

Teilenergiekennwerte von Nichtwohngebäuden (TEK)

Berechnungsgrundlagen des TEK-Tools

Version TEK 6.2

Gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im
Forschungsschwerpunkt Energieoptimiertes Bauen (EnOB),
Förderkennzeichen: 0327431J



Darmstadt, den 28.05.2014

Impressum

Projekt	Teilenergiekennwerte von Nicht-Wohngebäuden – Methodische Grundlagen, empirische Erhebungen und systematische Analyse
Kurztitel	TEK
Bericht	Berechnungsgrundlagen des TEK-Tool, Version TEK-6.2
Verfasser	Michael Hörner, Jens Knissel
Mitarbeit	Behrooz Bagherian, Rolf Born, Michael Grafe, Christoph Jedek, Tobias Loga,
Datum	28. Mai 2014
ISBN	978-3-941140-36-3
IWU-Bestellnummer	03/14
Gefördert mit Mitteln von	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Forschungsschwerpunkt Energieoptimiertes Bauen (ENOB)
Projektteilnehmer	<ul style="list-style-type: none">• Institut Wohnen und Umwelt – IWU (Projektleitung)• Fraunhofer-Institut für solare Energiesysteme ISE• Karlsruher Institut für Technologie KIT Fachgebiet Bauphysik & Technischer Ausbau fbta• ARGE-Benchmark• Energie 2000 e.V.• Ingenieurbüro Patrick Jung GmbH• Stadt Frankfurt am Main• Techem Energy-Contracting GmbH
Geschäftsadresse	Institut Wohnen und Umwelt Rheinstraße 65 64295 Darmstadt Tel. +49 (0) 6151 / 2904 -0 Fax +49 (0) 6151 / 2904 -97
Dokument	O:\Nichtwohngebäude\2008_Teilenergiekennwerte - PTJ\02_work\22_Software\2211_Dokumentation\TEK-Methodik_6.2_final_ISBN.docx

Inhalt

1 Methodik	1
2 Zonenbilanz	2
2.1 Vereinfachte Eingabe der thermischen Gebäudehülle	2
2.1.1 Kellerdecke.....	3
2.1.2 Dachfläche und horizontale Fenster.....	3
2.1.3 Mittlere Geschosshöhe.....	4
2.1.4 Außenwand und vertikale Fenster.....	5
2.1.5 Außenwand gegen Erdreich oder unbeheizte Räume	5
2.2 Objektspezifische Definition der thermischen Gebäudehülle	6
2.3 Vereinfachte Ermittlung der Bauteilkennwerte.....	6
2.3.1 U-Werte opaker Bauteile	6
2.3.2 Bauteilkennwerte transparenter Bauteile	7
2.4 Objektspezifische Definition der Bauteilkennwerte.....	8
2.5 Vereinfachte Hüllflächenverteilung	8
2.6 Automatische Zuweisung der Bauteilkennwerte.....	9
2.6.1 Vereinfacht Berechnung.....	9
2.6.2 Objektspezifische Berechnung.....	9
2.6.3 Weitere automatisch zugewiesene Angaben	10
2.7 Anpassen der Nutzungszeiten.....	10
2.8 Raumtemperatur und Übergabeverluste	11
2.9 Zulufttemperaturen	12
2.10 Infiltrationsluftwechsel.....	13
2.11 Fensterluftwechsel.....	13
2.12 Flächenbezug	14
2.13 Berücksichtigte Energiebedarfe.....	15
2.13.1 Heizung, Kälte, Befeuchtung.....	15
2.13.2 Warmwasser, Beleuchtung, Luftförderung, Arbeitshilfen	15
3 Nutzenergie Luftaufbereitung und Luftförderung (DIN 18599 – Teil 3)	17
3.1 Bedarfsabhängige Lüftung.....	17
3.2 Zulufttemperaturen	17
3.3 Abluftanlagen.....	18
3.4 Bilanzvolumenstrom für die Zonenbilanz in Teil 2	19
3.5 Nutzenergie Luftaufbereitung	19
3.5.1 Frei wählbare Rückwärmezahlen	19
3.5.2 Umluftanteil	20

3.5.3	Überprüfung der Berechnung	21
3.6	Betriebstage bei mehrstufigen Anlagen	24
3.7	Abbilden von RLT-Anlagen	25
3.7.1	Mehrere RLT-Anlagen für eine Zone	26
3.7.2	Zusammenfassen von Lüftungsanlagen	26
3.7.3	Eingabe der Betriebszeit	29
3.8	Lüftungswärmesenken und –quellen	30
3.9	Standardwerte	31
4	Beleuchtung (DIN 18599 – Teil 4).....	32
4.1	Automatisch angelegte Tageslichtbereiche	32
4.2	Spezifische Bewertungsleistung	32
4.3	Vollbetriebszeit	32
5	Anlagen für Heizung und Warmwasser (DIN 18599 – Teil 5 und 8)	33
5.1	Wärmeverteilung	33
5.1.1	Gebäudeübergreifende Berechnung	33
5.1.2	Belastung der Heizungsverteilung	36
5.1.3	Flächenanteilige Zuordnung unregelmäßiger Wärmeeinträge zu den Zonen	36
5.1.4	Hilfsenergie Wärmeverteilung	36
5.1.5	Standardwerte	37
5.2	Übergabe	37
5.3	Speicherung	37
5.4	Wärmeerzeuger	38
5.4.1	Deckungsanteil	38
5.4.2	Aufwandszahlen der Wärmeerzeuger bis TEK 5.5	38
5.4.3	Vereinfachte Berechnung der Erzeugeraufwandszahl Heizung in Anlehnung an DIN V 18599-5:2011-12 ab TEK 5.6	42
5.4.4	Vereinfachte Berechnung der Erzeugeraufwandszahl Warmwasser in Anlehnung an DIN V 18599-8:2011-12 ab TEK 5.6	44
5.4.5	Primärenergiebewertung	47
5.4.6	Hilfsenergie Wärmeerzeuger bis TEK 5.5	47
5.4.7	Hilfsenergiebedarf Heizkessel ab TEK 5.6	52
6	Kälteanlage (DIN V 18599 – Teil 7)	53
6.1.1	Erzeugernutzkälteabgabe	53
6.1.2	Kälteerzeuger	53
6.1.3	Fernkälte (bis Version TEK-5.5 einschließlich)	54
6.1.4	Zonenweise Aufteilung des Enderdenergiebedarfs der zentralen Kälteerzeuger	55

6.1.5	Messdaten für zentrale Kälteerzeuger	55
6.1.6	Primärenergiebedarf für zentrale Kälteerzeugung	56
6.1.7	Hilfsenergie Kälteerzeugung	56
6.1.8	Hilfsenergie Kälteverteilung.....	56
6.1.9	Hilfsenergie Raumkühlung	57
6.1.10	Hilfsenergie Rückkühlung.....	57
6.1.11	Standardannahmen.....	57
7	Dampferzeuger	58
8	Arbeitshilfen, Zentrale Dienste sowie Diverse Technik.....	59
8.1	Arbeitshilfen – Wärmeeinträge und elektrischer Energiebedarf	59
8.1.1	Wärmeeinträge - Personenbestimmte Nutzungen	59
8.1.2	Wärmeeinträge - Funktionsbestimmte Nutzungen	60
8.1.3	Elektrischer Energiebedarf der Arbeitshilfen	61
8.2	Zentrale EDV - Serverraum	61
8.3	Gewerbeküche.....	65
8.4	Einzelhandel/Kaufhaus mit Kühlprodukten	67
8.5	Wärmeeinträge von Personen	68
8.6	Sonstige Zentrale Dienste	69
8.7	Diverse Technik	70
9	Berechnung der Referenz-Teilenergiekennwerte und Vergleich mit den Istwerten	71
9.1	Für alle Energieaufwandsklassen gleiche Randbedingungen	72
9.1.1	Klima	72
9.1.2	Nutzung	72
9.1.3	Geometrie der Zonen	72
9.1.4	Sonstiges.....	73
9.2	Randbedingungen, die sich je Energieaufwandsklasse unterscheiden	74
9.3	Spezifische Leistung und Vollbetriebszeit für Wärme-, Kälte- und Dampferzeugung.....	77
9.3.1	Zonenebene	77
9.3.2	Anlagenebene	77
9.4	Kennwerte für Warmwasser	78
9.5	Teilenergiekennwerte Arbeitshilfen.....	79
10	Anpassung der Referenz-Teilenergiekennwerte	81
10.1	Anpassung an den tatsächlichen Energieträger	81
10.2	Anpassungen Heizung.....	85
10.3	Anpassungen Beleuchtung.....	86



10.4	Anpassungen Luftförderung	87
10.5	Anpassungen Kälte.....	88
10.6	Anpassungen Hilfsenergie Kälte.....	88
10.7	Anpassungen Dampf	88
10.8	Anpassungen Arbeitshilfen	88
11	Ausgabe	89
11.1	Bewertung mit Teilenergiekennwerten	89
11.2	Mindestaußenluftvolumenstrombezogener Lüftungswärmetransferkoeffizient $H_{v'}$	89
Anhang A	Literatur	90

Formelverzeichnis

A_D	m^2	Fläche des Daches bzw. der obersten Geschossdecken (Außenmaßbezug)
A_{EBZ}	m^2	Energiebezugsfläche als Summer der Zonen innerhalb der thermischen Gebäudehülle (Innenmaßbezug) entsprechend Abschnitt 2.6.2
$A_{fa,i}$	m^2	Fassadenfläche der Orientierung i (Außenmaßbezug)
a_{ges}	h/a	Gesamt jährliche Betriebsstunden
$A_{i,ges}$	m^2	Die gesamte auf Gebäudeebene definierte Fläche der betrachteten Bauteilkategorie i
$A_{i,ver}$	m^2	Der Teil der thermischen Gebäudehülle, der automatisch auf die Zonen verteilt wird
$A_{i,z,BM}$	m^2	Auf Zonenebene manuell definierte Teilfläche der Bauteilkategorie i
A_{KD}	m^2	Fläche der Kellerdecke bzw. –fußbodens (Außenmaßbezug). Sie entspricht dem unteren Gebäudeabschluss der thermischen Gebäudehülle
A_{NGF}	m^2	Netto-Grundfläche des zu bewertenden Gebäudes
$A_{thH,oben}$	m^2	Fläche des oberen Gebäudeabschluss der thermischen Gebäudehülle (Außenmaßbezug)
AV_{Ist}	m-1	AV-Verhältnis des zu bewertenden Gebäudes
$AV_{Standard}$	m-1	Typisches AV-Verhältnis, für das der Infiltrationsvolumenstrom aus dem n_{50} -Wert ermittelt wurde (vermutlich Einfamilienhaus, da ansonsten Drucktest selten durchgeführt wurden). Als Standardwert wird 0,9 angesetzt.
$A_{w,i}$	m^2	Außenwandfläche in die Orientierung i (Außenmaßbezug)
$A_{w,i,earth}$	m^2	Außenwandfläche gegen Erdreich oder unbeheizte Räume (Außenmaßbezug)
$A_{win,hor}$	m^2	Fläche der horizontalen Fenster (Rohbaumaß)
$A_{win,i}$	-	Fensterfläche der Orientierung i (Rohbaumaß)
$A_{z,i}$	m^2	Grundfläche der Zone i (Innenmaßbezug)
d_m	d/a	Mittlere jährliche Betriebstage
$d_{nutz,d,ist}$	d/a	Erhobene jährliche Nutzungstage
ΔT_i	K	Temperaturdifferenz zwischen Zu- und Raumluft
$d_{V,mech,m}$	d/a	Anlagenbetriebstagezahl
f_{Ab}	-	Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung des geringeren Energiebedarfs bei Abluftanlagen
f_{DG}	-	Faktor zur Berücksichtigung der Flächenzunahme bei einem geneigten Dach gegenüber einem Flachdach
f_{ef}	-	Faktor zur Quantifizierung der Gebäudeeffizienz auf den Hilfsenergiebedarf
f_{ET}	-	Energieträgerfaktor (Wichtungsfaktor) für Energieträger (z.B. Primärenergiefaktor)
$f_{ET,geb,i}$	-	Energieträgerfaktor zur Umrechnung auf Gas/Heizöl
$f_{ET,gew}$	-	Auf Gewerkeebene verwendeter Energieträgerfaktor



$f_{ET,obj}$	-	Energieträgerfaktor je Erzeuger/Zone des berechneten Objekt-TEK
$f_{ET,ref}$	-	Energieträgerfaktor des tabellierten Referenz-TEK
$f_{ET,ref,Gas}$	-	Energieträgerfaktor Gas/Heizöl nach Tabelle 10-1
$f_{ET,ref,i}$	-	Energieträgerfaktor der Energieträgers, der bei der Berechnung der Referenz-TEK für das Gewerk i verwendet wurde
f_{Gi}	%	Prozentualer Anteil des Teilbereichs i an der Grundfläche des Gebäudes
$f_{h,i}$	-	Korrekturfaktor Anlagenbetriebszeit nach Teil 3 Bild 4
$f_{h,part,j}$	-	Deckungsanteil des Wärmeerzeugers j
$f_{h,weigt,j}$	-	Gewichtungsfaktor des Wärmeerzeugers j
$f_{HS/HL,i}$	-	Umrechnungsfaktor von oberen auf unteren Heizwert
f_{NGF}	-	Faktor zur Anpassung der tabellierten Kennwerte an die tatsächliche Gebäudegröße
$f_{NGF/BGF}$	-	Mittlerer Umrechnungsfaktor von Brutto- auf Nettogrundfläche. Als Standardwert wird in TEK $f_{NGF/BGF} = 0,9$ angesetzt.
$f_{nh/bh}$	-	Umrechnungsfaktor von Außen- auf Innenmaßbezug für vertikale Längen (Nettohöhe / Bruttohöhe)
$f_{p,i}$	-	Primärenergiefaktor
$f_{l,p}$	-	Reduktionsfaktor installierte Leistung der Beleuchtung
$f_{ref,a,l}$	-	Angepasster Vollbetriebszeit Beleuchtung
$\Phi_{win,hor}$	[0-1]	Flächenanteil von horizontalen Fenstern am oberen Gebäudeabschluss
$\Phi_{win,i}$	[0-1]	Fensterflächenanteil an der Fassade in der Orientierung i
$fx_{i,ver}$	-	fx-Wert, der automatisch den Zonen zugewiesen wird
$fx_{i,z,BM}$	-	Auf Zonenebene definierter fx-Wert der Teilfläche
g_{senk}	-	Gesamtenergiedurchlassgrad bei senkrechtem Strahlungeinfall
g_{tot}	-	Gesamtenergiedurchlassgrad von Verglasung und Sonnenschutz
h_G	m	Mittlere Geschosshöhe (Außenmaßbezug)
h_m	h/d	Mittlere tägliche Betriebsstunden
$h_{R,i}$	m	Lichte Raumhöhe in der Zone i (Innenmaßbezug)
i	-	Laufindex
$l_{fa,i}$	m	Länge der Fassadenabwicklung in der Orientierung i (Außenmaßbezug)
n_{50}	h-1	Typischer n50-Wert nach DIN V 18599 Teil 2 Tabelle 4
$n_{50,kor}$	h-1	In der Berechnung verwendeter korrigierter n_50-Wert
n_{cp}	a	Anzahl der Jahre / Kühlperioden
n_{DG}	Stück	Anteil Dachgeschoss
n_G	Stück	über Gebäude gemittelte beheizte Geschoszahl
$n_{G,i}$	Stück	Anzahl oberirdischer Vollgeschosse im Teilbereich i (ohne Dachgeschoss)
$n_{K,h}$	Stück	Anzahl beheizte Kellergeschosse (im Erdreich)
p	W/m ²	Spezifische Leistung

