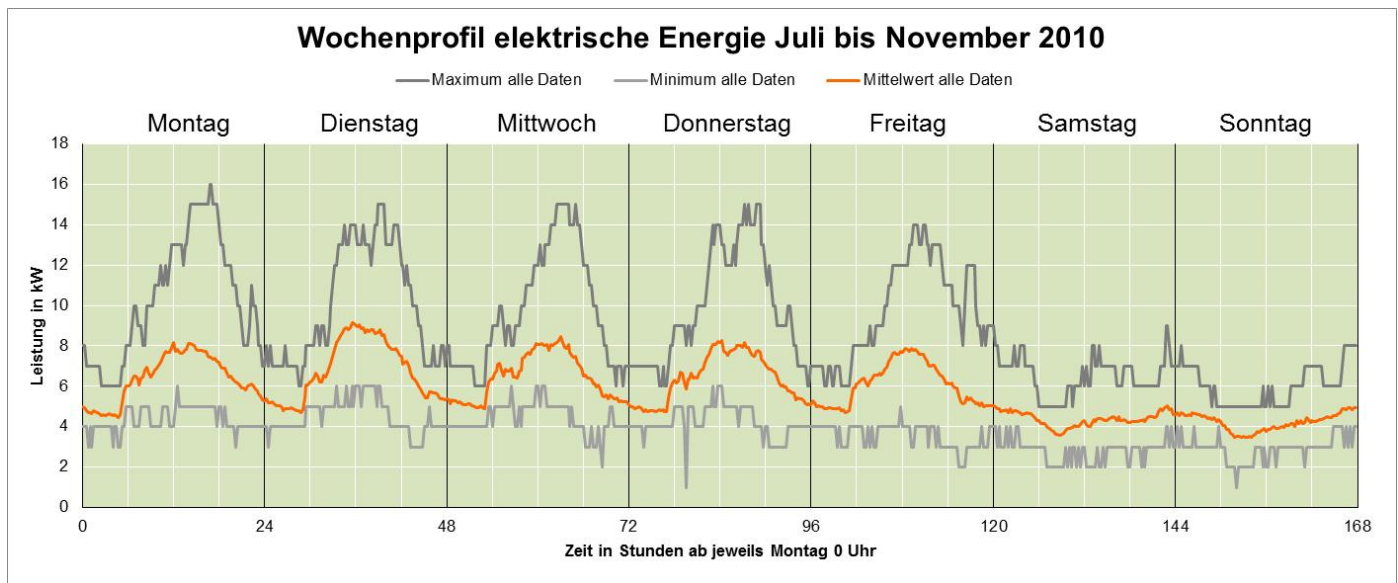


Abbildung 4-4: Wochenprofile des elektrischen Energieverbrauchs

In Abbildung 4-5 ist die numerische Auswertung der Lastganganalyse aufgeführt. Dargestellt sind Kennwerte bezogen auf den gesamten ausgewerteten Zeitraum, die Nutzungszeit und die Standby-Zeit (außerhalb der Nutzungszeit).

Gesamter Zeitraum		
	absolut [kW]	spezifisch [W/m ²]
Maximale Leistung	16,0	5,56
Minimale Leistung	1,0	0,35
Mittlere Leistung	6,0	2,09

Verhältnis Standby zu Gesamtzeit [%]	
Zeit	58,3%
Leistung	85,8%
Verbrauch	50,0%

Nutzungszeit		
Dauer	70 h/woche	
	absolut [kW]	spezifisch [W/m ²]
Maximale Leistung	16,0	5,56
Minimale Leistung	1,0	0,35
Mittlere Leistung	7,2	2,51

Verhältnis Standby zu Nutzungszeit [%]	
Zeit	140,0%
Leistung	71,5%
Verbrauch	100,1%

Standbyzeit		
Dauer	98 h/woche	
	absolut [kW]	spezifisch [W/m ²]
Maximale Leistung	12,0	4,17
Minimale Leistung	1,0	0,35
Mittlere Leistung	5,2	1,80

Abbildung 4-5: Auswertung des elektrischen Energieverbrauchs in der Nutzungszeit und der Standby-Zeit des Gebäudes



4.3 Rechnerische Bilanzierung des Energieaufwandes des Gebäudes

Um die Struktur des Energieverbrauchs des Gebäudes zu analysieren und Schwachstellen zu identifizieren, wird dieser über eine Energiebilanzberechnung nachvollzogen. Die Berechnung wird in Anlehnung an die DIN V 18599 durchgeführt, wobei unterschiedliche Vereinfachungen und Modifikationen bei der Berechnung vorgenommen wurden [4].

Eine Dokumentation der wichtigsten Eigenschaften und Randbedingungen des Berechnungsmodells ist im Abschnitt 12 zu finden.

4.3.1 Vergleich der Berechnung mit dem gemessenen Verbrauch

Um zu überprüfen, wie gut das Berechnungsmodell den tatsächlichen Verbrauch des Gebäudes abbildet, werden zunächst in Abbildung 4-6 die berechneten Energiebedarfskennwerte den gemessenen Energieverbrauchskennwerten gegenübergestellt (Endenergieebene). Die Farblegende zur Grafik sowie die Zahlenwerte sind in der Tabelle rechts dargestellt. Die Gebäudesummen als Kennwerte in kWh/(m²a) sowie als Absolutwert in MWh/a sind in der Tabelle unten links aufgeführt. Die letzte Zeile dieser Tabelle zeigt das Verhältnis von berechnetem Bedarf zu gemessenem Verbrauch fb/v.

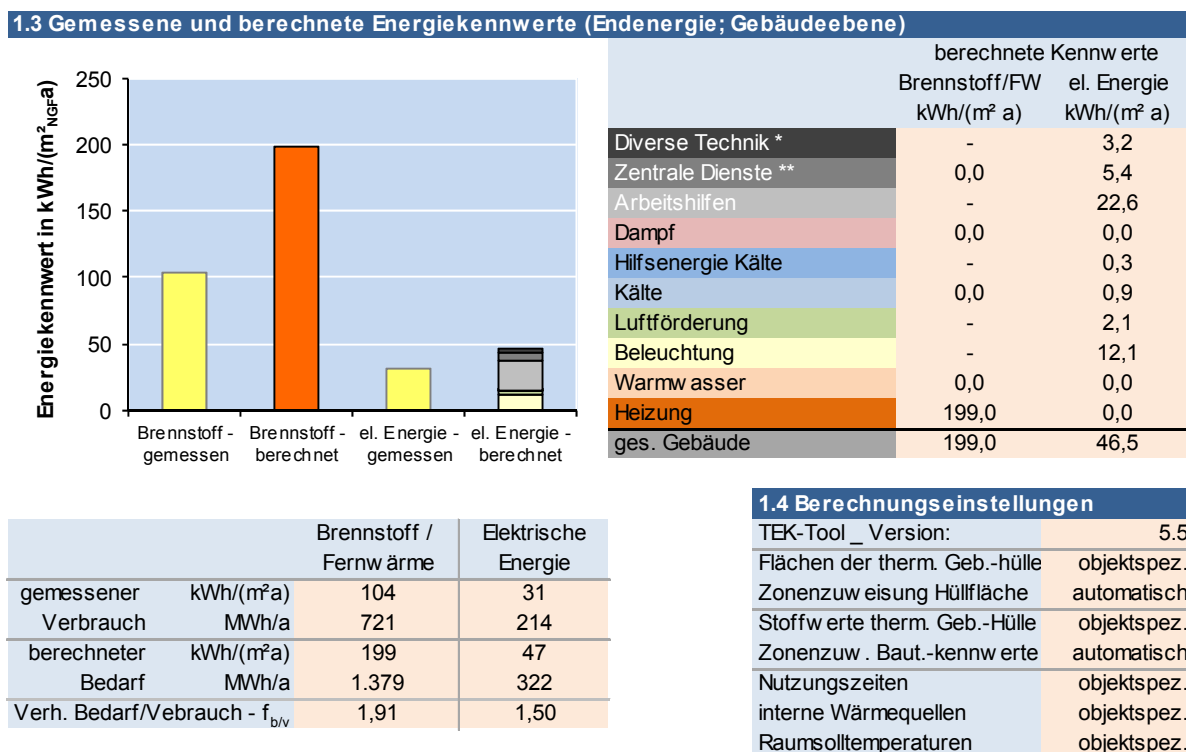


Abbildung 4-6: Vergleich von gemessenem Verbrauch und berechnetem Bedarf

Es zeigt sich dass der in TEK berechnete Wärmebedarf ca. um das 1,9fache höher liegt als der gemessene Verbrauch, was eine Differenz von 95 kWh/m² im Jahresmittel bedeutet.

Der berechnete Bedarf liegt somit vor allem im Bereich der Wärme sehr weit entfernt vom realen Verbrauch. Wesentliche Ursache hierfür stellt die Nutzung des Gebäudes dar. Für einen großen

Teil der Gebäudenutzfläche ist das Nutzungsprofil Sitzung / Seminar zugewiesen. Standardmäßig wird in Räumen mit diesem Nutzungsprofil eine sehr hohe Luftwechselrate (Mindestaußenvolumenstrom: $15 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$) angesetzt. Da in diesen Bereichen jedoch die Belüftung über die Fenster erfolgt, entstehen in den Wintermonaten Lüftungswärmeverluste, die in Bezug auf das tatsächliche Nutzerverhalten unrealistisch hoch einzustufen sind.

Um diesen Effekt zu umgehen und die Realität besser abbilden zu können wird für die Seminarräume das Nutzungsprofil „Großraumbüro“ angesetzt, da der dort angenommene Mindestaußenvolumenstrom von $6 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ die tatsächliche Situation vermutlich besser wiedergibt.