$P_{c,v}$	kW	Leistung der Verdichterstufe v
$p_{ref,kor,l}$	W/m ²	Korrigierter tabellierte spezifische Beleuchtungsleistung
$p_{ref,l}$	W/m ²	tabellierte spezifische Beleuchtungsleistung
q	kWh/(m ² a)	Energiebedarf
$Q_{c,f}$	kWh/a	Endenergieverbrauch des Kälteerzeugers
q_{fac}	kWh/(m ² a)	Elektrischer Energiebedarf der Arbeitshilfen für eine Zone
$q_{ges,a,ges}$	kWh/(m ² a)	Summer der gewichteten Endenergiebedarfe (z.B. Primärenergie gesamt)
$Q_{h,aux,g}$	kWh/a	Hilfsenergiebedarf der zentralen Wärmeerzeuger
$q_{i,m}$	Wh/(m ³ h)	Spezifischer Kennwert monatlicher Nutzenergiebedarf Wärme/Kälte nach Teil 3 Anhang A
$q_{l,fac}$	Wh/(m ² d)	Flächenbezogene Wärmeabgabe Arbeitshilfen nach DIN V 18599 Teil 10 für das Szenario „mittel“
$q_{l,fac,ist}$	Wh/(m ² d)	Wärmeabgabe der Arbeitshilfen bezogen auf die Nutzfläche ermittelt aus der erhobene Personenbelegungsdichte der jeweiligen Zone
$q_{l,fac,p}$	Wh/(Per d)	Personenbezogene Wärmeabgabe der Arbeitshilfen bezogen auf die maximale Personenbelegungsdichte
$q_{l,p}$	Wh/(m ² d)	Flächenbezogene Wärmeabgabe Personen nach DIN V 18599 Teil 10
$q_{l,p,ist}$	Wh/(m ² d)	Flächenbezogene Wärmeabgabe der Personen ermittelt aus der erhobene maximalen Personenbelegungsdichte der jeweiligen Zone
$q_{p,ab}$	W/Per	Spezifische Wärmeabgabe pro Personen nach Anhang DIN V 18599 Teil 10
q_{ref}	kWh/(m ² a)	Tabellierter Teilenergiekennwert
$q_{ref,a}$	kWh/(m ² a)	Angepasster Referenz-TEK
$q_{ref,a}$	kWh/(m ² a)	Über Energieträgerfaktor angepasster Teilenergiekennwert
$q_{ref,a,,h}$	kWh/(m ² a)	An tatsächliche Gebäudegröße angepasster Teilenergiekennwert zur Bewertung des Energieaufwandes Heizung in der Zone
$q_{ref,a,geb,i}$	kWh/(m ² a)	Auf das Bezugsniveau Gas/Heizöl umgerechneter angepasster Referenz-TEK des Gewerks i
$q_{ref,a,i}$	kWh/(m ² a)	Angepasster Referenz-TEK für das Gewerk i
$q_{ref,Ab}$	kWh/(m ² a)	Referenz-Teilenergiekennwert für Abluftanlagen
$q_{ref,h}$	kWh/(m ² a)	Tabellierter Teilenergiekennwert Heizung
$q_{ref,kor,l}$	kWh/(m ² a)	Korrigierter Referenz-Teilenergiekennwert Beleuchtung
$q_{ref,l}$	kWh/(m ² a)	Referenz-Teilenergiekennwert Beleuchtung
$q_{ref,v}$	kWh/(m ² a)	Tabellierter Referenz-Teilenergiekennwert Luftförderung
$Q_{v,i,m}$	kWh/M	Monatlicher Nutzenergiebedarf Wärme/Kälte
rc	-	Umluftanteil
ρ_p	m ² /Per	Maximale Personenbelegungsdichte nach DIN V 18599 Teil 10
$\rho_{p,ist}$	m ² /Person	Erhobene maximale Personenbelegungsdichte der Zone
$t_{c,v}$	h	Betriebszeit der Verdichterstufe v
tv	h/a	Vollbetriebszeit
$t_{v,mech,m}$	h/d	Tägliche Anlagenbetriebsstundenzahl



$t_{v,p}$	h/d	Vollnutzungsstunden Personen nach DIN V 18599 Teil 10
$t_{MEG,ist}$	h/a	Vollbetriebszeit nach [Hörner 2003a] mit tatsächlichem Fensterflächenanteil und tatsächlicher Nutzungszeit
$t_{MEG,ref.}$	h/a	Vollbetriebszeit nach [HÖRNER 2003A] mit Fensterflächenanteil und Nutzungszeit der Referenz-Teilkenwertberechnung (siehe Abschnitt 9)
$U_{i,ges}$	W/(m ² K)	Mittlerer U-Wert auf Gebäudeebene der betrachteten Bauteilkategorie i
$U_{i,ver}$	W/(m ² K)	U-Wert, der automatisch den Zonen zugewiesene wird
$U_{i,z,BM}$	W/(m ² K)	Auf Zonenebene definierter U-Wert der Teilfläche
U_{win}	W/(m ² K)	U-Wert des Fensters (Verglasung, Rahmen, Randverbund)
x_y	W/m ² oder kWh/(m ² a)	Spezifische Leistung bzw. Energiekennwerte für die Energieaufwandsklasse y
z	-	Laufindex Zonen
$\dot{V}_{mech,m}$	m ³ /h	Monatlicher mittlerer Zuluftvolumenstrom

1 Methodik

Ein Ziel des Forschungsprojektes ist die Entwicklung eines Verfahrens zur vereinfachten energetischen Bewertung von bestehenden Nicht-Wohngebäuden. Es soll den Anwender in die Lage versetzen, mit möglichst geringem Zeitaufwand Schwachstellen eines Gebäudes zu erkennen und grob Kosten und Wirtschaftlichkeit vorgeschlagener Modernisierungsmaßnahmen einzuschätzen. Als Hilfe zum Auffinden der Schwachstellen wird eine Bewertung des Energieaufwandes der einzelnen Gewerke durch Vergleich mit tabellierten Teilenergiekennwerten vorgenommen.

Sind die Schwachstellen identifiziert, können im nächsten Schritt gezielt Feinanalysen durchgeführt und Verbesserungsmaßnahmen umgesetzt werden.

Ausgangspunkt der Berechnung des energetischen Verhaltens der Gebäude ist die DIN V 18599 mit Stand 2007. Hiervon ausgehend werden unterschiedliche Modifikationen vorgenommen mit dem Ziel

1. den Zeitaufwand für die Abbildung des Gebäudes und die Berechnung zu reduzieren
2. eine möglichst realistische Bewertung bestehender Nicht-Wohngebäude mit objektspezifischen Randbedingungen vornehmen zu können
3. die erforderlichen Eingabedaten an die bei der Bestandsbewertung typischerweise verfügbaren Informationen anzupassen.

Dies führt zu

- Vereinfachungen
- Erweiterungen
- Änderungen

gegenüber dem üblichen Ansatz der DIN V 18599. Die wichtigsten Modifikationen werden im Folgenden beschrieben, wobei die Gliederung des ersten Teils des Bereichs sich an die Struktur der DIN V 18599 anlehnt.

2 Zonenbilanz

Die Zonenbilanz wird im Wesentlichen nach DIN V 18599 Teil 2 berechnet. Als Berechnungstool hierfür wird das im Rahmen seiner Dissertation von [Lichtmeß 2010] erstellte Programm EnerCalc verwendet.

Um den Zeitaufwand für die Eingabe zu reduzieren, werden sowohl die Flächen der thermischen Gebäudehülle als auch die Bauteilkennwerte auf Gebäudeebene bestimmt und dann über das in [Lichtmeß 2010] beschriebene Verfahren automatisch auf die Zonen aufgeteilt. Die Eingabe der Hüllfläche als auch der Bauteilkennwerte auf Gebäudeebene kann sowohl vereinfacht als auch objektspezifisch erfolgen. Die möglichen Varianten werden im Folgenden kurz beschrieben.

2.1 Vereinfachte Eingabe der thermischen Gebäudehülle

Um für eine schnelle Abschätzung die Flächen der thermischen Gebäudehülle mit geringem Zeitaufwand bestimmen zu können, wird ein einfacher Berechnungsansatz erstellt. Dieser soll anhand der im Rahmen des Forschungsprojektes durchgeführten Gebäudeanalysen getestet werden.

Als Eingabegrößen sind folgende Werte erforderlich:

- Anzahl der oberirdischen Vollgeschosse (ohne Dachgeschoss) für alle Gebäudeteile i
- Prozentualer Anteil des Gebäudeteils i an der Grundfläche des Gebäudes
- Anzahl beheizter Kellergeschosse
- Form des Daches und Umfang der Beheizung eines vorhandenen Dachgeschosses.

Die Energiebezugsfläche des Gebäudes entspricht der Summe der innerhalb der thermischen Gebäudehülle liegenden Zonenfläche. Sie entspricht in der Regel der thermischen konditionierten Nettogrundfläche der EnEV 2009, wobei jedoch indirekt durch andere Zonen beheizte Zonen mit hinzugerechnet werden (siehe Abschnitt 2.12).

Zunächst wird die mittlere Geschosshöhe berechnet

$$\text{Gl. 2-1} \quad n_G = \sum_i (n_{G,i} \cdot f_{G,i}) + n_{K,h} + n_{DG}$$

mit

n_G	Stück	über Gebäude gemittelte Anzahl beheizter Vollgeschosse
$n_{G,i}$	Stück	Anzahl oberirdischer Vollgeschosse im Teilbereich i (ohne Dachgeschoss)
$f_{G,i}$	%	Prozentualer Anteil des Teilbereichs i an der Grundfläche des Gebäudes
$n_{K,h}$	Stück	Anzahl beheizter, unterirdischer Vollgeschosse (im Erdreich)
n_{DG}	Stück	Beheizter Anteil des Dachgeschosses

n_{DG} entspricht dem Anteil des Dachgeschosses, der beheizt ist. Vereinfacht wird hier unterschieden zwischen

Unbeheiztes Dachgeschoss	$n_{DG} = 0$
Teilbeheiztes Dachgeschoss	$n_{DG} = 0,5$
Vollbeheiztes Dachgeschoss	$n_{DG} = 1$
Flachdach oder flach geneigtes Dach	$n_{DG} = 0$

Bemerkung 1:

Die Angabe zum Anteil $n_{K,h}$ der beheizten unterirdischen Vollgeschosse dient zur Berechnung der zugehörigen Außenwandfläche (gegen Erdreich bzw. unbeheizt). Der Anteil ergibt sich aus der beheizten, unterirdischen Geschossfläche dividiert durch die Gebäudegrundfläche, jeweils mit Außenmaßbezug.

Bsp: Gibt es zwei unterirdische Vollgeschosse, also solche, die sich über die gesamte Gebäudegrundfläche erstrecken, aber nur eines ist ganz beheizt und das andere nur zur Hälfte, dann muss $n_{K,h} = 1,5$ eingegeben werden.

Hieraus wird in der vereinfachten Hüllflächenermittlung mit Hilfe der Abwicklung und der Geschosshöhe die Außenwandfläche gegen Erdreich mit Temperatur-Korrekturfaktor $f_x = 0,6$ ermittelt. Zudem wird die Angabe zur Bestimmung der mittleren Geschosshöhe benötigt

Bemerkung 2:

Als Dachgeschoss wird ein Geschoss bezeichnet, dessen Decke zu mehr als 50 % aus Dachschrägen besteht.

Eine Reduzierung der Nettogrundfläche eines Gebäudes durch geringe Raumhöhen unter Dachschrägen wird bei diesem vereinfachten Verfahren vernachlässigt.

2.1.1 Kellerdecke

Die Fläche des unteren Gebäudeabschlusses wird im Weiteren als Kellerdecke A_{KD} bezeichnet. Sie entspricht der Grundfläche des Gebäudes A_{GF} . Sie berechnet sich aus der Energiebezugsfläche und der mittleren Geschoszahl zu

$$\text{Gl. 2-2} \quad A_{KD} = \frac{A_{EBZ}}{n_G \cdot f_{NGF/BGF}}$$

mit

A_{KD}	m ²	Fläche der Kellerdecke bzw. –fußbodens (Außenmaßbezug). Sie entspricht dem unteren Gebäudeabschluss der thermischen Gebäudehülle
A_{EBZ}	m ²	Energiebezugsfläche als Summe der NGF der Zonen innerhalb der thermischen Gebäudehülle (Innenmaßbezug) entsprechend Abschnitt 0
$f_{NGF/BGF}$	-	Mittlerer Umrechnungsfaktor von Brutto- auf Nettogrundfläche.

Angelehnt an die Werte aus [Bekanntmachung Verbrauchskennwerte Nichtwohngebäude 2009] wird als Standardwert in TEK $f_{NGF/BGF} = 0,87$ angesetzt.

2.1.2 Dachfläche und horizontale Fenster

Bei der Ermittlung der Dachfläche muss der beheizte Anteil des Dachgeschosses berücksichtigt werden sowie die erhöhte Außenfläche eines Steildaches. Für ein Flachdach entspricht die Dachfläche der Kellerdeckenfläche. Bei vollbeheiztem Dachgeschoss mit Steildach ergibt sich die Dachfläche aus der Kellerdeckenfläche multipliziert mit dem Faktor f_{DG} . Bei Teilbeheizung wird dieser Faktor nur für den beheizten Teil berücksichtigt.

$$\text{Gl. 2-3} \quad A_{thH,oben} = n_{DG} A_{KD} f_{DG} + (1 - n_{DG}) A_{KD}$$

mit

$A_{thH,oben}$	m ²	Fläche des oberen Gebäudeabschlusses der thermischen Gebäudehülle (Außenmaßbezug)
f_{DG}	-	Faktor zu Berücksichtigung der Flächenzunahme bei einem geneigten Dach gegenüber einem Flachdach

Entsprechend [Loga et al. 2005] wird für das Steildach

$$f_{DG} = 1,51$$

gesetzt.

Die Dachfläche ergibt sich durch Abzug der horizontalen Fensterfläche zu

$$\text{Gl. 2-4} \quad A_D = A_{thH,oben} - A_{win,hor}$$

$$\text{Gl. 2-5} \quad A_{win,hor} = A_{thH,oben} \Phi_{win,hor}$$

mit

A_D	m ²	Fläche des Daches bzw. der obersten Geschosdecken (Außenmaßbezug)
$A_{win,hor}$	m ²	Fläche der horizontalen Fenster (Rohbaumaß)
$\Phi_{win,hor}$	[0-1]	Flächenanteil von horizontalen Fenstern am oberen Gebäudeabschluss

Bemerkung:

Der Ansatz geht davon aus, dass bei einem teilbeheizten Dachgeschoss 100 % der Dachfläche im beheizten Bereich als Steildach ausgeführt ist.

2.1.3 Mittlere Geschosshöhe

Die mittlere Geschosshöhe berechnet sich als flächengewichteter Mittelwert der lichten Raumhöhe der Zonen (innerhalb der thermischen Gebäudehülle) multipliziert mit einem Umrechnungsfaktor für Netto- auf Brutto Bezug in Bezug auf die vertikale Gebäudeausdehnung.

$$\text{Gl. 2-6} \quad h_G = \frac{\sum_i A_{z,i} h_{R,i}}{\sum_i A_{z,i}} \frac{1}{f_{nh/bh}}$$

mit

h_G	m	Mittlere Geschosshöhe (Außenmaßbezug)
$A_{z,i}$	m ²	Grundfläche der Zone i (Innenmaßbezug)
$h_{R,i}$	m	Lichte Raumhöhe in der Zone i (Innenmaßbezug)
$f_{nh/bh}$	-	Umrechnungsfaktor von Außen- auf Innenmaßbezug für vertikale Längen (Nettohöhe / Bruttohöhe)
i	-	Laufindex über die Zonen innerhalb der thermischen Gebäudehülle

In TEK wird folgender Wert angesetzt: $f_{nh/bh} = 0,86$. Er geht von einer typischen Geschosshöhe von 3,5 m bei einer lichten Raumhöhe von 3 m aus.

Bemerkung:

Abgehängte Decken bzw. aufgeständerte Böden sind hier nicht berücksichtigt! Man könnte einen zusätzlichen Faktor einfügen, der auf $f_{nh/bh}$ wirkt und ggf. die Geschosshöhe vergrößert. Bei 30 cm abgehängter Decke wird $f_{nh/bh} = 3/(3,5+0,3)=0,79$ usw.

2.1.4 Außenwand und vertikale Fenster

Die Fläche der Außenfassade je Orientierung (oberirdischen) ergibt sich nach

$$\text{Gl. 2-7} \quad A_{fa,i} = l_{fa,i} h_G (n_G - n_{k,h})$$

mit

$A_{fa,i}$ m^2 Fassadenfläche der Orientierung i (Außenmaßbezug)

$l_{fa,i}$ m Länge der Fassadenabwicklung in der Orientierung i (Außenmaßbezug)

Die Fensterfläche je Orientierung berechnet sich aus der entsprechenden Fläche der Außenfassade

$$\text{Gl. 2-8} \quad A_{win,i} = A_{fa,i} \Phi_{win,i}$$

mit

$A_{win,i}$ m^2 Fensterfläche der Orientierung i (Rohbaumaß)

$\Phi_{win,i}$ [0-1] Fensterflächenanteil an der Fassade in der Orientierung i

Die Außenwandfläche über Erdreich ergibt sich je Orientierung aus der Fassadenfläche vermindert um die Fensterfläche

$$\text{Gl. 2-9} \quad A_{w,i} = A_{fa,i} - A_{win,i}$$

mit

$A_{w,i}$ m^2 Außenwandfläche in die Orientierung i (Außenmaßbezug)

Bemerkung 1:

Im Falle eines beheizten Dachgeschosses wird die Fassadenfläche auf der Traufeseite je nach Höhe des Kniestocks überschätzt (Annahme: Höhe Kniestock = mittlere Geschosshöhe). Auf der Giebelseite wird die Fassadenfläche tendenziell unterschätzt.

Bemerkung 2:

Weist ein Gebäude Innenhöfe bzw. innenhofähnliche Konstrukte auf, erhöht sich seine thermische Hüllfläche entsprechend. Daher müssen abhängig von der Himmelsrichtung bei der Ermittlung der Außenfassadenabwicklungen die Länge bzw. Breite der Innenhöfe hinzuaddiert werden. Unabhängig davon, ob die Innenhöfe von der Erdoberfläche oder von darüber liegenden Etagen beginnen.

In einer Nebenrechnung sollten die Fassadenabwicklungen und Fensterflächenanteile ermittelt und gemittelt werden, um letztere in die Eingabefelder des TEK-Tools einzutragen.

2.1.5 Außenwand gegen Erdreich oder unbeheizte Räume

Die Außenwand gegen Erdreich oder unbeheizte (Keller-)Räume ergibt sich aus der Fassadenabwicklung je Orientierung, der mittleren Geschosshöhe und der Anzahl beheizter Kellergeschosse

Gl. 2-10 $A_{w,i,earth} = l_{fa,i} h_G n_{k,h}$

mit

$A_{w,i,earth}$ m^2 Außenwandfläche gegen Erdreich oder unbeheizte Räume (Außenmaßbezug)

Bemerkung:

Es wird angenommen, dass es keine Kellerfenster gibt.

Die bei teilbeheizten Kellern entstehenden Flächen zu unbeheizten Kellerräumen werden mit dem Ansatz nur sehr grob und tendenziell zu gering abgebildet. Hier sind weitere Untersuchungen sinnvoll.

2.2 Objektspezifische Definition der thermischen Gebäudehülle

Die thermische Gebäudehülle kann auch über bis zu 50 einzelne Teilflächen definiert werden. Jede Teilfläche wird einer Bauteilkategorie zugeordnet. Dabei wird bei Fenster nach Orientierung und bei Außenwand nach Außenluft und Erdreich/unbeheizt unterschieden.

Eine Außenwandfläche ist der Bauteilkategorie Außenwand (Erdreich oder unbeheizt) zuzuordnen, wenn der Fx-Wert <1 ist.

Es müssen alle Teilflächen der thermischen Gebäudehülle definiert werden, auch wenn sie auf Zonenebene manuell definiert werden. Auf Zonenebene definierte Teilflächen sowie die gegebenenfalls manuell definierten Bauteilkennwerte werden vor der automatischen Zonenzuweisung aus den auf Gebäudeebene definierten Größen herausgerechnet (für Bauteilkennwerte siehe Abschnitt 2.3).

2.3 Vereinfachte Ermittlung der Bauteilkennwerte

2.3.1 U-Werte opaker Bauteile

Die U-Werte von Dach, Außenwand und Kellerdecke werden auf Gebäudeebene definiert. Sie werden vereinfacht abhängig vom Baualter des Gebäudes und dem Material des Bauteils entsprechend den Tabellenwerten aus [Bekanntmachung Datenaufnahme Nichtwohngebäude 2009] angesetzt.

Beim Dach wird im Falle eines Flachdaches oder eines Steildaches mit beheiztem Dachgeschoss der Wert für Dach verwendet. Ist der obere Gebäudeabschluss eine an einen unbeheizten Dachraum grenzende oberste Geschossdecke wird der entsprechende Wert verwendet.

Liegt ein teilweise beheiztes Dachgeschoss vor, werden die U-Werte von Steildach und oberster Geschossdecke entsprechend dem Teilbeheizungsfaktor (Standardwert 50 %) gewichtet. Die Auswahl unter „Material“ beschreibt dabei den Aufbau der obersten Geschossdecke. Als Steildach wird als Material standardmäßig „Holz“ angesetzt und der entsprechende U-Wert aus den Tabellen verwendet.

Die Temperaturkorrekturfaktoren (Fx-Werte) werden angelehnt an DIN V 18599 – 2 Tabelle 3 vereinfacht wie folgt angesetzt:

Außenwand (gegen Außenluft)	fx = 1
Außenwand gegen Erdreich/unbeheizt	fx = 0,6

Dach (bzw. oberste Geschossdecke gegen Außenluft)	$f_x = 1$
Oberste Geschossdecke gegen unbeheizten Dachraum	$f_x = 0,8$
Kellerdecke (unbeh. Keller) oder Kellerfußboden (beheizter Keller)	$f_x = 0,6$

2.3.2 Bauteilkennwerte transparenter Bauteile

Abhängig von der gewählten Verglasung werden die Kennwerte nach Tabelle 5 aus DIN V 18599 Teil 2 verwendet, wobei die Modifikationen von Teil 100 (2009) berücksichtigt werden.

Der U-Wert des Fensterrahmens wird abhängig vom Material und Einbauezeitpunkt des Fensters (vor oder ab 1995) entsprechend Tabelle 2-1 angesetzt.

U-Werte in $W/(m^2K)$	Baualter	
	< 1995	≥ 1995
Holz	2,2	1,9
Kunststoff	2,6	2
Alu/Stahl	4,5	3,4
Passivhausqualität	1,2	1

Tabelle 2-1: U-Werte für Fensterrahmen in TEK

Diese Werte stellen einen Querschnitt aus folgenden Publikationen dar:

- Loga, Tobias; Born, Rolf; Großklos, Marc; Bially, Matthias: Energiebilanz-Toolbox. Arbeitshilfe und Ergänzungen zum Energiepass Heizung/Warmwasser; IWU Darmstadt, Dez. 2001
- Daniel Kehl: Energetische Klassifizierung von Fenstern; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt, 2000
- Klaus Specht: Wärmetechnische Eigenschaften von Kunststoffrahmenprofilen; Institut für Fenstertechnik; Rosenheim, 2004
- DIN EN ISO 10077-1:2010-05: Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten - Teil 1: Allgemeines

Um den U-Wert des Fensters zu berechnen, wird in TEK standardmäßig ein Rahmenanteil von

$$f_{fr} = 30 \%$$

angesetzt.

Die auf Gebäudeebene definierten Standardwerte können je Zone manuell überschrieben werden. Eingabefelder gibt es für den U-Wert des Fensters U_{win} sowie $g_{senkrecht}$ und g_{tot} . Die Ermittlung der Bauteilkennwerte erfolgt durch den Anwender. Für τ_e ; τ_{D65} sind keine Eingabefelder vorgesehen. Diese werden abhängig vom g-Wert (senkrecht) der Verglasung über die in den Abbildungen Abbildung 2-1 aufgeführten Regressionsgleichungen abgeschätzt. Die Regressionsgleichungen beruhen auf den Werten aus Tabelle 5 der DIN 18599 Teil 2.

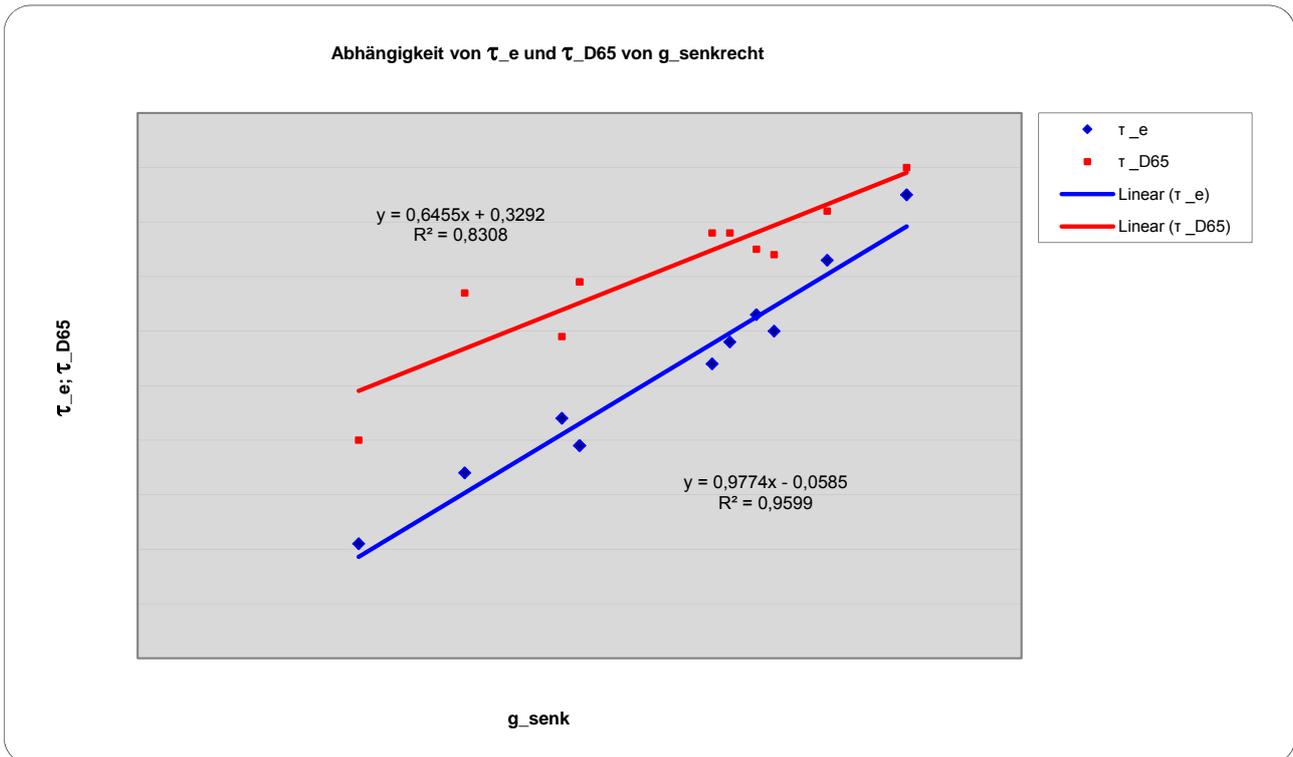


Abbildung 2-1: In TEK angenommener Zusammenhang zwischen g_{senk} und τ_e bzw. τ_{D65}

2.4 Objektspezifische Definition der Bauteilkennwerte

Für jede der 50 Teilflächen der thermischen Gebäudehülle können die Bauteilstoffwerte individuell angegeben werden. Für opake Bauteile werden U-Werte und Fx Werte und bei transparenten Bauteilen der U-Wert des Fensters (Verglasung + Rahmen + Randverbund) sowie die g-Werte der Verglasung bei senkrechtem Strahlungseinfall (g_{senk}) und g-Werte für Verglasung und Sonnenschutz g_{tot} angegeben werden. Der Fx Wert wird bei Fenstern in allen Fällen mit 1 angesetzt.

2.5 Vereinfachte Hüllflächenverteilung

Die vereinfachte Verteilung der Fläche der thermischen Gebäudehülle auf die Zonen erfolgt nach dem von Lichtmeß entwickelten Verfahren [Lichtmeß 2010]. Verwendet wird das erweiterte Verfahren nach [Kapitel 2.8 - Lichtmeß 2010]. Als Wichtungsfaktoren f_z werden

für opake Bauteile

Bauteil in Zone vorhanden „nein“	$f_z = 0$
Bauteil in Zone vorhanden „ja“	$f_z = 1$

für transparente Bauteile

Anteil Fensterfläche je Grundfläche „keine“	$f_z = 0$
Anteil Fensterfläche je Grundfläche „gering“	$f_z = 0,5$
Anteil Fensterfläche je Grundfläche „mittel“	$f_z = 1$
Anteil Fensterfläche je Grundfläche „hoch“	$f_z = 1,5$

angesetzt.

2.6 Automatische Zuweisung der Bauteilkennwerte

Die den Zonen automatisch zugewiesenen Bauteilkennwerte unterscheiden sich je nach gewähltem Modus bei der Beschreibung der Bauteilkennwerte auf Gebäudeebene:

2.6.1 Vereinfacht Berechnung

Die vereinfacht (nach Baualterklassen) ermittelten Bauteilstoffwerte (siehe Abschnitt 2.3) werden als Vorgabewerte interpretiert und allen Zonen zugewiesen, bei denen auf Zonenebene keine manuellen Einträge für die Bauteilkategorie vorgenommen wurden. Eine Beeinflussung der auf Zonenebene manuell definierten Bauteilkennwerte auf die den verbleibenden Zonen automatisch zugewiesenen Bauteilkennwerte erfolgt **nicht**.