Im Bereich der elektrischen Energie hingegen liegen Verbrauch und Bedarf etwas näher beieinander. Der gemessene Verbrauch liegt dort bei $31 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ wohingegen der berechnete Bedarf bei $47 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ liegt. Die Differenz kommt größtenteils durch das gewählt Profil „Großraumbüro“ zustande, da dort ein sehr hoher Wert für den Bereich Arbeitshilfen, der in den elektrischen Bedarf einfließt. In der Realität ist dieser Bedarf nicht in diesem Umfang vorhanden.

4.3.2 Berechnete Energiekennwerte

Auf der Grundlage der Energiebilanzberechnung wird in Tabelle 4-1 und Abbildung 4-7 die Entwicklung des Energiebedarfs von der Nutzenergie über die Endenergie (unterschieden nach Brennstoff und elektrischer Energie) bis zur Primärenergie für die unterschiedlichen Gewerke (Heizung bis Diverse Technik) dargestellt werden. In der letzten Spalte von Tabelle 4-1 sind ergänzend die CO₂-Emissionen in $\text{kg}/(\text{m}^2\text{a})$ differenziert nach Gewerken und für das gesamte Gebäude dargestellt.

1.5 Teilenergiekennwerte und CO ₂ -Emissionen auf Gebäudeebene						
	Nutzenergie		Endenergie		Primär- energie	CO ₂ - Emission kg/(m ² a)
	Zonen/RLT	Erzeuger	Brennstoff kWh/(m ² a)	el. Energie		
Heizung	176,8	199,0	199,0	0,0	258,7	81,0
Warmwasser	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Beleuchtung	-	-	-	12,1	31,4	7,7
Luftförderung	-	-	-	2,1	5,5	1,3
Kälte	2,2	2,7	0,0	0,9	2,3	0,0
Hilfsenergie Kälte	-	-	-	0,3	0,7	0,2
Dampf	0,0	-	0,0	0,0	0,0	0,0
Arbeitshilfen	-	-	-	22,6	58,7	14,3
Zentrale Dienste	-	-	0,0	5,4	14,0	3,4
Diverse Technik	-	-	-	3,2	8,2	2,0
gesamt	179,0	201,8	199,0	46,5	379,6	109,9

Tabelle 4-1: Teilenergiekennwerte und Bewertung für den Ist-Zustand

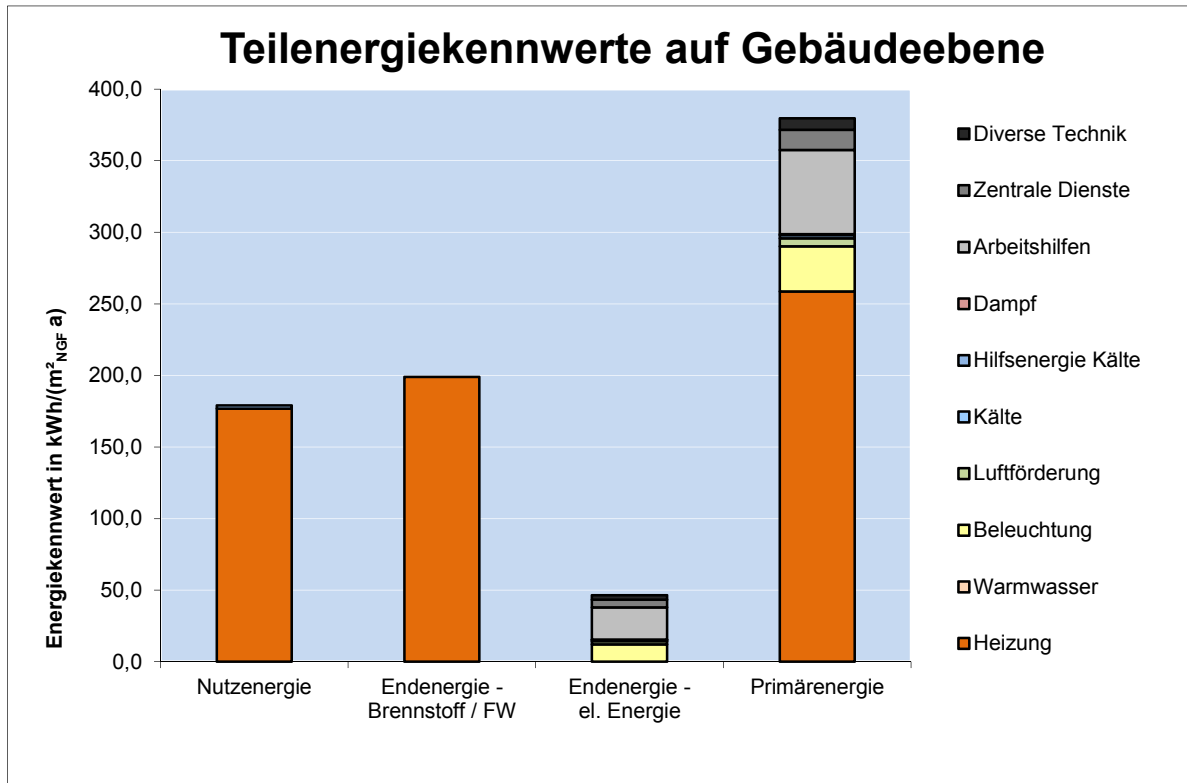


Abbildung 4-7: Teilenergiekennwerte für den Ist-Zustand

Der Beitrag der einzelnen Gewerke zum Gesamtprimärenergiebedarf des Gebäudes sowie die TEK- Effizienzbewertung in die fünf Energieaufwandsklassen:

Sehr hoch (Bestandsgebäude mit sehr hohem Verbrauch)

Hoch (Bestandsgebäude mit hohem Verbrauch)

Mittel (Bestand)

Gering (Neubaustandard ohne energetische Optimierung)

Sehr gering (Neubaustandard bei Einsatz besonders energieeffizienter Technologie)

(siehe [4]) ist in Abbildung 4-8 dargestellt. Bei der Teilenergiekennwertbewertung werden die Energiebedarfe der Gewerke auf Zonenebene mit typischen tabellierten Teilenergiekennwerten verglichen (siehe Abschnitt 11). Diese Bewertung wird von der Zonenebene (Abschnitt 11) über die Nutzungseinheit (Abschnitt 10) bis auf die Gebäudeebene aggregiert (siehe Abbildung 4-8). Die gewerkebezogene Bewertung auf Gebäudeebene wird dann zu einer Gesamtbewertung des Gebäudes zusammengefasst. Ausgeklammert bei dieser Bewertung werden die Gewerke „Zentrale Dienste“ und „Diverse Technik“, da für diese beiden keine sinnvollen Benchmarks gebildet werden können.

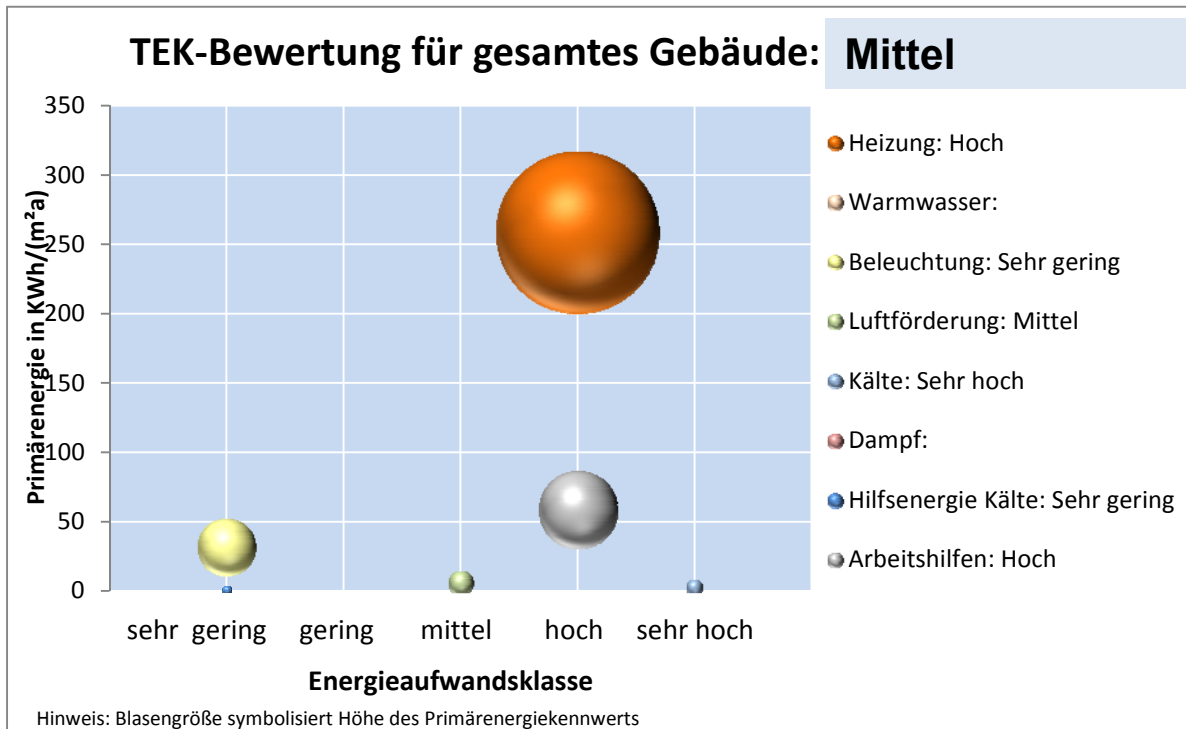


Abbildung 4-8: Beitrag der Gewerke zum Gesamtprimärenergiebedarf des Gebäudes und TEK-Effizienzbewertung

Gesamtes Gebäude

Der Primärenergiebedarf für des Gebäudes beträgt 383,3 kWh/(m²a). Das gesamte Gebäude wird als „mittel“ eingestuft. Diese Gesamtbewertung wird erzielt, da die wesentlichen Anteile des Gesamtprimärenergiebedarfs Heizung als „hoch“ eingeschätzt werden und die weiteren Einflussgrößen eher im unteren Bereich angesiedelt werden und somit das Gesamtergebnis etwas verbessern.