2.6.2 Objektspezifische Berechnung

Aus den auf Gebäudeebene definierten objektspezifischen Teilflächen werden die mittleren Bauteilkennwerte je Bauteilkategorie ermittelt. Vor der automatischen Zuweisung auf die Zonen werden die auf Zonenebene eingegebenen Teilflächen verrechnet. Die Verrechnung von U und fx-Werten wird je Bauteilkategorie *i* durchgeführt und erfolgt auf Ebene des thermischen Leitwertes aus folgendem Zusammenhang.

$$\text{Gl. 2-11} \quad A_{i,ver} U_{i,ver} f_{x_{i,ver}} = A_{i,ges} U_{i,ges} f_{x_{i,ges}} - \sum_z A_{i,z,BM} U_{i,z,BM} f_{x_{i,z,BM}}$$

mit

$A_{i,ver}$	m ²	Der Teil der thermischen Gebäudehülle, der automatisch auf die Zonen verteilt wird
$U_{i,ver}$	W/(m ² K)	U-Wert, der automatisch den Zonen zugewiesene wird
$f_{x_{i,ver}}$	-	fx-Wert, der automatisch den Zonen zugewiesen wird
$A_{i,ges}$	m ²	Die gesamte auf Gebäudeebene definierte Hüllfläche der betrachteten Bauteilkategorie <i>i</i>
$U_{i,ges}$	W/(m ² K)	Mittlerer U-Wert auf Gebäudeebene der betrachteten Bauteilkategorie <i>i</i>
$A_{i,z,BM}$	m ²	Auf Zonenebene manuell definierte Teilfläche der Bauteilkategorie <i>i</i>
$U_{i,z,BM}$	W/(m ² K)	Auf Zonenebene manuell definierter U-Wert der Teilfläche
$f_{x_{i,z,BM}}$	-	Auf Zonenebene manuell definierter fx-Wert der Teilfläche
<i>i</i>	-	Laufindex Bauteilkategorie
<i>z</i>	-	Laufindex Zonen

Es folgt:

$$\text{Gl. 2-12} \quad A_{i,ver} = A_{i,ges} - \sum_z A_{i,z,BM}$$

$$\text{Gl. 2-13} \quad U_{i,ver} = \frac{A_{i,ges} U_{i,ges} f\dot{x}_{i,ges} - \sum_z A_{i,z,BM} U_{i,z,BM} f\dot{x}_{i,z,BM}}{A_{i,ges} f\dot{x}_{i,ges} - \sum_z A_{i,z,BM} f\dot{x}_{i,z,BM}}$$

$$\text{Gl. 2-14} \quad f\dot{x}_{i,ver} = \frac{A_{i,ges} f\dot{x}_{i,ges} - \sum_z A_{i,z,BM} f\dot{x}_{i,z,BM}}{A_{i,ver}}$$

Für transparente Bauteile werden analog zu Gl. 2-14 die zu verteilenden Werte für g_{senk} , g_{tot} , τ_e und τ_{D65} ermittelt.

$$\text{Gl. 2-15} \quad g_{i,ver} = \frac{A_{i,ges} g_{i,ges} - \sum_z A_{i,z,BM} g_{i,z,BM}}{A_{i,ver}}$$

In der objektspezifischen Berechnungsart kann auf diese Weise eine besondere Ausprägung der Gebäudehülle einer bestimmten Zone zugeordnet werden. Diese würde dann bei sonst gleichen Nutzungsparametern wie z.B. Raumtemperaturen etwa beim Heizwärmebedarf entsprechend anders bewertet. So können Schwachstellen zonenweise deutlich gemacht werden. Voraussetzung dafür ist aber, dass bei der objektspezifischen Hüllflächen-Erfassung auf Gebäudeebene in Blatt 2.2_in_Hülle_Gebäude alle unterschiedlich ausgeprägten Hüllflächenanteile angegeben wurden. Auch ein Mittelwert über alle unterschiedlich ausgeprägten Hüllflächenbauteile reicht aus. Sonst können sich unsinnige Resultate ergeben.

2.6.3 Weitere automatisch zugewiesene Angaben

Die auf Gebäudeebene definierte Horizont- oder Überhangverschattung wird auf Zonenebene den Fenstern orientierungsabhängig zugewiesen.

Die Blend- und Sonnenschutzsteuerung sowie die Bauschwere, der Wärmebrückenzuschlag und die Luftdichtheit werden für alle Zonen entsprechend der auf Gebäudeebene definierten Ausprägung übernommen.

2.7 Anpassen der Nutzungszeiten

In TEK können die Nutzungszeiten je Nutzungseinheit frei gewählt werden. Diese gelten in jedem Fall für die Warmwasserversorgung (sofern die Nutzungseinheit mit Warmwasser versorgt wird). Wird als Berechnungsmodus „Nutzungszeiten für Zonen: objektspezifisch“ gewählt, werden die manuell definierten Nutzungszeiten auch in der Zonenbilanz verwendet. Die Nutzungszeiten der Zone entsprechen dabei der Nutzungszeit der jeweils zugeordneten Nutzungseinheit.

Weichen die Nutzungszeiten von den Standardwerten der DIN V 18599 Teil 10 ab, müssen die jährlichen Nutzungsstunden zu Tagzeit und Nachtzeit neu berechnet werden. Hierzu werden die in Tabelle 2-2 angegebenen Summenhäufigkeiten für die jährliche Stundenzahl mit und ohne Tages-

licht für jede Stunde des Tages verwendet. Die Zahlenwerte sind ermittelt für das Testreferenzjahr für Würzburg. Tageslicht wird angenommen, wenn die Globalstrahlung in der jeweiligen Stunde größer als Null ist.

Stunde des Tages (bis)	Stunden pro Jahr [h/a]			
	Für Zeitintervall 1 Stunde		Summenhäufigkeit	
	Tageslicht		Tageslicht	
	mit	ohne	mit	ohne
0	0	0	0	0
1	0	365	0	365
2	0	365	0	730
3	0	365	0	1095
4	0	365	0	1460
5	65	300	65	1760
6	148	217	213	1977
7	212	153	425	2130
8	278	87	703	2217
9	365	0	1068	2217
10	365	0	1433	2217
11	365	0	1798	2217
12	365	0	2163	2217
13	365	0	2528	2217
14	365	0	2893	2217
15	365	0	3258	2217
16	365	0	3623	2217
17	338	27	3961	2244
18	255	110	4216	2354
19	195	170	4411	2524
20	124	241	4535	2765
21	34	331	4569	3096
22	0	365	4569	3461
23	0	365	4569	3826
24	0	365	4569	4191
Summe	4569	4191		

Tabelle 2-2: Häufigkeitsverteilung zur Ermittlung der jährlichen Nutzungsstunden zu Tag- und Nachtzeit (Testreferenzjahr Würzburg; Tageslicht vorhanden, wenn Einstrahlung >0)

Die auf diesem Weg ermittelten Stunden zu Tagzeit und Nachtzeit stimmen nicht für alle Nutzungen mit den Werten der DIN V 18599:2007 überein. Um Unstetigkeit in den Ergebnissen zu vermeiden, werden bei der Berechnung mit „objektspezifischen Nutzungszeiten“ immer die über Tabelle 2-2 ermittelten Zeiten verwendet, auch wenn die Nutzungszeiten mit den Standardwerten der DIN V 18599 übereinstimmen.

2.8 Raumtemperatur und Übergabeverluste

Die mittleren Raumtemperaturen für den Heiz- und den Kühlfall werden bei der Gebäudebegehung je Zone erhoben bzw. durch Befragungen ermittelt. Bei diesen Temperaturen handelt es sich um die tatsächlichen Temperaturen im Gebäude während der Nutzungszeit (natürlich immer behaftet

mit dem Fehler bei der Erhebung). Sie werden in Blatt 2.5_in_Zone-Nutzungseinheit je Zone eingegeben. Diese am Objekt ermittelten Temperaturen entsprechen den Bilanz-Innentemperaturen für den Heizfall bzw. den Kühlfall (Monatsmittelwert), die in DIN V 18599 für die Energiebilanz angesetzt werden¹.

In TEK wird diese objektspezifisch ermittelte, mittlere Raumtemperatur für den Heizfall in die Monatsbilanzierung des Heizwärmebedarfs eingesetzt. Sie wird in TEK standardmäßig für den Absenkbetrieb korrigiert, nach dem in Teil 2 Kapitel 6.1.1 vorgesehenen Verfahren¹.

Die Qualität der Wärmeübergabe in der Zone (z.B. die Regelabweichung eines Thermostatventils am Heizkörper) ist in diesen Temperaturen bereits berücksichtigt. Entsprechend werden bei der Berechnung des Erzeugernutzwärmebedarfs keine Übergabeverluste mehr angesetzt (da die Qualität der Wärmeübergabe sich in der Raumtemperatur niederschlägt).

Im Bereich der Kälte wird durch die Übergabeverluste hauptsächlich der zusätzliche Energieaufwand einer ungewollten Entfeuchtung berücksichtigt. Entsprechend werden hier die Übergabeverluste trotz der oben angegebenen Definition der Raumtemperatur in der Bilanz berücksichtigt.

2.9 Zulufttemperaturen

Im Falle der Fensterlüftung entsprechen die Zulufttemperaturen den Außenlufttemperaturen nach DIN 18599 Teil 10.

Weist das Gebäude eine mechanische Lüftungsanlage auf, können im Eingabeblatt für die RLT - Anlagen Zulufttemperaturen getrennt für den Heiz- und für den Kühlfall angegeben werden. Die Angabe der Zulufttemperatur ist jedoch nur erforderlich, wenn eine entsprechende Luftbehandlungsfunktion vorhanden ist.

Wird die Zulufttemperatur im praktischen Betrieb abhängig von der Zonentemperatur variiert (Heizfall: Anheben der Temperatur um mehr Heizleistung zuführen zu können; Kühlfall: Reduzieren der Zulufttemperatur, um mehr Kälteleistung zuführen zu können) so sind die minimale Zulufttemperatur im Heizfall und die maximale Zulufttemperatur im Kühlfall anzugeben.

Die in der Zonenbilanz berücksichtigten Zulufttemperaturen hängen von der Konfiguration der RLT-Anlage ab:

Ohne Heizfunktion und ohne Kühlfunktion aber mit WRG

Die Zulufttemperaturen werden entsprechend DIN 18599-2:2007-02, Gleichung (91) berechnet.

Mit Heizfunktion ohne Kühlfunktion gegebenenfalls mit WRG:

¹ Nach DIN V 18599-2: 2007-02, Kap. 6.1 a) ist die Raum-Solltemperatur für den Heizfall (Monatsmittelwert) $\Theta_{i,h,soll}$ die während der normalen Nutzungszeit minimal einzuhaltende Raumtemperatur. Sie ist für Berechnungen nach DIN V 18599 im Teil 10 festgelegt. Die Bilanz-Innentemperatur für den Heizwärmebedarf $\Theta_{i,h}$ ist die für die Bilanzierung maßgebliche Temperatur. Sie ist jeweils für jeden Monat als Mittelwert über 24 h anzusetzen. In der Bilanz-Innentemperatur für den Heizbetrieb ist daher auch eine Reduzierung des Heizbetriebs über die Nachtstunden zu berücksichtigen. Für Wochenend- oder Ferienbetrieb ist eine eigene Bilanz-Innentemperatur zu ermitteln. Ohne Nachtabenkung entspricht die Bilanz-Innentemperatur der Raum-Solltemperatur für den Heizfall.

Abhängig vom gewählten Sollwert für die Zulufttemperatur (Heizfall) werden die Zulufttemperaturen aus DIN 18599-3:2007-02, Tabelle 3 verwendet. Der Einfluss der Betriebszeit auf die Zulufttemperatur wird durch Interpolation berücksichtigt.

Mit Heizfunktion und Kühlfunktion gegebenenfalls mit WRG:

In den Monaten April bis September werden die in TEK eingegebenen Zulufttemperaturen für den Kühlfall, in den anderen Monaten die Zulufttemperaturen für den Heizfall angesetzt.

Bemerkung 1:

Es wird davon ausgegangen, dass im Sommer die Wärmerückgewinnung mit einem Bypass umgangen wird, da ansonsten der Kältebedarf erhöht würde. Dies ist nicht direkt konform zur DIN V 18599-3.

Bemerkung 2:

Durch eine fehlende Fallunterscheidung bis TEK 5.5 / EnerCalc 4.41 dürfen nur mittlere Raumtemperaturen größer oder gleich der Mindestzulufttemperatur im Heizfall eingegeben werden (siehe auch Kap. 3.2).

2.10 Infiltrationsluftwechsel

Der Infiltrationsvolumenstrom wird nach DIN V 18599 aus dem n_{50} Wert des Gebäudes ermittelt. Der Zusammenhang wurde wahrscheinlich aus den Erfahrungen bei Wohngebäuden gewonnen. Die Infiltrationsluftvolumenströme sind für AV-Verhältnisse von Einfamilienhäusern ($0,7$ bis 1 m^{-1}) vermutlich plausibel. Für große Gebäude mit kleinen AV-Verhältnissen berechnen sich jedoch zu große Werte, so dass sich zu hohe Heizenergiebedarfe ergeben.

Um diese Unplausibilität zu vermeiden, wird der Einfluss des AV-Verhältnisses derart korrigiert, dass sich für die gewählte Dichtheitsklasse immer der gleiche Infiltrationsvolumenstrom pro m^2 Gebäudehüllfläche ergibt.

$$\text{Gl. 2-16} \quad n_{50, \text{kor}} = n_{50} \frac{AV_{\text{Ist}}}{AV_{\text{Standard}}}$$

mit

$n_{50, \text{kor}}$	h-1	In der Berechnung verwendeter korrigierter n50-Wert
n_{50}	h-1	Typischer n50-Wert nach DIN V 18599 Teil 2 Tabelle 4
AV_{Ist}	m-1	AV-Verhältnis des zu bewertenden Gebäudes
AV_{Standard}	m-1	Typisches AV-Verhältnis, für das der Infiltrationsvolumenstrom aus dem n50-Wert ermittelt wurde (vermutlich Einfamilienhaus, da ansonsten Drucktest selten durchgeführt wurden). Als Standardwert wird 0,9 angesetzt.

Bei balancierter Lüftung ist n_{inf} ohne und mit mechanische Lüftung gleich groß (vgl. DIN V 18599-2:2007-02 Kap. 6.3.1.1 und 6.3.1.2).

2.11 Fensterluftwechsel

Der Fensterluftwechsel wird nach DIN V 18599-2:2007-02 Kap. 6.3.2.1 bestimmt.

Überprüfung bzw. eventuell Korrektur der Bestimmung des Fensterluftwechsels n_{win} nach DIN V 18599-2:2007-2, Kap. 6.3.2.1., Gl. (67), weil sich zu hohe Luftwechsel durch den Offset von $0,1 \text{ h}^{-1}$ ergeben, insbesondere bei Gebäudezonen mit Durchlässen zur Außenluft.

2.12 Flächenbezug

Zonenfläche A_z

Die Zonenfläche ist die Nettogrundfläche einer Zone, die aus Innenmaßen berechnet wird.

Energiebezugsfläche des Gebäudes A_{EBZ}

Die Energiebezugsfläche ist die Summe aller Zonenflächen A_z innerhalb der thermischen Gebäudehülle. Sie entspricht der der beheizten Gebäudefläche.

Beheizte Gebäudefläche

Die beheizte Gebäudefläche ist die Summe aller beheizten Zonenflächen.

Eine Zone gilt als beheizt, wenn

- sie innerhalb der thermischen Gebäudehülle liegt (d.h. auch Zonen ohne eigenes Raumheizsystem, die indirekt über Nachbarzonen beheizt werden, werden zur beheizten Fläche gezählt, sofern diese innerhalb der thermischen Hülle liegen).

Hinweis: Eine indirekt über die Nachbarzonen beheizte Zone innerhalb der thermischen Hülle wird in der Berechnung wie folgt behandelt:

- Ihr wird bei der automatischen Hüllflächenverteilung ein Anteil der thermischen Hüllfläche zugeordnet.
- Sie wird zur beheizten Fläche hinzugerechnet.
- Für sie muss eine mittlere Raumtemperatur während der Heizzeit angegeben werden.
- Für sie wird ein Heizwärmebedarf berechnet und im Heizwärmebedarf des Gebäudes berücksichtigt. Dieser repräsentiert den Wärmestrom aus benachbarten Zonen (indirekte Beheizung), der in der Berechnung als solcher nicht berücksichtigt wird.
- Ihr Wärmebedarf wird den zentralen Wärmeerzeugern zugeordnet, wenn wenigstens eine Zone von einem zentralen Erzeuger versorgt wird. Werden alle Zonen dezentral beheizt, wird als fiktives Heizsystem in den indirekt beheizten Zonen eine direkte elektrische Beheizung (Erzeugeraufwandszahl 1,11) angesetzt.
- Für Sie wird keine TEK-Bewertung für das Gewerk Heizung vorgenommen.

Mit Warmwasser versorgte Gebäudefläche

Die mit Warmwasser versorgte Fläche des Gebäudes entspricht der Summe aller Zonenflächen mit Warmwasserbedarf. Eine Zone hat einen Warmwasserbedarf, wenn sie einer Nutzungseinheit mit Warmwasserbedarf zugeordnet ist.

Künstlich belichtete Gebäudefläche

Die künstlich belichtete Fläche ist die Summe aller Zonenflächen, da jeder Zone ein Beleuchtungssystem zugeordnet werden muss. Hierzu zählen demnach auch Zonen außerhalb der thermischen Gebäudehülle.

Mechanisch belüftete Gebäudefläche

Die mechanisch belüftete Fläche ist die Summe aller Zonenflächen, denen eine RLT-Anlage zugeordnet ist. Hierzu können auch Zonen außerhalb der thermischen Gebäudehülle zählen.

Berücksichtigt werden Zonen, deren Lüftungsart wie folgt angegeben ist:

- RLT (Ventilator): Zone mit RLT-Anlagen, als Zu-/Abluftanlagen oder als reine Abluftanlagen
- RLT + Fenster: Zonen mit Grundlüftung über RLT-Anlagen und ergänzender Belüftung über Fenster
- Zuluftzone von Abluftanlagen: Bei Abluftanlagen mit gerichteter Gebäudedurchströmung (d.h. Zuluftzonen mit Außenwanddurchlässen, Überströmbereiche (z.B. Flure) und Abluftbereiche (z.B. WC)) zählen auch die Zuluft Räume zur mechanisch belüfteten Fläche.

Bemerkung:

Weitere Hinweise zum Abbilden unterschiedlicher RLT-Anlagensysteme sind im Handbuch zu finden.

Gekühlte Gebäudefläche

Die gekühlte Gebäudefläche ist die Summe aller gekühlten Zonenflächen.

Eine Zone gilt als gekühlt, wenn

- sie innerhalb der thermischen Gebäudehülle liegt
- ihr entweder über ein Raumsystem oder die RLT-Anlage Nutzenergie Kälte zugeführt wird.

Befeuchtete Gebäudefläche

Die befeuchtete Gebäudefläche ist die Summe aller Zonenflächen, die befeuchtet werden.

Eine Zone gilt als befeuchtet, wenn

- ihr eine RLT-Anlage mit Befeuchtungsfunktion (Feuchteanforderung und Befeuchter) zugeordnet ist.

2.13 Berücksichtigte Energiebedarfe

2.13.1 Heizung, Kälte, Befeuchtung

In der Gebäudebilanz werden bei Heizung, Kälte und Befeuchtung nur die berechneten Energiebedarfe von Zonen berücksichtigt, die

- innerhalb der thermischen Hülle liegen. Hinweis: es wird auch der Heizenergiebedarf von unbeheizten Zonen berücksichtigt, wenn sie innerhalb der thermischen Hülle liegen. (indirekte Beheizung - siehe Abschnitt 2.12).
- über das Raumsystem oder die RLT-Anlage beheizt oder gekühlt oder mit Dampf versorgt werden.

Hinweis: Versorgt eine RLT-Anlage mit Heiz- oder Kühlfunktion eine Zone außerhalb der thermischen Gebäudehülle, so wird der Energieaufwand hierfür nicht berücksichtigt.

2.13.2 Warmwasser, Beleuchtung, Luftförderung, Arbeitshilfen

Es wird der Energiebedarf aller Zonen berücksichtigt, auch wenn diese außerhalb der thermischen Gebäudehülle liegen.

3 Nutzenergie Luftaufbereitung und Luftförderung (DIN 18599 – Teil 3)

3.1 Bedarfsabhängige Lüftung

Bedarfsabhängige Lüftung ist entsprechend DIN V 18599-100:2009-10 umgesetzt, wobei auf die Regelung durch Personenzähler verzichtet wurde.

Nach DIN EN 13779 können RLT-Anlagen bedarfsabhängig gesteuert und geregelt werden. Die DIN EN 15251 definiert den notwendigen Außenluftvolumenstrom als personen- und gebäudeabhängige Komponente. Für die Bewertung nach DIN V 18599 wurden in Anlehnung an die DIN EN 15251 in DIN V 18599-10:2011-12, Tabelle 5, die gebäudeabhängigen Mindestaußenluftvolumenströme für die Kategorie II (nicht schadstoffarmes Gebäude) definiert. Dieser ist unabhängig von der Steuerung und Regelung während der Nutzungszeit sicherzustellen. Die Differenz – ist der personenabhängige Teil. Dieser kann in Abhängigkeit des Regelkonzeptes verringert werden.

$$\text{Gl. 3-1} \quad \dot{V}_{d,c} = \left(\dot{V}_{A,Geb} + \left(\dot{V}_A - \dot{V}_{A,Geb} \right) F_{RLT} \right) (1 - c_{RLT}) + \dot{V}_{A,Geb} c_{RLT}$$

Dabei ist

- $\dot{V}_{d,c}$ der mittlere Außenluftvolumenstrom bei bedarfsabhängiger Regelung;
- \dot{V}_A Mindest-Außenluftvolumenstrom (während der Nutzungszeit)
- $\dot{V}_{A,Geb}$ Mindest-Außenluftvolumenstrom, in Anlehnung an die DIN EN 15251 Kategorie II (nicht schadstoffarmes Gebäude)
- $\dot{V}_A - \dot{V}_{A,Geb}$ personenabhängiger Teil des Mindest-Außenluftvolumenstroms
- F_{RLT} der Teilbetriebsfaktor der Gebäudebetriebszeit RLT (DIN V 18599-10:2011-12, Tabelle 4);
- c_{RLT} die relative Abwesenheit RLT-Anlage (Lüftung) (DIN V 18599-10:2011-12, Tabelle 5).

Der Außenluftvolumenstrom kann mit Hilfe von Sensoren (Präsenzmelder, Personenzähler, Gassensoren usw.) bedarfsabhängig geregelt werden. Dadurch ergeben sich im Mittel geringere Außenluftvolumenströme während der Anlagenbetriebszeit.

Zu ergänzen: Faktor für die Reduktion der elektrischen Leistung!

3.2 Zulufttemperaturen

Zur Berechnung der RLT-Nutzenergie Heizung und Kühlung werden unterschiedliche Zulufttemperaturen verwendet, die konstant für das Jahr angesetzt werden. Für den Kühlfall ist das die „Max. Zulufttemperatur Kühlfall“ für den Heizfall die „Min. Zulufttemperatur Heizfall“.

In der DIN V 18599-2:2007-02, Kap. 6.7.2 wird die Berechnung der Zeitkonstante τ beschrieben, die in die Nutzenergiebilanz von TEK eingeht. Bei RLT-Anlagen mit Kühlfunktion geht der temperaturgewichtete Wärmetransferkoeffizient der mechanischen Lüftung $H_{V,mech,\vartheta}$ dort ein:

$$H_{V,mech,\vartheta} = H_{V,mech} \frac{\Theta_{i,soll} - \Theta_{V,mech}}{6K}$$

Gl. 3-2

Dabei ist

- $H_{V,mech}$ der Lüftungswärmetransferkoeffizient der mechanischen Lüftung (nach Kapitel 6.3.3)
- $\Theta_{i,soll}$ für den Heizfall: $\theta_{i,soll} = \theta_{i,h,soll}$; für den Kühlfall: $\theta_{i,soll} = \theta_{i,c,soll} - 2K$ (Raum-Solltemperaturen $\theta_{i,h,soll}$ und $\theta_{i,c,soll}$ nach DIN V 18599-10 (siehe auch 6.1);
- $\Theta_{V,mech}$ die minimale Zulufttemperatur der mechanischen Lüftungsanlage.

Für RLT-Anlagen ohne Kühlfunktion und Wohnungs Lüftungsanlagen ist in DIN V 18599-2:2007-02 Gleichung (131) der unkorrigierte Lüftungswärmetransferkoeffizient des Anlagenluftstroms einzusetzen.

Es gilt: $H_{V,mech,\theta} = H_{V,mech}$

Im Falle einer Luftheizung mit einer Zulufttemperatur größer gleich der Raum-Solltemperatur gilt:

$$H_{V,mech,\theta} = 0$$

In der DIN V 18599-2:2011-12 Kap. 6.7.2 wurde die Bedingung

Gl. 3-3 Wenn $\theta_{i,soll} \leq \Theta_{V,mech}$ gilt : $H_{V,mech,\theta} = 0$

für RLT-Anlagen mit Kühlfunktion eingeführt.

Diese letztere Bedingung ist im TEK 5.5 zugrunde liegenden EnerCalc 4.41 nicht implementiert, dadurch kann es folgendes Problem geben: Bei mittleren Raumtemperaturen im Heizfall (einzugeben in 2.5_in_Zone-Nutzungseinheit), die kleiner sind als die Mindestzulufttemperatur im Heizfall (einzugeben in 3.3_in_RLT-Anlage), kann die Zeitkonstante des Gebäudes unplausible Werte annehmen. Der Heizwärmebedarf der Zone kann sich dann bei Eingabe verschiedener Werte sprunghaft ändern. Man darf in TEK 5.5 deshalb nur mittlere Raumtemperaturen größer oder gleich der Mindestzulufttemperatur im Heizfall eingeben.

Ab Version TEK 5.6 mit EnerCalc 4.42 wurde die Bedingung aus Gl. 3-3 eingefügt. Die Auswirkungen sind in Abbildung 3-1 erkennbar.

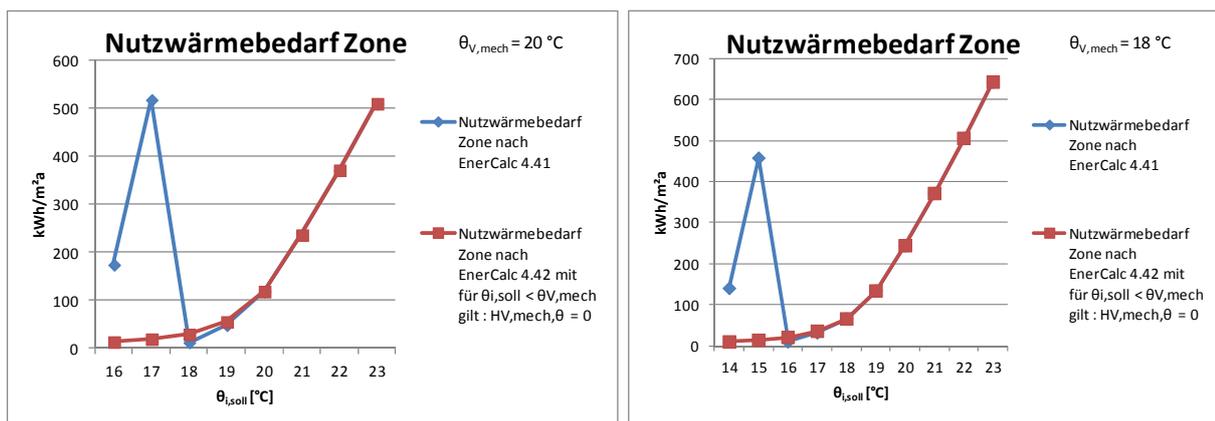


Abbildung 3-1: Auswirkungen der Bedingung in Gl. 3-3 auf den Nutzwärmebedarf Zone für zwei Zulufttemperaturen

3.3 Abluftanlagen

Bei einer Abluftanlage ist im Eingabeblatt der RLT-Anlage lediglich für die Abluft ein Nennvolumenstrom und eine elektrische Nennleistung anzugeben. Die Felder für Zuluft bleiben leer. Zulufttemperaturen können bei Abluftanlagen nicht angegeben werden.

Für die Zonenbilanz von Zonen mit Abluftanlage muss angegeben werden, wie die Zuluft der Zone zugeführt wird. Hier gibt es zwei Möglichkeiten die im Tabellenblatt „Zone-Nutzungseinheit“ auszuwählen sind. Hinweise hierzu finden sich im Handbuch.

3.4 Bilanzvolumenstrom für die Zonenbilanz in Teil 2

Der in der Zonenbilanz zur Quantifizierung der Lüftungswärmeverluste/-gewinne berücksichtigte Bilanzvolumenstrom V'_{mech_b} der mechanischen Lüftung wird aus dem für die RLT-Anlage spezifizierten Zuluftvolumenstrom bestimmt. Versorgt eine RLT-Anlage mehrere Zonen wird der gesamte Zuluftvolumenstrom der RLT-Anlage entsprechend dem Mindestaußenluftvolumenstrom der jeweiligen Zonen aufgeteilt.

Liegt der RLT-Zuluftvolumenstrom unter dem Mindestaußenluftvolumenstrom der jeweiligen Zone so können zwei Optionen gewählt werden (Eingabeblatt Zone-Nutzungseinheit)

- RLT + Fenster: die Differenz zum Mindestaußenluftvolumenstrom wird durch Fensterlüftung ergänzt.
- RLT (Ventilator): ein zusätzlicher Volumenstrom über Fenster wird nicht berücksichtigt. Die Bilanz wird mit einem Volumenstrom durchgeführt, der unter dem Mindestaußenluftvolumenstrom liegt. Ein zusätzlicher Fensterluftwechsel wird nicht berücksichtigt.

3.5 Nutzenergie Luftaufbereitung

3.5.1 Frei wählbare Rückwärmzahlen

Der Nutzenergiebedarf für energetische Luftaufbereitung wird nach DIN V 18599 Teil 3 berechnet. Die Energiebedarfskennwerte werden nach Kap. 7.3, Formel (35) für frei wählbare Rückwärmzahlen linear interpoliert

Gl. 3-4

$$q_{i,m} = q'_{i,m} + \frac{q''_{i,m} - q'_{i,m}}{\varphi''_{WRG} - \varphi'_{WRG}} \cdot (\varphi_{WRG} - \varphi'_{WRG})$$

und abweichend von Teil 3 auch über die obere Stützstelle 75% hinaus linear mit der Steigung zwischen der Stützstellen 60% und 75% extrapoliert:

Gl. 3-5

$$q_{i,m} = q''_{i,m} + \frac{q''_{i,m} - q'_{i,m}}{\varphi''_{WRG} - \varphi'_{WRG}} \cdot (\varphi_{WRG} - \varphi''_{WRG})$$

mit

$q_{i,m}$	Wh/(m ³ h)	Spezifischer Kennwert monatlicher Nutzenergiebedarf Wärme/Kälte/Dampf nach Teil 3 Anhang A
φ_{WRG}		Frei gewählte Rückwärmzahl
$q'_{i,m}, q''_{i,m}$	Wh/(m ³ h)	Energiebedarfskennwerte für die nächst kleinere Stützstelle mit der Rückwärmzahl φ'_{WRG} und die nächstgrößere Stützstelle mit der Rückwärmzahl φ''_{WRG} nach Anhang A.