Die drei größten Anteile des Primärenergiebedarfs werden im Folgenden kurz diskutiert.

Heizung

Die Heizung des Gebäudes liefert mit 260,6 kWh/(m²a) den größten Anteil am Primärenergiebedarf und wird als „hoch“ bewertet. Diese hohe Bewertung des Primärenergiebedarfs ergibt sich hauptsächlich daraus, da die Qualität der Gebäudehülle verglichen mit dem Mittelwert des Bestandes diesem entspricht bzw. deutlich schlechter ist. Der spezifische Transmissionswärmetransferkoeffizient beträgt $H'_T = 1,67 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Luftförderung

Der Primärenergiebedarf der Luftförderung beträgt 5,5 kWh/(m²a). Er wird als „mittel“ ausgewiesen. Die Bewertung resultiert daraus, dass die beiden Hörsaalbereiche zwar mit moderner Anlagentechnik versorgt werden, diese jedoch mit einem hohen Volumenstrom über einen langen Zeitraum betrieben werden.



Beleuchtung

Der Primärenergiebedarf der Beleuchtung beträgt 33,3 kWh/(m²a). Die gesamte Bewertung der Beleuchtung ist mit „sehr gering“ bewertet. Dies ist auf die moderne Lichttechnik mit effizienten Leuchten und verbesserten Vorschaltgeräten sowie einer angepassten Beleuchtungsstärke zurückzuführen.

5 Gebäudeanalyse über Teilenergiekennwertbewertung

Im Folgenden sind mögliche Modernisierungsmaßnahmen für das Gebäude aufgelistet. Diese basieren aus den Erkenntnissen aus der Gebäudebegehung vor Ort und der rechnerischen Gebäudeanalyse über Teilenergiekennwerte. Die aufgeführten Modernisierungsmaßnahmen sind noch nicht auf Realisierbarkeit hin überprüft und damit nur als Ideenpool zu verstehen. Die vier relevantesten Maßnahmen bzw. Maßnahmenempfehlungen aus diesen und anderen Maßnahmen sind in Abschnitt 6 näher untersucht.



Tabelle 5-1: Zusammenstellung möglicher Modernisierungsmaßnahmen für das Gebäude

Lfd.	Kostengruppe DIN 267	Objektspezifische Modernisierungsmaßnahme	Wichtigkeit (1 bis 5)	Bemerkungen
Nr.	1	2	3	4
1	334 Außentüren und -fenster	Austausch der alten Verbundfenster KG - Außenbereiche	4) dringend	Fenster im KG wurden in Außenbereichen (betrifft nicht den Innenhofbereich) bisher nicht ausgetauscht. Alte Holz-Verbundfenster wurden mit Aluverblender von außen versehen um einheitliche Optik zu erzielen
2	335 Außenwandbekleidungen, außen	Aufbringen einer Außendämmung	4) dringend	Außenwand weist sehr schlechten Wärmeschutz auf (2x Sichtklinker 11,5cm + Luftschicht 5cm). Gebäude steht unter Denkmalschutz (bezieht sich laut Auskunft Hr. Schulmeyer auf Außenfassade). Bei anderen Gebäuden auf Campus aus der gleichen Bauzeit wurde jedoch Essembleschutz aufgehoben und eine Außendämmung aufgebracht
3	338 Sonnenschutz	Anbringen eines einheitlichen außenliegenden Sonnenschutzes	3) wichtig	Außenliegendes Sonnenschutzsystem mit Steuerung über Lichtsensoren
4	363 Dachbeläge	Dämmung des Flachdaches	4) dringend	Aufbringen einer Dämmschicht und neue Dichtungsebene des Flachdaches, da der derzeitige Aufbau nicht die aktuellen Anforderungen an den Wärmeschutz erfüllt
5	399 Sonstige Maßnahmen für Baukonstruktionen, sonstiges	Unterseitige Dämmung der Deckenplatte zu Durchgang	4) dringend	Aufbringen einer unterseitigen Dämmschicht der Deckenplatte des 1.OG im Durchgangsbereich. Vermutlich handelt es sich hierbei um eine Betonplatte mit sehr geringer Dämmung.
6	445 Beleuchtungsanlagen	Installation Präsenzmelder	2) empfohlen	Installation von Präsenzmeldern in den Flurbereichen

6 Modernisierungsempfehlungen

Auf Grundlage der Gebäudebegehung und der rechnerischen Gebäudeanalyse wurden unterschiedliche Modernisierungsmaßnahmen identifiziert. Diese sind in Abschnitt 5 in tabellarischer Form dargestellt.

Aus den möglichen Maßnahmen werden fünf Einzelmaßnahmen bzw. vier Modernisierungsempfehlungen als Pakete aus diesen detaillierter ausgearbeitet. Eine Modernisierungsempfehlung kann dabei eine oder mehrere Modernisierungsmaßnahmen umfassen. Für jede Empfehlung werden die erzielbare Energieeinsparung mit einer Variante des TEK-Tools bestimmt und die Investitionskosten im Rahmen einer Grobkostenschätzung ermittelt. Dazu können die Standardmaßnahmen verwendet werden, die von den Projektteilnehmern in der Datenbank DB-Kosten.xslm eingegeben werden können. Hieraus werden erste Aussagen zur Wirtschaftlichkeit abgeleitet.

Weiter untersucht werden folgende vier Modernisierungsempfehlungen. Die Ergebnisse sind in folgenden Grafiken zusammengefasst.

6.1 Modernisierungsempfehlung 1: Außenwanddämmung

Lfd. Nr.	Kostengruppe DIN 267	Objektspezifische Modernisierungsmaßnahme	Wichtigkeit (1 bis 5)	Bemerkungen
2	335 Außenwandbekleidungen, außen	Aufbringen einer Außendämmung	4) dringend	Außenwand weist sehr schlechten Wärmeschutz auf (2x Sichtklinker 11,5cm + Luftschicht 5cm). Gebäude steht unter Denkmalschutz (bezieht sich laut Auskunft Hr. Schulmeyer auf Außenfassade). Bei anderen Gebäuden auf Campus aus der gleichen Bauzeit wurde jedoch Ensembleschutz aufgehoben und eine Außendämmung aufgebracht

Abbildung 6-1: Modernisierungsempfehlung 1 - Außenwanddämmung

Der größte Energieaufwand entsteht im Gebäude B10 durch die Beheizung was im Wesentlichen von der schlechten baulichen Gebäudehülle abhängt. Es ist daher wichtig, Maßnahmen zur Verringerung dieses Energiebedarfs durchzuführen.

In der beschriebenen Maßnahme wird eine außenseitige Fassadendämmung aufgebracht, die den vorhandenen U-Wert deutlich verbessert. Größtenteils handelt es sich dabei sowohl im Außen- als auch im Innenraum um eine Sichtklinkerfassade mit einer entsprechend hohen Rohdichte der Steine. Problematisch stellt sich dabei jedoch heraus, dass die Fassade des Gebäudes unter Denkmal- / Ensembleschutz steht. Da zugunsten des Wärmeschutzes jedoch bereits andere Gebäude auf dem Campus von dieser Auflage befreit wurden, wird diese Maßnahme trotzdem vorgeschlagen. Eine Innendämmung wird als Empfehlung nicht vorgesehen, da das Gebäude vermutlich durchlaufende Betondecken besitzt, die evtl. zu Bauschäden führen könnten. Diese enormen Wärmebrücken würde eine von außen aufgebrachte Dämmung sehr stark minimieren.

Durch das Aufbringen eines 14cm starken Dämmstoffes würde sich der U-Wert der Außenwand der derzeit zwischen 2,32 und 1,09 W/m²K liegt auf 0,24 W/m²K verringern. Diese Maßnahme würde bei dem untersuchten Gebäude zu einer Reduzierung der Endenergie für Heizung von 199,0 kWh/(m² a) auf 175,4 kWh/(m² a) führen.



Bei der vorgeschlagenen Maßnahme wird davon ausgegangen, dass Sie im Rahmen von ohnehin anfallenden Arbeiten / Ausbesserungen an der Fassade durchgeführt wird. Aus diesem Grund werden nicht die vollen Kosten von 90€/m² angesetzt, sondern ein Abzug von 50% (Sowieso-Kosten) angenommen. Die sich daraus ergebenden Investitionskosten belaufen sich insgesamt auf ca. 110.000€.

Für die Kostenschätzung wird als Basis die „Kostenfeststellung ausgeführter Projekte“ der Datenbank des IWU aus 2010 herangezogen.