Ergeben sich negative Nutzenergiebedarfe, wird der Wert auf null gesetzt:

Die Denormierung der Energiebedarfskennwerte erfolgt mit dem monatlichen mittleren Zuluftvolumenstrom:

Gl. 3-6 $Q_{V,i,m} = q_{i,m} \dot{V}_{mech,m}$

$Q_{V,i,m}$	kWh/M	Monatlicher Nutzenergiebedarf Wärme/Kälte
$q_{i,m}$	Wh/(m³h)	Spezifischer Kennwert monatlicher Nutzenergiebedarf Wärme/Kälte nach Teil 3 Anhang A
$\dot{V}_{mech,m}$	m³/h	Monatlicher mittlerer Zuluftvolumenstrom

$Q_{V,i,m}$ ist auf Werte größer oder gleich Null begrenzt.

Für die Monate des Winterhalbjahres (Januar bis März sowie Oktober bis Dezember) wird davon ausgegangen, dass die Zuluft nur geheizt wird. Als Raumtemperatur die „mittlere Raumtemperatur im Heizfall“ und als Zulufttemperatur die „Zulufttemperatur im Heizfall“ herangezogen.

Für die Monate des Sommerhalbjahres (April bis September) wird entsprechend davon ausgegangen, dass die Zuluft nur gekühlt wird. Als Raumtemperatur die „mittlere Raumtemperatur im Kühlfall“ und als Zulufttemperatur die „Zulufttemperatur im Kühlfall“ verwendet.

3.5.2 Umluftanteil

In Ergänzung zur DIN V 18599 kann in TEK ein Umluftanteil rc (recirculation) je RLT-Anlage angegeben werden. Dieser wird in der Berechnung wie folgt berücksichtigt. Relevant wird der Umluftanteil beim **Nutzenergiebedarf zur Luftaufbereitung**.

Da die DIN V 18599 Teil 3 keine Umluftsysteme kennt, werden Umluftanlagen wie fiktive WRG-Anlagen abgebildet. Thermodynamisch entspricht der Umluftanteil rc in % der Rückwärmzahl ϕ in %². Es wird ein resultierende Rückwärmzahl ϕ_{res} sowohl für Anlagen mit nur Umluft als auch für solche mit WRG und Umluft definiert:

Gl. 3-7 $\phi_{res} = rc + (1 - rc) \cdot \phi$

Eine Schwierigkeit ist die Behandlung der Feuchterückgewinnung bei Anlagenkonfigurationen mit Umluft und WRG. Da Umluft auch Feuchte rückgewinnt, ist bei Kombination mit einem einfachen Wärmerückgewinner zu entscheiden, welcher Typ dem kombinierten System zugeordnet werden soll. Es wird folgende Regel angewandt:

Anforderung Befeuchtung	Ohne Befeuchtung Fa-k	Mit Befeuchtung Fa-mT, Fa-oT
-------------------------	--------------------------	---------------------------------

² Dies gilt streng genommen nur unter folgenden Randbedingungen:

- a.) Die Anordnung des Abluftventilators (saugend oder drückend) wurde beim virtuellen Rotationswärmetauscher vernachlässigt.
- b.) Die Definition der Wärmerückzahlen beziehen sich auf die Zuluft
- c.) Änderungen von Luftfeuchten wurden nicht berücksichtigt
- d.) Die Wärmerückzahlen sind im Verlauf des Jahres konstant (aus Messungen ist bekannt, dass die in der EN 18599 gesetzten Annahmen die Wärmerückzahl und die Feuchterückzahl wären gleich groß und im Verlauf des Jahres konstant, unzutreffend sind)
- e.) Für die Definition der Wärmerückzahl gilt, dass der Abluftmassenstrom gleich dem Außenluftmassenstrom (symmetrische Belastung)

WRG-Typ WRG-Grad φ	WRG-k	WRG-W	WRG-k	WRG-W	WRG-W+F
Umluftanteil $rc = 0\%$	WRG-k	WRG-W	WRG-k	WRG-W	WRG-W+F
Umluftanteil $rc > 0\%$	WRG-W	WRG-W	WRG-W+F	Wenn $rc < =\varphi$ dann WRG-W sonst WRG-W+F	WRG-W+F
	Hier kann Umluft ohne FRG gerechnet werden, da gar keine Energie für Befeuchtung aufgewandt werden muss. Die Feuchterückgewinnung ist dann nur unter Komfortaspekten relevant. Energetisch reicht die Bilanzierung der Wärmerückgewinnung aus.		Hier muss auf die FRG geachtet werden, da eine Befeuchtungsanforderung besteht. Problematisch ist der Fall einer Anlage mit trockener WRG-W und Umluft, der durch eine Fallunterscheidung entweder als trockene WRG-W oder mit Feuchterückgewinnung WRG-W+F behandelt wird.		

Bei dem für die **Zonenbilanz** an Teil 2 übergebenen Bilanzvolumenstrom V'_{mech_b} spielt der Umluftanteil keine Rolle. Für die Beeinflussung der Zonenbilanz ist der gesamte Volumenstrom zu berücksichtigen in Verbindung mit der jeweiligen monatlichen Zulufttemperatur.

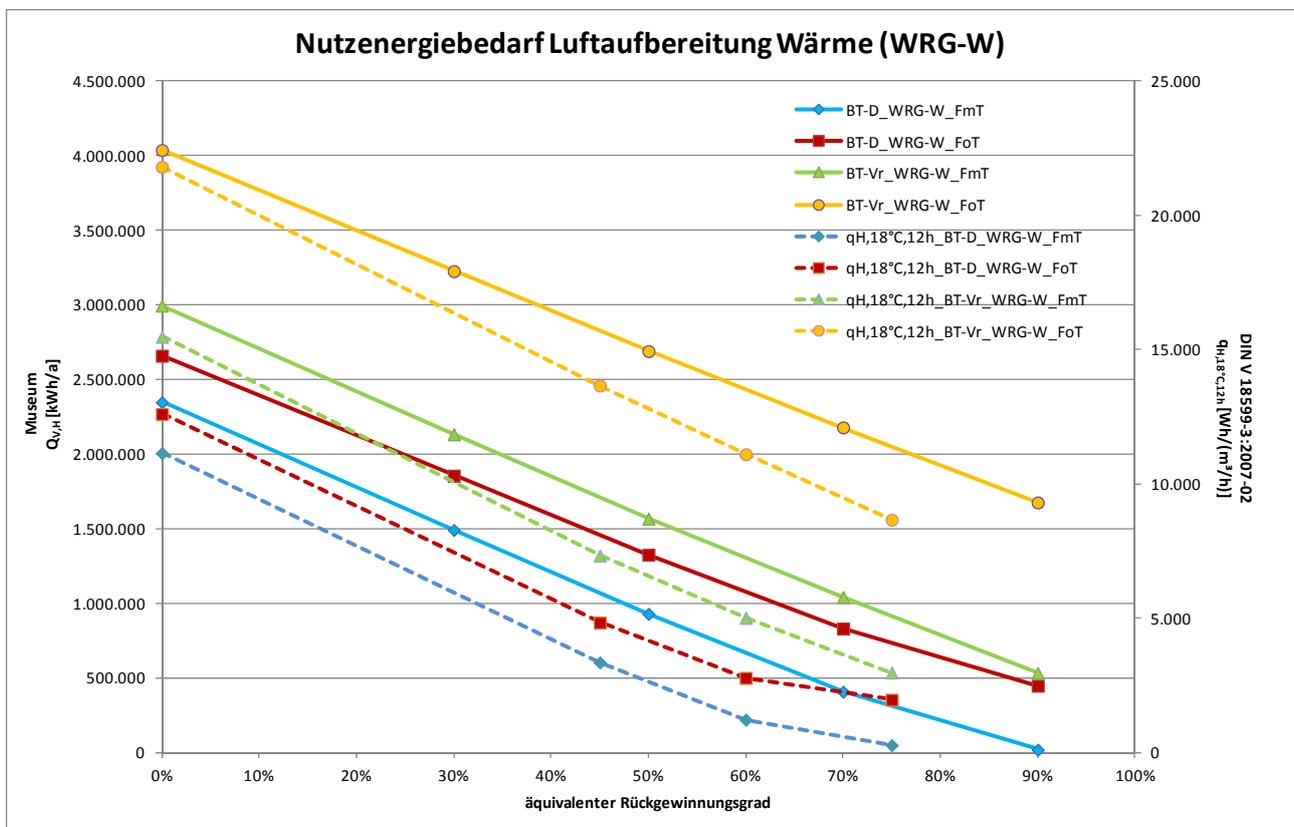
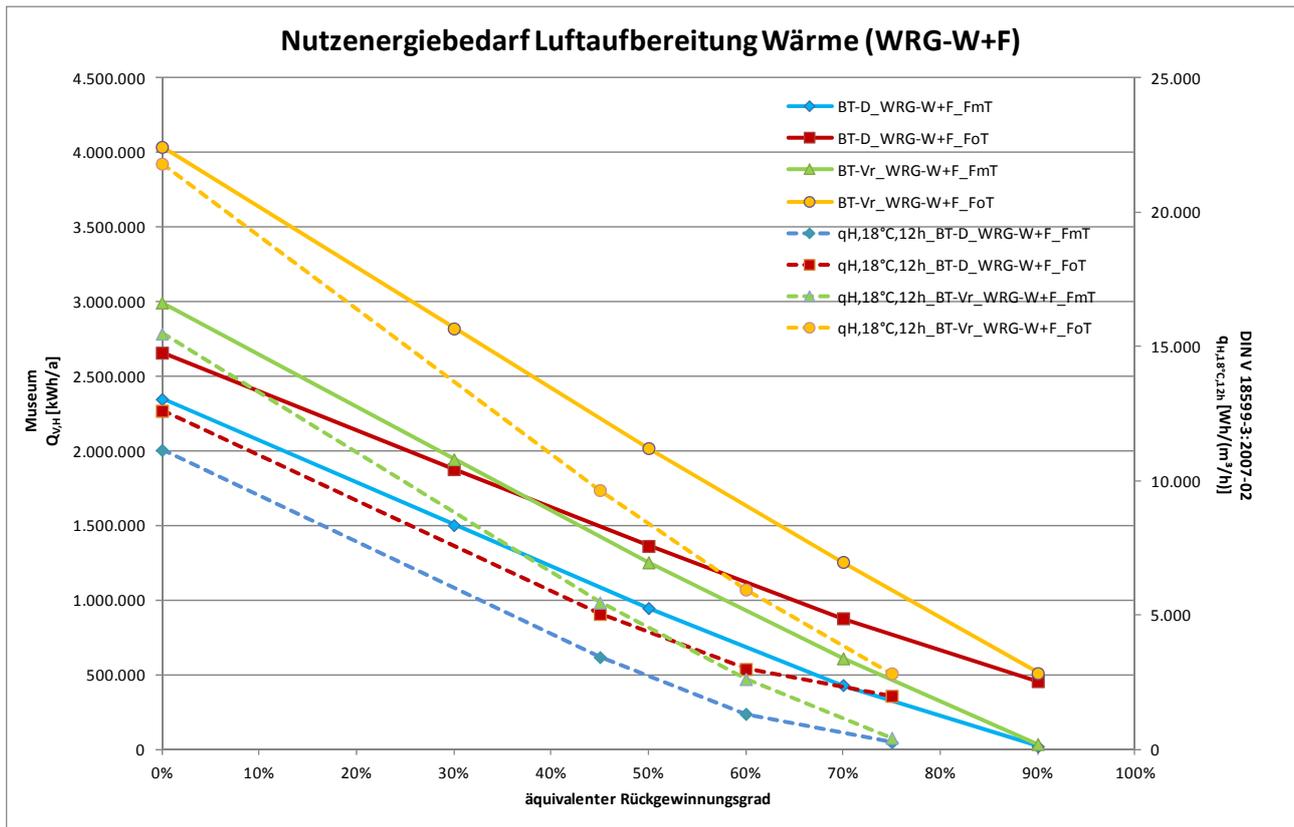
Auch die Berechnung des **Energiebedarfs** zur Luftförderung ist unabhängig vom Umluftanteil, da der gesamte Volumenstrom von den Ventilatoren gefördert werden muss. Unterschiede bei den Druckverlusten werden vernachlässigt.

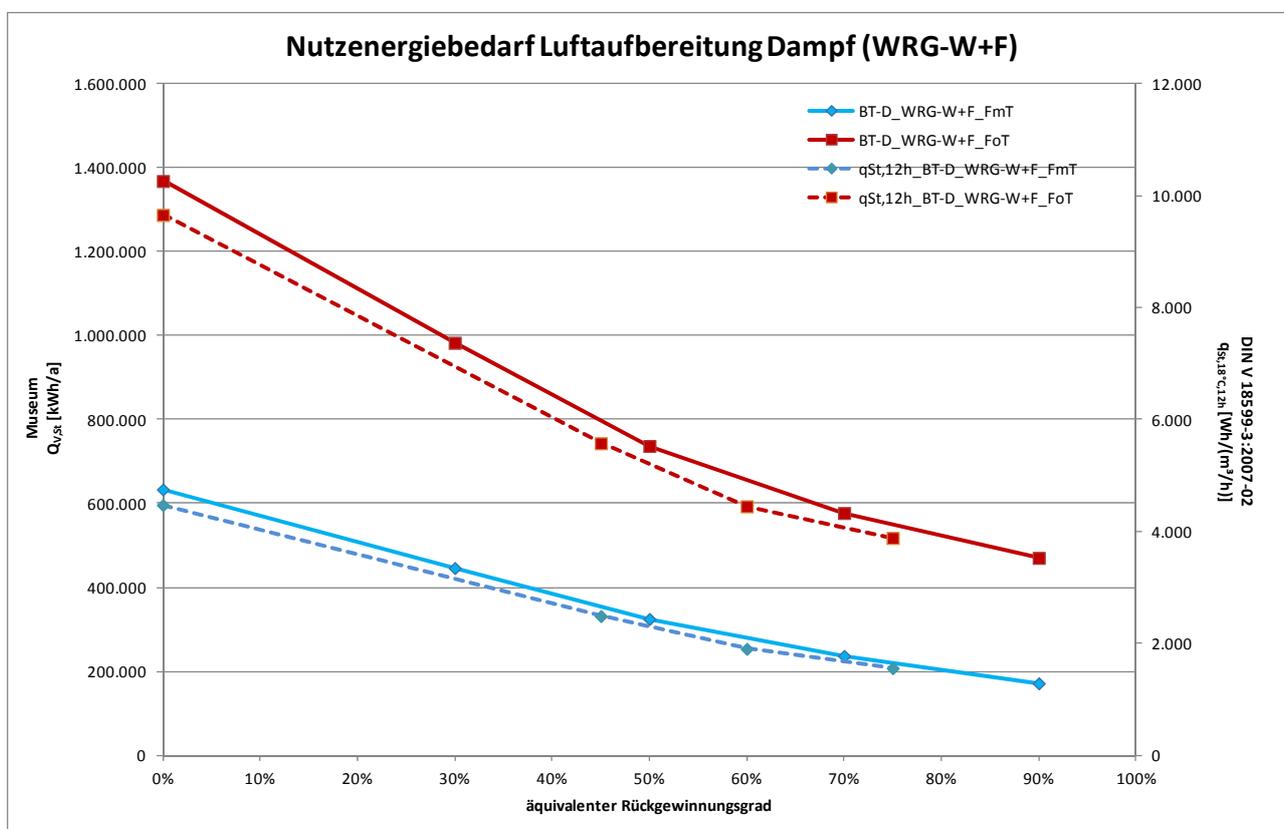
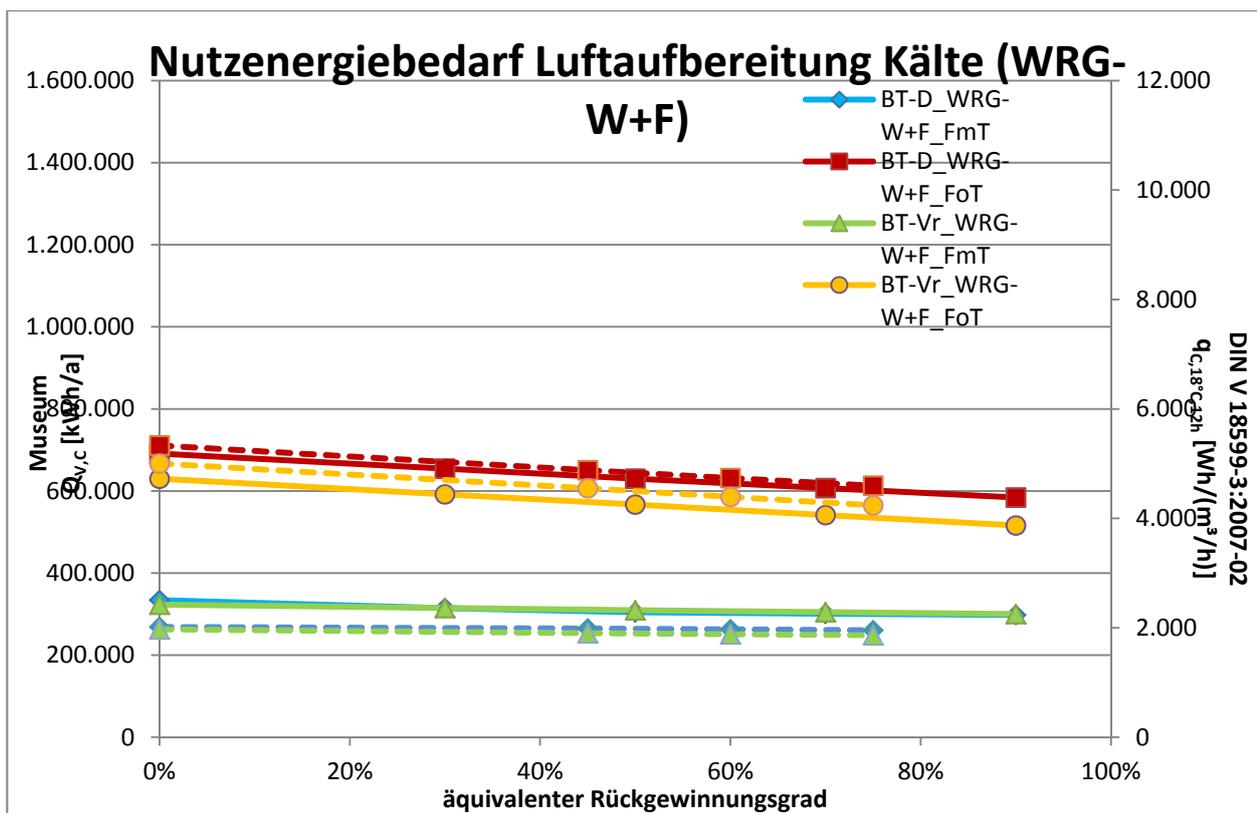
In TEK-5.5 darf kein Umluftanteil eingegeben werden, da ein Fehler in der Berechnung enthalten ist. Die resultierende Rückwärmzahl ist im Feld Rückgewinnungsgrad einzugeben. In das Bemerkungsfeld muss der codierte Eintrag [Umluft; nn%].

3.5.3 Überprüfung der Berechnung

In den nachfolgenden Grafiken ist beispielhaft für den Fall eines Museums die Abhängigkeit des Nutzenergiebedarfs Luftaufbereitung (jeweils auf der linken y-Achse) nach TEK-Tool Version 6.03 in Abhängigkeit des äquivalenten Rückgewinnungsgrads aufgetragen, im Vergleich dazu der Verlauf der normierten Energiekennwerte nach DIN V 18599-3:2007-02 Tabelle A.1.

Es zeigt sich, dass der qualitative Verlauf von Berechnungsergebnissen aus TEK mit den modifizierten bzw. extrapolierten Berechnungsansätzen mit dem der zugrunde liegenden normierten Energiekennwerte übereinstimmt.





Gegenüber der Berechnung mit TEK-5.5 können sich ab TEK 6.03 insbesondere bei Dampfbeheizung deutliche Unterschiede ergeben.

3.6 Betriebstage bei mehrstufigen Anlagen

Bei mehrstufiger Betriebsweise von RLT-Anlagen, muss für unterschiedliche Folgeberechnungen eine mittlere Betriebszeit der Anlage ermittelt werden. Zur Ermittlung der mittleren Betriebsstunden pro Tag wird die Gesamtbetriebszeit durch eine mittlere Anzahl von Betriebstagen dividiert.

$$\text{Gl. 3-8} \quad h_m = \frac{a_{ges}}{d_m}$$

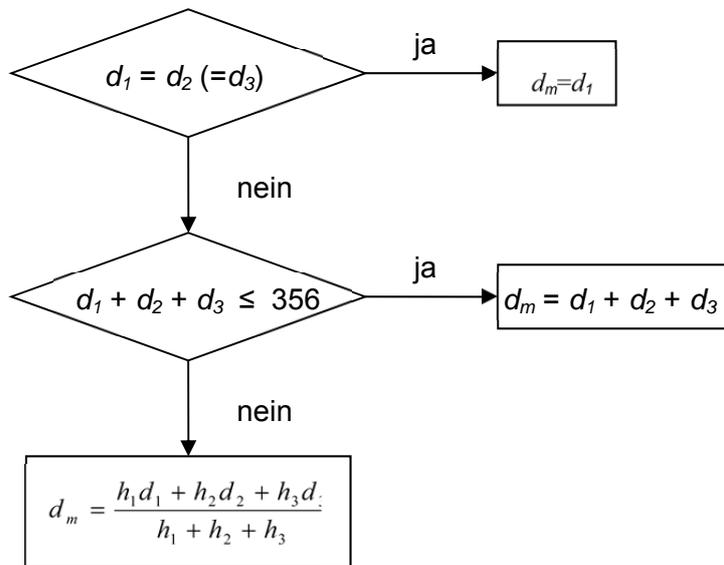
mit

h_m	h/d	Mittlere tägliche Betriebsstunden
a_{ges}	h/a	Gesamt jährliche Betriebsstunden
d_m	d/a	Mittlere jährliche Betriebstage

Die Gesamtbetriebszeit im Jahr a_{ges} kann aus den Angaben im Eingabeblatt RLT-Anlagen aus den Angaben für die drei Stufen berechnet werden. Zur Bestimmung der täglichen Betriebszeit h_m müssen die mittleren jährlichen Betriebstage d_m bestimmt werden. Bei der Ermittlung der mittleren jährlichen Betriebstage werden drei Varianten unterschieden:

1. Tagessymmetrisches Profil: Es wird für alle Betriebstage (z.B. 250 d/a) die Anzahl von Stunden pro Tage angegeben, in denen die Lüftungsanlage auf den unterschiedlichen Stufen betrieben wird. (h/d = variabel; d/a = konstant). Für diesen Fall sind die Betriebstage für alle Stufen gleich und müssen nicht berechnet werden.
2. Wochensymmetrisches Profil: Es sind sowohl die Stunden pro Tag als auch die Tage pro Jahr variabel (z.B.: 100 % für 2 h/d an 200 d/a; 50 % an 5 h/d an 250 d/a). Die Summe der Betriebstage ist größer als 365 d/a. Es wird ein über die h/d gewichteter Mittelwert der Betriebstage berechnet.
3. Jahressymmetrische Profil: Es werden die Stunden pro Tag an unterschiedlichen Betriebstagen angegeben (h/d=konstant pro Tag; d/a = variabel). Die Gesamtbetriebstage sind in dem Fall die Summe der Betriebstage der Stufen.

Die Berechnung der mittleren Betriebstage ist in folgendem Flussdiagramm dargestellt.



mit

d_i	d/a	Betriebstage auf Stufe i
h_i	h/d	Tägliche Betriebsstunden auf Stufe i

3.7 Abbilden von RLT-Anlagen

- Beim Strombedarf des Gebäudes werden nur RLT-Anlagen berücksichtigt, die einer Zone zugeordnet sind
- Eine RLT-Anlage kann gelöscht werden. In dem Fall wird die Zuordnung zu einer Zone im Tabellenblatt „2.5_in_Zone-Nutzungseinheit“ ebenfalls gelöscht. Damit die Berechnung funktioniert, muss der Zone eine neue RLT-Anlage zugeordnet werden, oder Fensterlüftung gewählt werden.
- Bei einer gerichteten Gebäudedurchströmung zählen Zulufräume mit Außenwanddurchlässen (oder Fenstern) zur mechanisch belüfteten Fläche.
- Bei RLT + Fenster wird über Fensterlüftung der Außenluftvolumenstrom ergänzt, der gegenüber dem hygienischen Mindestaußenluftvolumenstrom der DIN V 18599 beim mechanischen Außenluftvolumenstrom fehlt. Entspricht der mechanische Volumenstrom dem Mindestaußenluftvolumenstrom oder liegt er darüber, wird lediglich eine zusätzliche Fensterlüftung nach DIN V 18599 Teil 2 berücksichtigt.
- Bei RLT (Ventilator) wird kein Fensterluftwechsel berücksichtigt. In dem Fall kann der Volumenstrom in einer Zone unter dem Mindestvolumenstrom nach DIN V 18599 liegen.

3.7.1 Mehrere RLT-Anlagen für eine Zone

Einer Zone kann nur eine Lüftungsanlage zugeordnet werden. Wird eine Zone von mehreren RLT-Anlagen versorgt oder sollen mehrere RLT-Anlagen einer Zone zugeordnet werden um die Anzahl der erforderlichen Zonen zu reduzieren, müssen RLT-Anlagen zusammengefasst werden. Sie hierzu Abschnitt 3.7.2.

3.7.2 Zusammenfassen von Lüftungsanlagen

Für die folgenden Aussagen wird davon ausgegangen, dass die Luftbehandlungsfunktionen der RLT-Anlagen, die zusammengefasst werden sollen, identisch sind. Die folgenden Aussagen beziehen sich also auf die Berechnung des elektrischen Energiebedarfs zur Luftförderung.

Weisen die RLT-Anlagen unterschiedliche Luftbehandlungsfunktionen auf, muss der Fehler beim Nutzenergiebedarf Luftaufbereitung (Wärme, Kälte, Dampf) abgeschätzt und gegebenenfalls auf eine Zusammenfassung verzichtet werden. Beachtet werden müssen dabei der Zuluftvolumenstrom und die Betriebszeit.

3.7.2.1 Gleiche Betriebszeiten

Weisen die RLT-Anlagen die gleichen Betriebszeiten auf, so müssen folgende Größen addiert werden:

- Nennvolumenstrom Zuluft
- Nennvolumenstrom Abluft
- Nennleistung Zuluft
- Nennleistung Abluft.

3.7.2.2 Unterschiedliche Betriebszeiten

Weisen die RLT-Anlagen unterschiedliche Betriebszeiten auf, wird über das Zusammenfassen in der Regel ein Fehler gemacht. Dies liegt an dem nichtlinearen Zusammenhang zwischen Volumenstrom und Ventilatorleistung. Der Fehler ist jeweils individuell zu prüfen.

Für eine erste Abschätzung sollen kleinere Anlagen einer großen Anlage zugeordnet werden. Für ein so zusammengefasstes System müssen auch hier zunächst folgende Größen addiert werden:

- Nennvolumenstrom Zuluft
- Nennvolumenstrom Abluft
- Nennleistung Zuluft
- Nennleistung Abluft.

Die unterschiedlichen Betriebszeiten können über unterschiedliche Betriebszeitstufen abgebildet werden.

Stufe 1 (Auslegung): Zeitraum in der alle zusammengefassten Anlagen im Nennvolumenstrom laufen.

Stufen 2 und 3: Die elektrische Leistung (Summe Zu+Abluftventilator) der Stufe ist durch Modifikation des Volumenstroms so einzustellen, dass die tatsächliche Leistungsaufnahme der RLT-Anlagen in dem beschriebenen Zeitraum abgebildet wird. Da ein nichtlinearer Zusammenhang zwischen elektrischer Ventilatorleistung und Volumstrom besteht, wird der Volumenstrom nicht

dem tatsächlichen Zustand entsprechen. Hierdurch wird ein Fehler bei der Nutzenergie Luftaufbereitung hervorgerufen.

Die Betriebszeit ist so zu wählen, dass der zusätzliche Zeitraum abgebildet wird. Die Betriebszeit der höheren Stufen ist entsprechend abzuziehen.