6.2 Modernisierungsempfehlung 2: Flachdachdämmung

Lfd. Nr.	Kostengruppe DIN 267 1	Objektspezifische Modernisierungsmaßnahme 2	Wichtigkeit (1 bis 5) 3	Bemerkungen 4
4	363 Dachbeläge	Dämmung des Flachdaches	4) dringend	Aufbringen einer Dämmschicht und neue Dichtungsebene des Flachdaches, da der derzeitige Aufbau nicht die aktuellen Anforderungen an den Wärmeschutz erfüllt

Abbildung 6-2: Modernisierungsempfehlung 2 – Flachdachdämmung

Das Flachdach des Gebäudes ist voraussichtlich ebenfalls in einem sehr schlechten energetischen Zustand, da außer kleinen Ausbesserungen der Abdichtung keine Sanierungsmaßnahmen seit Errichtung durchgeführt wurden. Da die Dachfläche einen großen Anteil an der thermischen Hüllfläche hat, zeigt sich das Einsparpotential hier besonders deutlich. Durch das Aufbringen eines 22cm starken Dämmstoffes würde sich der U-Wert des Daches der derzeit bei 2,10 W/m²K liegt auf 0,16 W/m²K verringern. Diese Maßnahme würde bei dem untersuchten Gebäude zu einer Reduzierung der Endenergie für Heizung von 199,0 kWh/(m² a) auf 146,7 kWh/(m² a) führen.

Bei der vorgeschlagenen Maßnahme wird davon ausgegangen, dass Sie im Rahmen von ohnehin anfallenden Arbeiten / Ausbesserungen an der Dachhaut durchgeführt wird. Auf Grund des Alters dieses Bauteils ist ein zukünftiger Sanierungsbedarf sehr wahrscheinlich, da es bei Flachdächern aus dieser Bauzeit häufig zu Problemen mit der Dichtigkeit kommt. Aus diesem Grund werden nicht die vollen Kosten von 110€/m² angesetzt, sondern ein Abzug von 60% (Sowieso-Kosten) angenommen. Die sich daraus ergebenden Investitionskosten belaufen sich insgesamt auf ca. 97.000€.

Für die Kostenschätzung wird als Basis die „Kostenfeststellung ausgeführter Projekte“ der Datenbank des IWU aus 2010 herangezogen.

6.3 Modernisierungsempfehlung 3: Dämmung / Fenster

Lfd. Nr.	Kostengruppe DIN 267	Objektspezifische Modernisierungsmaßnahme	Wichtigkeit (1 bis 5)	Bemerkungen
1	334 Außentüren und -fenster	Austausch der alten Verbundfenster KG - Außenbereiche	4) dringend	Fenster im KG wurden in Außenbereichen (betrifft nicht den Innenhofbereich) bisher nicht ausgetauscht. Alte Holz-Verbundfenster wurden mit Aluverblander von außen versehen um einheitliche Optik zu erzielen
5	399 Sonstige Maßnahmen für Baukonstruktionen, sonstiges	Unterseitige Dämmung der Deckenplatte zu Durchgang	4) dringend	Aufbringen einer unterseitigen Dämmschicht der Deckenplatte des 1.OG im Durchgangsbereich. Vermutlich handelt es sich hierbei um eine Betonplatte mit sehr geringer Dämmung.

Abbildung 6-3: Modernisierungsempfehlung 3- Dämmung / Fenster

Für die Modernisierungsempfehlung 3 wird eine Kombination aus zwei kleineren baulichen Maßnahmen vorgeschlagen. Da die Deckenplatte / Fußboden des 1.OGs zum Durchgangsbereich ebenfalls massiv ausgeführt ist und vermutlich keine bis eine sehr geringe Dämmung aufweist, besteht hier Handlungsbedarf. Aus diesem Grund wird empfohlen eine unterseitige Dämmschicht aufzubringen um die Wärmeverluste zu reduzieren. Außerdem würde dadurch ein deutlicher Komfortgewinn erzielt werden, da die Fußkälte in diesem Bereich abnimmt.

Durch das Aufbringen eines 12cm starken Dämmstoffes würde sich der U-Wert der Deckenplatte der derzeit bei 2,0 W/m²K liegt auf 0,29 W/m²K verringern.

Bei der vorgeschlagenen Maßnahme wird davon ausgegangen, dass dort derzeit keine Ausbesserungsmaßnahmen anstehen. Aus diesem Grund werden die vollen Kosten von 51€/m² angesetzt. Die sich daraus ergebenden Investitionskosten belaufen sich insgesamt auf ca. 4.600€.

Für die Kostenschätzung werden als Basis Kostenberechnungen und Herstellerangaben des Passivhausinstituts der Datenbank des IWU aus 2008 herangezogen.

Die Fenster im KG die zu den Außenbereichen zeigen wurden im Zuge der Austauschmaßnahme in 2008 nicht ersetzt. Da diese einen eher maroden Zustand aufweisen und es sich dabei um alte Holz-Verbundfenster handelt, sollten diese ebenfalls ersetzt werden. In der beschriebenen Modernisierungsempfehlung werden diese alten Fenster gegen wärmeschutzverglaste Fenster mit einem U_w-Wert von 1,1 W/m²K ausgetauscht. Bei der vorgeschlagenen Maßnahme wird davon ausgegangen, dass dort in der nächsten Zeit vermehrt Ausbesserungs- und Austauschmaßnahmen anstehen. Aus diesem Grund werden nicht die vollen Kosten von 281€/m² angesetzt, sondern ein Abzug von 50% (Sowieso-Kosten) angenommen. Die sich daraus ergebenden Investitionskosten belaufen sich insgesamt auf ca. 17.000€.

Für die Kostenschätzung werden als Basis Kostenberechnungen und Herstellerangaben des Passivhausinstituts der Datenbank des IWU aus 2008 herangezogen.

Die beiden Maßnahme würde bei dem untersuchten Gebäude zu einer Reduzierung der Endenergie für Heizung von 199,0 kWh/(m² a) auf 196,0 kWh/(m² a) führen.

6.4 Modernisierungsempfehlung 4: Präsenzmelder



Lfd.	Kostengruppe DIN 267	Objektspezifische Modernisierungsmaßnahme	Wichtigkeit (1 bis 5)	Bemerkungen
Nr.	1	2	3	4
6	445 Beleuchtungsanlagen	Installation Präsenzmelder	2) empfohlen	Installation von Präsenzmeldern in den Flurbereichen

Abbildung 6-4: Modernisierungsempfehlung 4 - Präsenzmelder

Um den Energiebedarf für die Beleuchtung zu reduzieren wird empfohlen, in den Verkehrsflächen Präsenzmelder zu installieren. Die diese unnötig häufig angelassen werden, würde eine solche Maßnahme zu deutlichen Einsparungen führen.

Bei der vorgeschlagenen Maßnahme werden die vollen Kosten von 4,91€/m² angesetzt. Die sich daraus ergebenden Investitionskosten belaufen sich insgesamt auf ca. 11.500€.

Für die Kostenschätzung werden als Basis Kostenschätzungen und Kostenkennwerte aus der Literatur der Datenbank des IWU aus 2009 herangezogen.

Insgesamt kann der Aufwand für die Beleuchtung von 12,1 kWh/(m² a) auf 11,1 kWh/(m² a) reduziert werden. Zu beachten ist, dass aufgrund der reduzierten Wärmelasten der Beleuchtung der Energiekennwert für Heizung mit etwa 1 kWh/(m² a) leicht ansteigt.

6.5 Zusammenfassung und Vergleich

Abschließend werden die Gesamtkosten aller Maßnahmenempfehlungen über einen Betrachtungszeitraum von 25 Jahren dargestellt. Die aktuellen Energiepreise für das Gebäude liegen bei 18 Ct./kWh_{el} bzw. 6,5 Ct./kWh_{th}. Die rechnerische Nutzungsdauer von Bauteilen wurde auf 25 Jahre und die der Anlagentechnik auf 15 Jahre angesetzt. Weitere Größen der Wirtschaftlichkeitsberechnung sind:

- Jährliche Energiepreissteigerung für Wärme und Strom: 5,5%
- Kalkulationszinssatz (nominal): 5,0 %
- Jährliche Preissteigerung für Wartung, Inspektion und Instandhaltung: 2,0 %

Die zusammenfassende Darstellung der Maßnahmen zeigt, dass in allen Modernisierungsempfehlungen die Gesamtkosten sinken, alle Maßnahmen also bereits im Rahmen ihrer rechnerischen Nutzungsdauer wirtschaftlich sind. Die größten Einsparmaßnahmen sind über die Dämmung des Flachdaches zu erzielen. Sie belaufen sich im jährlichen Mittel auf 41.000€ und sind daher dringend zu empfehlen. Ein weiterer wichtiger Schritt wäre die Fassadendämmung, da hierdurch eine mittlere jährliche Einsparung von 12.000€ zu erzielen wäre. Auch die eher kleinere Dämmmaßnahmen von Geschoßdecke zum Durchgangsbereich und der Austausch der restlichen alten Fenster würde zu einer mittleren jährlichen Einsparung von 1.000€ führen, obwohl es sich dabei um verhältnismäßig kleine Flächen handelt. Die gleiche jährliche Einsparung könnte über den in der Modernisierungsmaßnahme 4 empfohlenen Einbau von Präsenzmeldern erfolgen. Insgesamt handelt es sich also um ein Gebäude mit großem Sanierungspotential, welches in erster Linie im baulichen Bereich zu finden ist.

Neben den bereits aufgeführten berechneten Maßnahmen gibt es für das Gebäude eine weitere Empfehlung, die sich jedoch auf den Heizwärmebedarf kaum auswirkt. Sie wird deshalb nur in beschreibender Form erfasst.

- Da das Gebäude nur in kleinen Teilbereichen über ein außenliegendes Verschattungssystem verfügt, sollte dies nachträglich angebracht werden. Sinnvoll wäre dies in Kombination mit Steuerung über Lichtsensoren. Da das Gebäude über einen relativ großen Fensterflächenanteil verfügt, könnte der Komfort im Sommer durch einen reduzierten Hitzestress deutlich gesteigert werden.

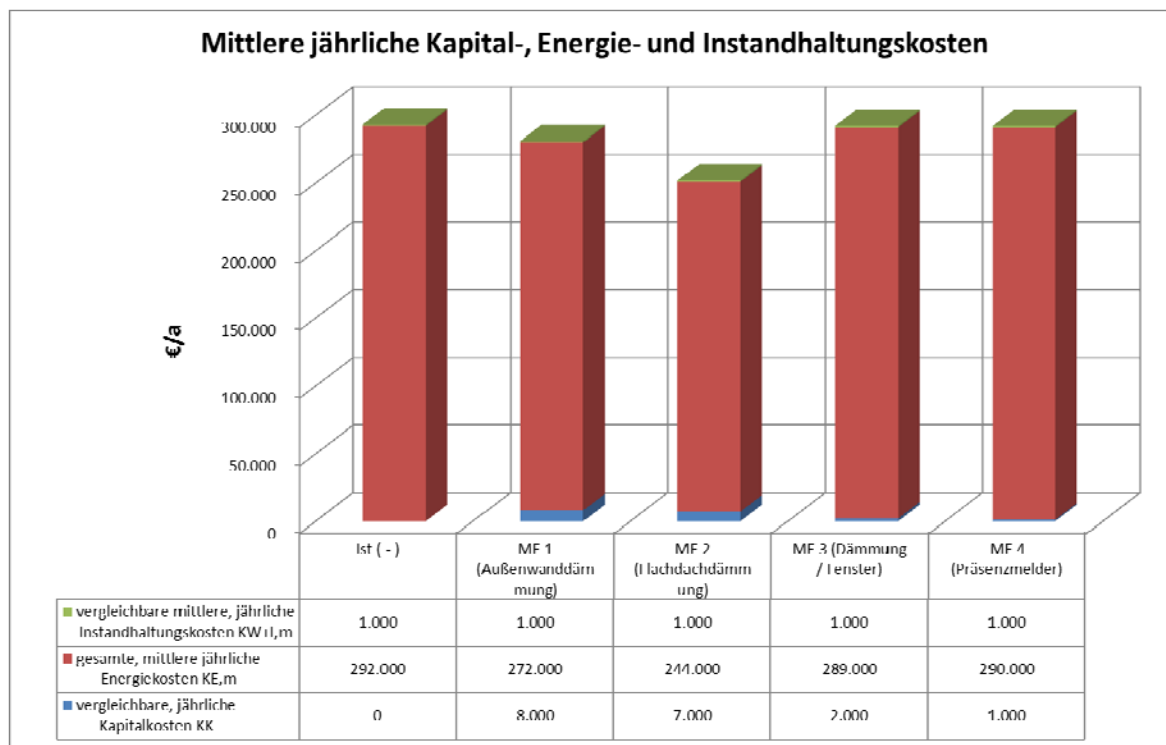


Abbildung 6-5 Vergleich der jährlichen Gesamtkosten der verschiedenen Maßnahmenempfehlungen

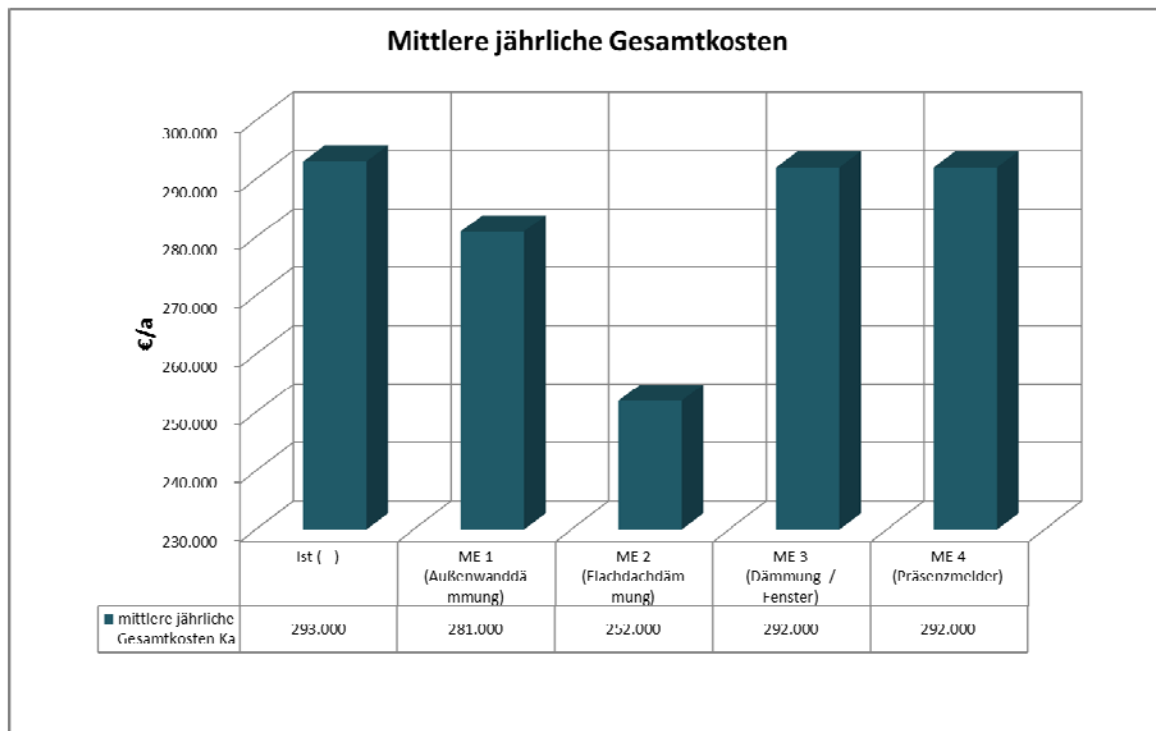


Abbildung 6-6 Vergleich der jährlichen Gesamtkosten der verschiedenen Maßnahmenempfehlungen

7 Durchgeführte Messungen

7.1 Bestimmung von mittleren Raumtemperaturen

Es wurde im gekühlten Serverraum im Erdgeschoss die Raumtemperatur über einen Zeitraum von mehreren Wochen im Oktober und November gemessen, um die Annahmen bezüglich der mittleren Raumtemperaturen während der Heizperiode zu validieren. Abbildung 7-1 zeigt den Raumtemperaturverlauf (unterer Abschnitt) während einer Periode mit vergleichsweise geringen Außentemperaturen (oberer Abschnitt). Es zeigt sich, dass im Serverraum die mittlere Raumtemperatur sehr stark schwankt und zwischen 18-23 °C lag. Da es sich hierbei jedoch um einen sehr kleinen Bereich handelt, hat das Ergebnis nur minimalen Einfluss auf die Gesamtbilanz.

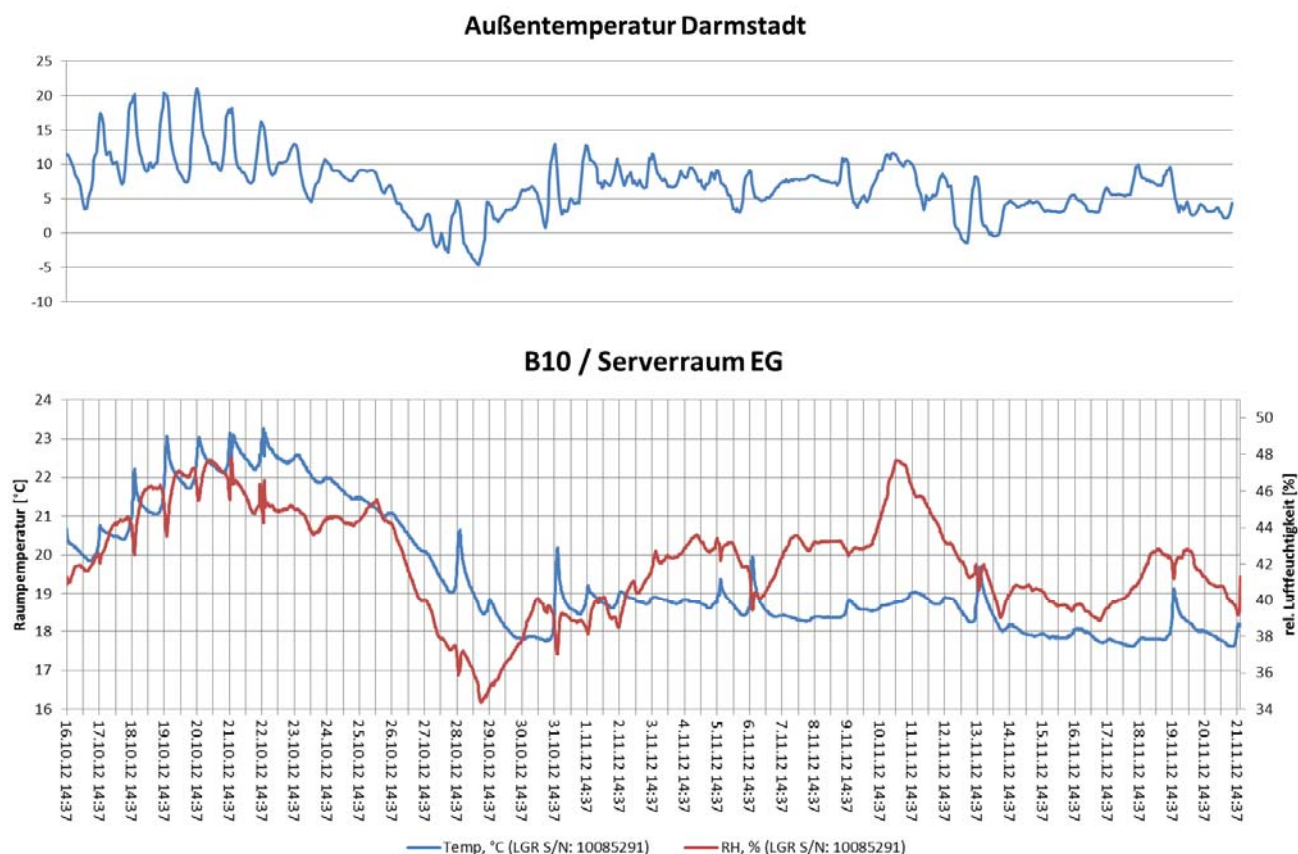


Abbildung 7-1 Temperaturmessung im gekühlten Serverraum EG

7.2 Leistungsmessung von Lüftungsanlagen

An den beiden Zu- und Abluftanlage, die sich im Kellergeschoß des Gebäudes befinden wurden Leistungsmessungen durchgeführt, um deren Energieverbrauch in Kombination mit vorgegebenen Nutzungszeiten bestimmen zu können.

Es handelt sich um eine Momentanwert-Messung, bei der auf Grund der volumenstromvariablen Anlage manuell auf Nennleistung umgeschaltet werden musste.

Die Messung wurde im Rahmen der Begehung am 16.10.2012 um 13.30 Uhr durchgeführt.

Die beiden Anlagen sind identisch und versorgen jeweils einen Hörsaal mit gleicher Größe.

Die beiden gemessenen Lüftungsanlagen haben für Zu- und Abluft jeweils eine Nennleistung von 3,0kW und besitzen eine Wärmerückgewinnung.

Bei der Messung ergab sich eine Wirkleistung der Zuluft im Vollbetrieb von 2,0 kW und unter Automatikbetrieb ebenfalls von 2,0 kW.

Für die Abluft ergab sich eine gemessene Wirkleistung im Vollbetrieb von 2,0 kW und unter Automatikbetrieb von 2,0 kW.



Auffällig dabei ist, dass unter Volllast die Wirkleistung identisch der des Automatikbetriebes war. Der Techniker vermutete, dass die Anlagen evtl. gedrosselt sind, da bei beiden Anlagen die Gleichen Werte herauskamen.

8 Anhang – Literatur

- [1] Knissel, Jens und Hörner, Michael: Bewertung des Stromeinsatzes in Nicht-Wohngebäuden mit der Teilkennwertmethode; HLH Bd. 56, Dez. 2005, S. 66-70
- [2] VDI 3807-4: VDI 3807-4:2008-08 Energie- und Wasserverbrauchskennwerte für Gebäude, Teilkennwerte elektrische Energie; Beuth Verlag, Berlin 2008
- [3] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand; Berlin, 2009
- [4] Knissel, Jens: Berechnungsgrundlagen des TEK-Tools; Teilbericht im Rahmen des Forschungsprojekts „Teilenergiekennwerte von Nicht-Wohngebäuden“ (FKZ :03274331J) gefördert vom BMWi/PTJ; Darmstadt 2011



9 Anhang: Datenerhebung

9.1 Vom Eigentümer zur Verfügung gestellte Unterlagen

Beschreibung	Aktualität (- / 0 / +)	Bemerkung
<input type="checkbox"/> Architektenpläne <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> bemaßte Grundrisse, 1:200 <input type="checkbox"/> bemaßte Schnitte, 1:200 <input type="checkbox"/> Ansichten 	-	Nur Grundrisse geliefert
<input type="checkbox"/> Baubeschreibung		-
<input type="checkbox"/> EnEV-Nachweis oder Vergleichbares zum Bauantrag/Baufertigstellung		-
<input checked="" type="checkbox"/> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Raumbuch, Flächenangaben <input type="checkbox"/> Angaben für Gesamtgebäude nach Kategorien DIN 277 <input checked="" type="checkbox"/> Angaben geschossweise <input type="checkbox"/> Angaben nach Nutzungszonen 	0	-
<input type="checkbox"/> Technische Unterlagen Gebäudehülle <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Bauteilkatalog <input type="checkbox"/> Sonstiges 		
<input checked="" type="checkbox"/> Technische Unterlagen Wärmeversorgungsanlagen <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Schemata <input checked="" type="checkbox"/> Anlagen- und Funktionsbeschreibung <input type="checkbox"/> Darstellung der Versorgungsbereiche im Grundriss 	0	Anlagen und Funktionsbeschreibung mündlich / per mail
<input type="checkbox"/> Technische Unterlagen Kälteversorgungsanlagen <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Schemata 	0	Aufnahme vor Ort

<input type="checkbox"/> Anlagen- und Funktionsbeschreibung <input type="checkbox"/> Darstellung der Versorgungsbereiche im Grundriss		
<input checked="" type="checkbox"/> Technische Unterlagen RLT-Anlagen <input type="checkbox"/> Schemata <input checked="" type="checkbox"/> Anlagen- und Funktionsbeschreibung <input type="checkbox"/> Lüftungsgesuch <input type="checkbox"/> Abnahmemessungen <input type="checkbox"/> Darstellung der Versorgungsbereiche im Grundriss	0	Anlagen und Funktionsbeschreibung mündlich / per mail
<input type="checkbox"/> Technische Unterlagen Beleuchtungsanlage <input type="checkbox"/> Anlagen- und Funktionsbeschreibung <input type="checkbox"/> Darstellung der Versorgungsbereiche im Grundriss		
<input type="checkbox"/> Wartungsunterlagen <input type="checkbox"/> Verträge <input type="checkbox"/> Protokolle		
<input type="checkbox"/> Sonstige Unterlagen		

9.2 Annahmen aufgrund fehlender Daten

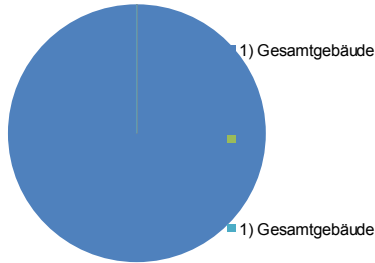
Nr.	Größe	Angenommene Ausprägung	Bemerkung
1	Gebäudehülle		Da Aufbau mit Ausnahme der Außenwand nicht bekannt, wurde auf baualterstypische Standardwerte der Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand zurückgegriffen. Der U-Wert der Außenwand wurde rechnerisch ermittelt und fällt wesentlich schlechter als der Standardwert aus. Für die Außenwände wurden U-Wert zwischen 1,09 W/m ² K (Mauerwerk verklinkert) und 2,32 W/m ² K (massive Betonwand, 30cm) verwendet
2	Temperaturen	T = 21 °C	Raumsolltemperaturen konnten nicht gemessen werden



			(Datenaufnahme im Sommer) – Angaben durch Hr. Schulmeyer / Hr. Reichard
--	--	--	---

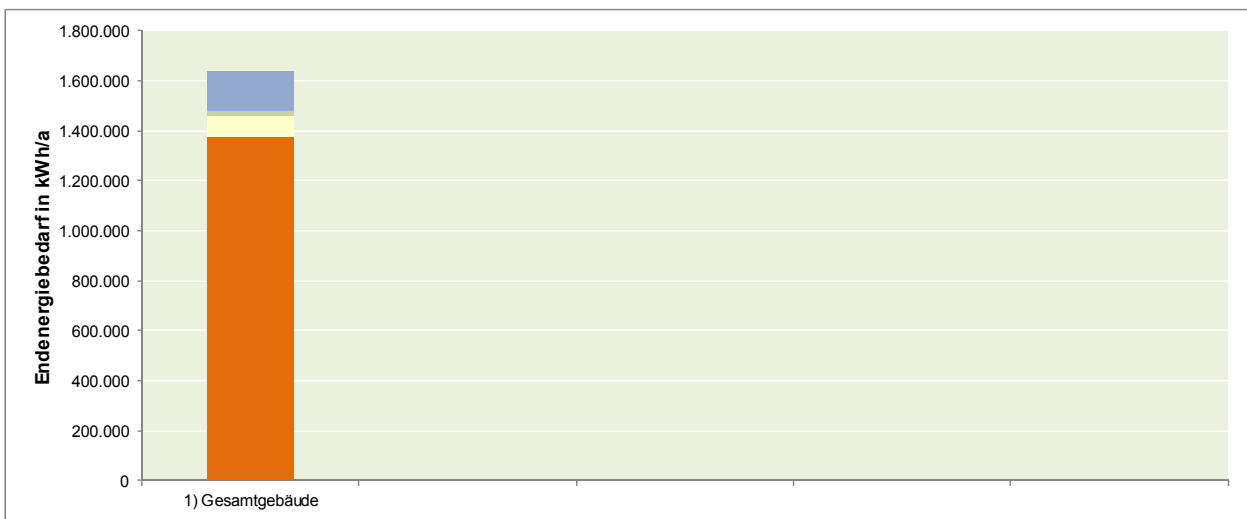
10 Anhang: TEK – Bewertung je Nutzungseinheit

2.1 Flächen der Nutzungseinheiten



	Fläche m ²	Anteil an beh. NGF
1) Gesamtgebäude	6.927	100%
	6.927	100%

2.2 Endenergiebedarf der Gewerke je Nutzungseinheit



2.3 Teilenergiekennwertbewertung je Nutzungseinheit

Bezeichnung	1) Gesamtgebäude		#WERT!		#WERT!		#WERT!		#WERT!	
	Fläche der Nutzungseinheit	6927 m ²	TEK-Bew ert.	PE-Kennw ert	TEK-Bew ert.	PE-Kennw ert	TEK-Bew ert.	PE-Kennw ert	TEK-Bew ert.	PE-Kennw ert
				kWh/(m ² a)		kWh/(m ² a)		kWh/(m ² a)		kWh/(m ² a)
Arbeitshilfen	Hoch	23	-		-		-		-	
Dampf		0								
Kälte	Sehr hoch	1								
Lufförderung	Mittel	2								
Beleuchtung	Sehr gering	12								
Warmwasser		0								
Heizung	Hoch	199								

Abbildung 10-1: Bewertung je Nutzungseinheit



11 Anhang: TEK – Bewertung auf Zonenebene

3.1 Heizung										
Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche m ²	Nutz.- einheit	Ist-Wert Zone (Endenergie)				Vergleichswert - gering		
				TEK-Bewert.	kWh/(m ² a)	W/m ²	h/a	kWh/(m ² a)	W/m ²	h/a
1) Verkehrsflächen	19 Verkehrsflä	2.345	1	Sehr hoch	206,4	93,5	2.208	38,4	16,9	2.269
2) Lager, Technik, Archiv	20 Lager, Tech	822	1	Mittel	114,3	48,5	2.359	46,8	23,8	1.964
3) Büro	02 Gruppenbü	548	1	Hoch	174,1	86,2	2.019	35,8	67,4	531
4) Technik, Server, gekühlt	21 Rechenzen	48	1	Hoch	89,8	84,1	1.068	15,3	36,5	420
5) Seminar (Labore)	03 Großraumb	2.726	1	Hoch	208,8	121,3	1.721	34,8	89,5	390
6) Hörsaal RLT 1	09 Hörsaal	100	1	Mittel	234,9	371,2	633	56,3	351,9	160
7) Hörsaal RLT 2	09 Hörsaal	100	1	Mittel	234,9	371,2	633	56,3	351,9	160
8) WCs	16 WC, Sanitä	238	1	Hoch	356,6	165,4	2.155	82,7	181,8	455

Tabelle 11-1: Bewertung auf Zonenebene - Heizung



3.2 Beleuchtung										
Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche m ²	Nr. Beleuch- tungsanlage	Ist-Wert Zone (Endenergie)				Vergleichswert - gering		
				TEK-Bew.ert.	kWh/(m ² a)	W/m ²	h/a	kWh/(m ² a)	W/m ²	h/a
1) Verkehrsflächen	19 Verkehrsflä	2.345	1	Mittel	4,7	3,3	1.445	1,4	4,5	306
2) Lager, Technik, Archiv	20 Lager, Tech	822	2	Hoch	1,4	7,7	185	0,7	3,0	237
3) Büro	02 Gruppenbü	548	3	Sehr gering	13,1	7,9	1.659	36,8	15,4	2.395
4) Technik, Server, gekühlt	21 Rechenzen	48	2	Sehr gering	8,5	7,7	1.109	13,8	14,6	942
5) Seminar (Labore)	03 Großraumb	2.726	3	Sehr gering	21,4	7,9	2.703	41,5	11,4	3.632
6) Hörsaal RLT 1	09 Hörsaal	100	4	Sehr gering	15,7	9,2	1.701	25,7	11,3	2.274
7) Hörsaal RLT 2	09 Hörsaal	100	4	Sehr gering	15,7	9,2	1.701	25,7	11,3	2.274
8) WCs	16 WC, Sanitä	238	2	Mittel	10,1	7,7	1.324	2,5	9,0	281

Tabelle 11-2: Bewertung auf Zonenebene: Beleuchtung



3.3 Luftförderung										
Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche m ²	Nr. RLT- anlage	Ist-Wert Zone (Endenergie)				Vergleichswert - gering		
				TEK-Bewert.	kWh/(m ² a)	W/m ²	h/a	kWh/(m ² a)	W/m ²	h/a
1) Verkehrsflächen	19 Verkehrsflä	2.345	0							
2) Lager, Technik, Archiv	20 Lager, Tech	822	0							
3) Büro	02 Gruppenbü	548	0							
4) Technik, Server, gekühlt	21 Rechenzen	48	0							
5) Seminar (Labore)	03 Großraumb	2.726	0							
6) Hörsaal RLT 1	09 Hörsaal	100	1	Mittel	73,6	40,0	1.840	45,0	25,0	1.800
7) Hörsaal RLT 2	09 Hörsaal	100	2	Mittel	73,6	40,0	1.840	45,0	25,0	1.800
8) WCs	16 WC, Sanitä	238	0							

Tabelle 11-3: Bewertung auf Zonenebene: Luftförderung



3.4 Kälte										
Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche m ²	Nutz.- einheit	Ist-Wert Zone (Endenergie)				Vergleichswert - gering		
				TEK-Bew.ert.	kWh/(m ² a)	W/m ²	h/a	kWh/(m ² a)	W/m ²	h/a
1) Verkehrsflächen	19 Verkehrsflä	2.345	1							
2) Lager, Technik, Archiv	20 Lager, Tech	822	1							
3) Büro	02 Gruppenbü	548	1							
4) Technik, Server, gekühlt	21 Rechenzen	48	1	Sehr hoch	127,3	43,0	2.963	0,0	0,0	8.142
5) Seminar (Labore)	03 Großraumb	2.726	1							
6) Hörsaal RLT 1	09 Hörsaal	100	1							
7) Hörsaal RLT 2	09 Hörsaal	100	1							
8) WCs	16 WC, Sanitä	238	1							

Tabelle 11-4: Bewertung auf Zonenebene: Kälte



3.5 Dampfbefeuchtung										
Nr. und Name	Std.-nutzung	Fläche m ²	Nutz.- einheit	Ist-Wert Zone (Endenergie)				Vergleichswert - gering		
				TEK-Bew.ert.	kWh/(m ² a)	W/m ²	h/a	kWh/(m ² a)	W/m ²	h/a
1) Verkehrsflächen	19 Verkehrsflä	2.345	1							
2) Lager, Technik, Archiv	20 Lager, Tech	822	1							
3) Büro	02 Gruppenbü	548	1							
4) Technik, Server, gekühlt	21 Rechenzen	48	1							
5) Seminar (Labore)	03 Großraumb	2.726	1							
6) Hörsaal RLT 1	09 Hörsaal	100	1							
7) Hörsaal RLT 2	09 Hörsaal	100	1							
8) WCs	16 WC, Sanitä	238	1							

Tabelle 11-5: Bewertung auf Zonenebene Dampfbefeuchtung

12 Anhang: TEK - Kurzdokumentation

2.1 Gebäudebezogene Übersichtsdarstellung - Kennwerte sind auf die beheizte Nettogrundfläche des Gebäudes bezogen

2.1.1 spezifische Hüllfläche

	Bauteilfläche (BTF)		U-Wert	g_tot
	spezifisch $\text{m}^2_{\text{BTF}}/\text{m}^2_{\text{NGF}}$	absolut m^2_{BTF}	W/(m ² K)	-
Außenwand	0,505	3.498	1,71	-
Dach	0,369	2.559	2,10	-
Kellerdecke	0,319	2.209	1,04	-
Fenster O,S,W	0,196	1.359	2,04	0,65
Fenster N	0,064	443	2,06	0,68
Fenster hor.	0,001	7	1,87	0,72
ges. Gebäude	1,455	10.076	1,72	0,66

2.1.2 Mittlere Nutzungseigenschaften

spez. hyg. Mindestaußenluftvolumenstrom	4,09 m ³ /(m ² h)
Raumsolltemperatur Heizung	21,0 °C
Raumsolltemperatur Kühlung	21,0 °C
Wartungswert der Beleuchtungsstärke	307 Lux
Nutzungszeit	3.220 h/a
Wärmequellen (Personen und Arbeitshilfen)	191 Wh/(m ² d)

2.1.5 Luftförderung	Zuluftvent.	Abluftvent.	
Nennvolumenstrom	6.000	6.000	m ³ /h
Dimensionierungsfaktor	100%	100%	
installierte Leistung	4,00	4,00	kW
spezifische Ventilatorleistung	2,40	2,40	kW/(m ³ s)
Vollbetriebszeit	1840	1840	h/a
Endenergiebedarf	1,1	1,1	kWh/(m ² a)
Primärenergiebedarf	2,8	2,8	kWh/(m ² a)

2.1.6 Wärmeerzeugung Heizung und Warmwasser (zentral + dezentral)

Nutzenergiebedarf	176,8 kWh/(m ² a)
davon Warmwasser	0,0 kWh/(m ² a)
zusätzliche Verluste Verteilung*	22,3 kWh/(m ² a)
Erzeugernutzwärmeabgabe	199,0 kWh/(m ² a)
Nennleistung (Soll: Heiz. berechnet * 1,3)	981 kW
Dimensionierungsfaktor** (nur zentr. Erz.)	0%
Erzeugeraufwandszahl	1,00 -
Endenergie Wärmeerzeugung	199,0 kWh/(m ² a)
davon elektrische Energie	0 %
Primärenergie Wärmeerzeugung	258,7 kWh/(m ² a)

Tabelle 12-1: Gebäudebezogene Übersichtsdarstellung (Kennwerte auf Energiebezugsfläche bezogen) – Teil 1



2.1.3 Nutzenergie Raum- und RLT-System

Nutzenergiebedarf Heizung und Kühlung	Heizung	Kälte	Dampf
	kWh/(m ² _{NGE} a)		
Raumsystem	175,8	2,2	-
RLT-Anlage	1,0	0,0	0,0
Summe	177	2	-

max. Heiz- bzw. Kühllast	Heizung	Kälte
	W/m ² _{NGF}	
Raumsystem	106	1
RLT-Anlage	3	0
Summe	109	1

2.1.4 Beleuchtung

installierte Leistung	44 kW
mittlere Bewertungsleistung	6,3 W/m ²
Vollbetriebszeit	1.907 h/a
Endenergie Beleuchtung	12 kWh/(m ² a)
Primärenergie Beleuchtung	31 kWh/(m ² a)

2.1.7 Kälteerzeugung (zentral + dezentral)

Nutzenergiebedarf	2,2 kWh/(m ² a)
zusätzliche Verluste Übergabe, Verteilung	0,5 kWh/(m ² a)
Erzeugernutzkälteabgabe	2,7 kWh/(m ² a)
maximale thermische Kälteleistung	6 kW
Dimensionierungsfaktor*** (nur zentr. Erz.)	
Jahreskälteleistungszahl	3,11 -
Endenergie Kälteerzeugung	0,9 kWh/(m ² a)
davon elektrische Energie	100 %
Primärenergieenergie Kälteerzeugung	2,3 kWh/(m ² a)
Endenergie Hilfsenergie Kälte	0,3
Teilkennwert Kalt-/Kühlwasserdistribution	0,0 kWh/(KW a)

2.1.8 Dampferzeugung

Endenergiefaktor	0,00 -
Endenergie Dampferzeugung	0 kWh/(m ² a)
Primärenergie Dampferzeugung	0 kWh/(m ² a)

*) Ein Teil der Verteilverluste reduziert den Nutzenergiebedarf Heizung

**) (Nennwärmeleistung Typenschild)/(berechnete max. Heizleistung * 1,3)

***) (Nennkälteleistung Typenschild)/(berechnete max. Kälteleistung * 1,3)

Tabelle 12-2: Gebäudebezogene Übersichtsdarstellung (Kennwerte auf Energiebezugsfläche bezogen) – Teil 2



2.2.2 Zoneninformationen

6.927 m²		Grundfläche aller beheizten Zonen			Konditionierung (1=vorhanden)			Nutzenergie			
48 m²		Grundfläche aller gekühlten Zonen									
Zonenname	Standard-nutzung	Zonen-fläche m²	RLT-Anlage Nr	Heizung / Warmwasser	mech. Lüftung	Kälte Befeuchtung	Heizung Zone+RLT Erzeuger		Kälte Zone+RLT Erzeuger		
		Kennwert bezogen auf die gesamte beheizte bzw. gekühlte Fläche					kWh/(m²a) ¹				
		6.927		177	199	322	397				
Zone 1	Verkehrsflächen	19 Verkehrsflä	2.345	1 /		/	184,1	206,4			
Zone 2	Lager, Technik, Archiv	20 Lager, Tecl	822	1 /		/	92,1	114,3			
Zone 3	Büro	02 Gruppenbü	548	1 /		/	151,8	174,1			
Zone 4	Technik, Server, gekühlt	21 Rechenzen	48	1 /		1 /	67,5	89,8	322,4	396,5	
Zone 5	Seminar (Labore)	03 Großraumb	2.726	1 /		/	186,5	208,8			
Zone 6	Hörsaal RLT 1	09 Hörsaal	100	1	1 /	1 /	212,7	234,9			
Zone 7	Hörsaal RLT 2	09 Hörsaal	100	2	1 /	1 /	212,7	234,9			
Zone 8	WCs	16 WC, Sanitäi	238		1 /	/	334,3	356,5			

1) Flächenbezug: Zonenfläche

Tabelle 12-3: Übersicht Zonen



2.2.3 Beleuchtungsanlagen

6.927 m ² Grundfläche aller belichteten Zonen										
Zonenname	Zonen- fläche m ²	Beleuchtungssystem Nr. / Bezeichnung	Beleuchtungs- stärke Lux	elektrische Bewertungsleistung			Regelung	Endenergie- bedarf kWh/(m ² a) ¹		
Kennwerte bezogen auf die gesamte belichtete Fläche		6.927	307	W/m ² ¹	W/(m ² 100lux)	Ermittlung		12		
Zone 1	Verkehrsflächen	2.345	1 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	100	3,3	3,3	Lamp. zählen	man.	5	
Zone 2	Lager, Technik, Archiv	822	2 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	100	7,7	7,7	Lamp. zählen	man.	1	
Zone 3	Büro	548	3 / Leuchtstofflampe stabförmig mit EVG	500	7,9	1,6	Lamp. zählen	man.	13	
Zone 4	Technik, Server, gekühlt	48	2 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	500	7,7	1,5	Lamp. zählen	man.	8	
Zone 5	Seminar (Labore)	2.726	3 / Leuchtstofflampe stabförmig mit EVG	500	7,9	1,6	Lamp. zählen	man.	21	
Zone 6	Hörsaal RLT 1	100	4 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	500	9,2	1,8	Lamp. zählen	man.	16	
Zone 7	Hörsaal RLT 2	100	4 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	500	9,2	1,8	Lamp. zählen	man.	16	
Zone 8	WCs	238	2 / Leuchtstofflampe stabförmig mit VVG	200	7,7	3,8	Lamp. zählen	man.	10	

1) Flächenbezug: Zonenfläche

Tabelle 12-4: Übersicht Beleuchtungsanlagen



2.2.4 RLT-Anlagen (bezogen auf die jeweils belüftete Fläche)

Bezeichnung	belüftete Fläche m ²	Heiz-/ Kühlregister	Befeuchter / WRG ¹	Zuluft		Abluft		Dimensionie- rungsfaktor ²	spezifische Leistungsauf. kW/(m ³ /s)	Endenergie kWh/(m ² a) bzw. Anteil	Teilkennwert DIN V 18599 kWh/(m ³ /h a)
				max. Vol- umenstrom m ³ /h	max. elektr. Leistung kW	max. Vol- umenstrom m ³ /h	max. elektr. Leistung kW				
Kennwerte bez. a. d. ges. mech. bel. Fläche		200		6.000	4,00	6.000	4,00	100%	2,40	73,60	8,05
RLT 1	RLT Hörsaal 1	100	Heizreg. kein / W) 0,6	3.000	2,00	3.000	2,00	100%	2,40	50%	8,05
RLT 2	RLT Hörsaal 2	100	Heizreg. kein / W) 0,6	3.000	2,00	3.000	2,00	100%	2,40	50%	8,05

1) Sp-nr = Sprühbefeuchter nicht regelbar; Sp-r = Sprühbefeuchter regelbar; Dmpf = Dampf befeuchter; W = Wärmerückgewinnung; WF = Wärme- und Feuchterückgewinnung

2) Nennvolumenstrom bezogen auf hygienischen Mindestaußenluftbedarf der versorgten Zonen

Tabelle 12-5: Übersicht RLT-Anlagen

2.2.5 Dezentrale Wärmeerzeuger (bezogen auf jeweils versorgte Fläche)

	vers. Fläche m ²	Leistung kW	Erzeugerauf- wandszahl	Endenergie kWh/(m ² a) ¹
Heizung				
Elektrische Direktheizung				
Elektrische Speicherheizung				
Warmwasser				
el. Durchlauferhitzer				
el. Kleinspeicher				

2.2.6 Zentrale Wärmeerzeuger Heizung und Warmwasser (bezogen auf die gesamte von zentralen Wärmeerzeugern beheizte Fläche)

6.927	m ²	Grundfläche aller über zentrale Wärmeerzeuger beheizten Zonen				
0	m ²	Grundfläche aller über zentrale Wärmeerzeuger mit Warmwasser versorgten Zonen				
Bezeichnung	Erzeugerart	Baujahr	thermische Nennleistung ² kW	Erzeugerauf- wandszahl		Endenergie kWh/(m ² a) bzw. Anteil
				Heizung	Warmwasser	
Kennwerte bezogen auf die gesamte zentral beheizte Fläche			0	1,00	1,00	199
Wärmeerz. 1	Nahwärmenetz	Fernwärme		1,00	1,00	100%
Wärmeerz. 2						

2) Vor Ort ermittelt, d.h. kein Berechnungsergebnis

Tabelle 12-6: Übersicht Wärmeerzeuger



2.2.7 Dezentrale Kälteerzeuger (bezogen auf jeweils versorgte Fläche)

	vers. Fläche m ²	Leistung kW	Erzeugerauf- wandszahl	Endenergie kWh/(m ² a) ¹
Kompaktklimagerät (Fenster, Wand)				
Split-System - ein/aus	48	6,42	0,32	127,3
Split-System - stetig geregelt				
Multi-Split-System - ein/aus				
Multi-Split-System - stetig geregelt				
VRF-System variabler Kühlmassenstrom				

2.2.8 Zentrale Kälteerzeuger (bezogen gesamte von zentralen Kälteerzeugern gekühlte Fläche)

0 m ² Über zentrale Kälteerzeuger gekühlte Fläche								
Bezeichnung	Erzeugerart	Baujahr	thermische Kälteleistung ² kW	Nennkälte- leistungszahl	mittlerer Teil- lastfaktor	Teilkennw ert Kälteerzeugung	Erzeuger- aufw andszahl	Endenergie kWh/(m ² a) bzw . Anteil
Kennw erte bezogen auf die gesamte zentral gekühlte Fläche			0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0
Erz. 1								
Erz. 2								

2) Vor Ort ermittelt, d.h. kein Berechnungsergebnis

Tabelle 12-7: Übersicht Kälteerzeuger