Beispiel:

Die folgenden zwei Anlagen

Erfassungblatt RLT/Lüftungsanlage

7 Restaurierungsbereich

Nummer Lüftungsanlage	17			
Bezeichnung RLT-Anlage	7 Restaurierungsbereich		Heiz - / Kühlregister	Heizregister
Baujahr	1989			
	Zuluft	Abluft		
Nennvolumenstrom [m³/h]	12.860,00	13.430,00	Feuchteanforderung	keine
elektrische Nennleistung [kW]	15,00	9,00	Befeuchtertyp	keiner
Umluftanteil [%]			WRG - Typ	keine
Volumenstromregelung	konstant		WRG - Rückgewinnung	-

Erläuterung

Abluft manuell geschaltet; Leistung mit 60 % der Zuluftleistung angenommen (Raumabluft und Abluft Wässerungsbecken laufen immer)

	100%	elektrische Leistung in [kW]	Stund. pro Tag	Tage pro Woche	Wochen pro Jahr	Verbrauch pro Jahr [kWh/a]
1. Stufe (Auslegung)	100%	24,00	11	5	50,0	66000
2. Stufe		0,00				0
3. Stufe (Min)		0,00				0
gesamt						66000

17 Schnüffelabluft

Erfassungblatt RLT/Lüftungsanlage

Nummer Lüftungsanlage	13			
Bezeichnung RLT-Anlage	17 Schnüffelabluft		Heiz - / Kühlregister	Heizregister
Baujahr	1990			
	Zuluft	Abluft		
Nennvolumenstrom [m³/h]		400,00	Feuchteanforderung	keine
elektrische Nennleistung [kW]		0,42	Befeuchtertyp	keiner
Umluftanteil [%]			WRG - Typ	keine
Volumenstromregelung	konstant		WRG - Rückgewinnung	-
Zuluft bei Abluftanlagen	Überströmung aus anderen Zonen			
Erläuterung				

	elektrische Leistung in [kW]	Stund. pro Tag	Tage pro Woche	Wochen pro Jahr	Verbrauch pro Jahr [kWh/a]	
1. Stufe (Auslegung)	100%	0,42	24	7	52,1	3679
2. Stufe		0,00				0
3. Stufe (Min)		0,00				0
gesamt						3679

Werden zusammengefasst zu

7/17 Restaurierungsbereich+ Schnüfeli

Erfassungblatt RLT/Lüftungsanlage

Nummer Lüftungsanlage	7			
Bezeichnung RLT-Anlage	7/17 Restaurierungsbereich+Schnüffelabluft		Heiz - / Kühlregister	Heizregister
Baujahr	1989			
	Zuluft	Abluft		
Nennvolumenstrom [m³/h]	12.860,00	13.830,00	Feuchteanforderung	keine
elektrische Nennleistung [kW]	15,00	9,42	Befeuchtertyp	keiner
Umluftanteil [%]			WRG - Typ	keine
Volumenstromregelung	variabel (Zeit oder Nutzung)		WRG - Rückgewinnung	-
Erläuterung	Zusammenfassung von Anlage 7 Restaurationsbereich und Anlage 17 Schnüffelabluft Schnüffelabluft ist konstant betriebene Abluftanlage mit Ventilatorleistung von 0,42 kW und Nennvolumenstrom von 400 m³/h			

	elektrische Leistung in [kW]	Stund. pro Tag	Tage pro Woche	Wochen pro Jahr	Verbrauch pro Jahr [kWh/a]	
1. Stufe (Auslegung)	100%	24,42	11	5	50,0	67155
2. Stufe	4%	0,42	16	7	52,1	2531
3. Stufe (Min)		0,00				0
gesamt						69686

3.7.3 Eingabe der Betriebszeit

Die Betriebszeit der RLT-Anlage kann für drei Ventilatorstufen eingegeben werden. Die definierte Betriebszeit muss in sinnvollem Zusammenhang zur Volumenstromregelung stehen. Folgende Zulässigkeiten sind unbedingt zu beachten:

- Volumenstromregelung: konstant oder variabel (kühllastabhängig) – Angaben nur in Stufe 1
- Volumenstromregelung: variabel (Zeit oder Nutzung) – Angaben mindestens in Stufe 1 und 2.

Die drei Betriebszeitstufen werden also nur bei einer Volumenstromregelung variabel (Zeit oder Nutzung) genutzt. Eingegeben werden muss je Stufe

- der Volumenstrom als Prozent des Nennvolumenstroms
- die Betriebszeit in Stunden pro Tag
- die Betriebstage: Tage pro Woche und Wochen pro Jahr. Hieraus werden die Tage pro Jahr ermittelt.

Folgende Eingaben sind möglich:

1. Mehrere Zeitabschnitte pro Tag bei jeweils gleichen Betriebstagen

		elektrische Leistung in [kW]	Stund. pro Tag	Tage pro Woche	Wochen pro Jahr
1. Stufe (Auslegung)	100%	37,00	8	7	44,0
2. Stufe	40%	7,34	4	7	44,0
3. Stufe (Min)	20%	3,14	7	7	44,0

In dem Fall werden als Laufzeit der RLT-Anlage die eingegebenen Betriebstage pro Jahr der Stufe 1 verwendet. Die Stunden pro Tag ergeben sich als Mittelwert.

$$d_{op,a} = d_{op,w,1} \cdot n_{op,w/a,1}$$

$$t_{v,op,d} = \frac{\sum_{x=1}^3 t_{op,d,x} \cdot d_{op,w,x} \cdot n_{op,w/a,x}}{d_{op,a}}$$

mit

$d_{op,a}$	h/a	Jährliche Betriebstage der RLT-Anlage
$d_{op,w,x}$	h/w	Betriebstage pro Woche auf Stufe x
$n_{op,w/a,x}$	w/a	Betriebswochen pro Jahr auf Stufe x
$t_{v,op,d}$	h/d	Tägliche Betriebsstunden der RLT-Anlage
$t_{op,d,x}$	h/d	Tägliche Betriebsstunden der RLT-Anlage auf Stufe x

2. Mehrere Zeitabschnitte pro Jahr mit unterschiedlicher Stundenzahl pro Tag und Betriebstagen pro Jahr, wobei die Summe der Betriebstage 365 nicht übersteigt.

		elektrische Leistung in [kW]	Stund. pro Tag	Tage pro Woche	Wochen pro Jahr
1. Stufe (Auslegung)	100%	37,00	8	5	30,0
2. Stufe	40%	7,34	4	2	10,0
3. Stufe (Min)	20%	3,14	7	7	6,0

In dem Fall wird für die Laufzeit der RLT-Anlage die Summe der Betriebstage angesetzt. Die Stunden pro Tag ergeben sich aus den Stunden pro Jahr dividiert durch die Betriebstage.

$$d_{op,a} = \sum_{x=1}^3 d_{op,w,x} \cdot n_{op,w/a,x}$$

$$t_{v,op,d} = \frac{\sum_{x=1}^3 t_{op,d,x} \cdot d_{op,w,x} \cdot n_{op,w/a,x}}{d_{op,a}}$$

3. Mehrere Zeitabschnitte pro Jahr mit unterschiedlicher Stundenzahl pro Tag und Betriebstagen pro Jahr, wobei die Summe der Betriebstage über 365 liegt.

		elektrische Leistung in [kW]	Stund. pro Tag	Tage pro Woche	Wochen pro Jahr
1. Stufe (Auslegung)	100%	37,00	4	5	50,0
2. Stufe	40%	7,34	6	5	50,0
3. Stufe (Min)	20%	3,14	3	2	6,0

In dem Fall werden zur Ermittlung der Betriebstage der RLT-Anlage die Stunden pro Jahr durch die Summe der Stunden pro Tag dividiert, jedoch maximal 24 h/d. Die Stunden pro Tag ergeben sich aus der den Stunden pro Jahr dividiert durch die Betriebstage.

$$d_{op,a} = \frac{\sum_{x=1}^3 t_{op,d,x} \cdot d_{op,w,x} \cdot n_{op,w/a,x}}{\text{Min}(24; \sum_{x=1}^3 t_{op,d,x})}$$

$$t_{v,op,d} = \text{Min}(24; \sum_{x=1}^3 t_{op,d,x})$$

3.8 Lüftungswärmesenken und -quellen

Wie in DIN V 18599-2:2007-2 Kap. 6.3 beschrieben, ist die Berechnung der Lüftungswärmesenken und -quellen umgesetzt. Dies führt allerdings auch zu dem Ergebnis, dass eine RLT-Anlage ohne Luftbehandlungsfunktionen, mit dem hygienisch notwendigen Mindestluftwechsel und der Betriebszeit $t_{v,mech}$ gleich der Zonennutzungszeit t_{nutz} im Vergleich zu einer identischen Zone mit Fensterlüftung bei den Endenergiekennwerten nahezu gleich abschneidet, aber die zugehörige, maximale Heizleistung unter Berücksichtigung der mechanischen $\dot{Q}_{h,max,res}$ deutlich höher liegt als $\dot{Q}_{h,max}$ in der Vergleichsrechnung mit Fensterlüftung. Die maximale Heizleistung in der Gebäudezone wird nach Anhang B der DIN V 18599-2:2007-02 berechnet. Vermutlich ist das im praktischen Sinne plausibel, da bei sehr niedrigen Außentemperaturen Fenster eher geschlossen sind, eine Lüftungsanlage aber weiter laufen kann.

Die zonenweisen Vollbenutzungszeiten liegen mit Lüftungsanlage deutlich niedriger als bei Fensterlüftung, weil diese aus Energiekennwerten und Leistungskennwerten abgeleitet wird.

3.9 Standardwerte

Für die Berechnung werden folgende Standardwerte verwendet:

Bezeichnung	F.z.	Quelle	Beschreibung
Druckverhältniszahl	f_p	18599-7	0,4 (Regelung des Ventilators nach konstantem Vordruck)
Kaltwasser Vor- und Rücklauftemperatur Kühlregister		18599-7; Tab. 3.1	6°C/12°C

4 Beleuchtung (DIN 18599 – Teil 4)

Der Energiebedarf für die Beleuchtung wird in EnerCalC entsprechend der DIN V 18599 Teil 4 berechnet. Jeder Zone kann nur eine Beleuchtungsanlage zugeordnet werden. Beleuchtungsanlagen können im objektspezifischen Erfassungsmodus aber verschiedene Beleuchtungssysteme / Lampenarten abbilden.

4.1 Automatisch angelegte Tageslichtbereiche

Die Tageslichtbereiche werden je Orientierung abhängig von der Fensterfläche und der Zonenfläche automatisch generiert. Hierzu wird das in [Lichtmeß 2010] dargestellte Verfahren verwendet.

4.2 Spezifische Bewertungsleistung

Zur Ermittlung der spezifischen Bewertungsleistung der Beleuchtung gibt es zwei Verfahren

a) Berechnung

In dem Fall wird das Tabellenverfahren der DIN V 18599-4:2007-02 verwendet. Dabei werden als Wartungsfaktor die in der EnEV 2009 definierten Werte verwendet.

b) objektspezifische

Die installierte Leistung wird ermittelt, indem für eine repräsentative Teilfläche die installierte Lampenleistung ermittelt wird. In diesem Modus können verschiedene Beleuchtungssysteme / Lampenarten pro Beleuchtungsanlage abgebildet werden. Z.B. können besonderen Nutzungszonen eine allgemeine Raumbeleuchtung und zusätzlich dekorative Beleuchtungselemente zugewiesen werden. Die für jedes Beleuchtungssystem / Lampenart typische zusätzliche Verlustleistung von Vorschaltgeräten bzw. Transformatoren wird durch Multiplikation mit dem Faktor k_{GB} entsprechend Tabelle 5 der DIN V 18599 Teil 4 bestimmt.

4.3 Vollbetriebszeit

Die Berechnung folgt den Algorithmen der DIN V 18599-4:2007-02.

5 Anlagen für Heizung und Warmwasser (DIN 18599 – Teil 5 und 8)

Die Berechnung des Bilanzinflusses der Anlagen für Heizung und Warmwasser erfolgt auf der Grundlage der DIN V 18599-5:2007-02 und DIN V 18599-8:2007-02, wobei bei der Bestimmung der einzelnen Bilanzanteile Vereinfachungen in unterschiedlichem Umfang umgesetzt werden. Erläutert wird im Folgenden die Berechnung

- der thermischen Verluste der Wärmeverteilung und deren Zuweisung zu den Zonen
- der elektrische Energieaufwand für die Verteilung
- die Berücksichtigung der Wärmeübergabe und Speicherung
- die Bewertung der Wärmeerzeuger sowie
- die Ermittlung der Hilfsenergie der Erzeuger.

5.1 Wärmeverteilung

Die Wärmeverluste der Heizungs- und Warmwasserverteilung werden nach den Verfahren der DIN V 18599-5:2007-02 und DIN V 18599-8:2007-02 berechnet. Dabei werden folgende Vereinfachungen verwendet:

- Die Berechnung der Heizungsverteilung erfolgt für das gesamte Gebäude. Für die Warmwasserverteilung wird innerhalb Nutzungseinheiten keine Unterscheidung zwischen den einzelnen Zonen vorgenommen.
- Es wird ein typischer saisonaler Verlauf für die Belastung des Verteilnetzes angesetzt.
- Die unregelmäßigen Wärmeeinträge der Verteilverluste von Heizung und Warmwasser werden flächenanteilig allen konditionierten Zonen zugeordnet.

5.1.1 Gebäudeübergreifende Berechnung

Die Datenerfassung erfolgt auf Gebäudeebene. Liegen in unterschiedlichen Nutzungseinheiten verschiedene Systeme vor (z.B. unregelmäßige Pumpen und geregelte Pumpen), so ist die überwiegende Art zu wählen. Das Gleiche gilt für die Betriebsweise (Nacht- und Wochenendabschaltung). In der Regel werden Gebäude jedoch überwiegend einheitliche Systeme aufweisen.

Länge der Verteilungen: In TEK wird die Länge der Heizungs- und Warmwasserverteilung entsprechend DIN V 18599-100:2009-10 berechnet. Dieser Ansatz entspricht weitgehend der Berechnung nach DIN V 4701-10.

Für die unregelmäßigen Wärmeeinträge wird ein Summenwert der Heizungs- bzw. Warmwasserverteilung für das gesamte Gebäude berechnet. Dieser wird in einen flächenspezifischen Wert umgewandelt. Durch Multiplikation mit den jeweiligen Zonenflächen werden die unregelmäßigen Einträge je Zone berechnet. Berücksichtigt werden unregelmäßige Wärmeeinträge dabei nur in Zonen, die von einem zentralen Wärmeerzeuger (Heizung bzw. Warmwasser) versorgt werden. Auf diesem Weg wird die Größe des Verteilnetzes indirekt an das Heizsystem des Gebäudes angepasst.

Die **Länge der Warmwasserverteilung** kann je Nutzungseinheit in drei Stufen definiert werden. Jeder Stufe ist ein Reduktionsfaktor zugeordnet, der die Länge der Verteilungen in Bezug zur Länge bei vollständiger Warmwasserversorgung der Nutzungseinheit angibt:

Umfang der Warmwasserversorgung	Reduktionsfaktor
gesamte Nutzungseinheit	1
etwa 50 % der Nutzungseinheit	0,6
einzelne Zapfstellen	0,25

Aus den Reduktionsfaktoren der jeweiligen Nutzungseinheiten wird ein mittlerer Reduktionsfaktor für die von zentralen Wärmeerzeugern mit Warmwasser versorgten Flächen des Gebäudes berechnet. Mit dem Reduktionsfaktor werden die Wärmeverluste der WW-Verteilung sowie der Strombedarf der WW-Pumpen multipliziert.

Da die Berechnung der Wärmeverluste des Warmwasserverteilnetzes gebäudebezogen durchgeführt wird, die **Nutzungszeiten** für die Warmwasserbereitung aber für bis zu fünf Nutzungseinheiten definiert werden können, müssen aus diesen Werten Mittelwerte für das Gebäude berechnet werden. Dies geschieht wie folgt:

Warmwasser:

Für die Nutzungseinheiten mit Warmwasserbedarf werden sowohl die „Nutzungsstunden pro Jahr“ als auch die „Nutzungsstunden pro Tag“ flächengewichtet gemittelt, wobei nur Nutzungseinheiten mit zentralem Wärmeerzeuger unter Ansatz der Reduktionsfaktoren für die Länge der Verteilungen berücksichtigt werden.

Aus den Mittelwerten für Nutzungsstunden pro Jahr und Nutzungsstunden pro Tag wird die mittlere Anzahl der Nutzungstage pro Jahr bestimmt.

Heizung

Für die Betriebszeit der Heizungsverteilung werden ein Mittelwert für die „Betriebsstunden pro Tag“ und ein Mittelwert für die „Betriebstage pro Jahr“ ermittelt. Die Mittelwerte werden durch eine flächengewichtete Mittelung der Heizungsbetriebszeiten der Zonen innerhalb der thermischen Gebäudehülle bestimmt. Die Betriebstage der Heizung pro Jahr entsprechen den Nutzungstagen der Zone, die Betriebsstunden pro Tag entsprechen den Nutzungsstunden der Zone zuzüglich 2 Stunden für die Aufheizzeit.

Der Fehler durch diese Vereinfachung ist gering, da die Nutzungszeit linear in die Berechnung der Wärmeverluste eingeht (siehe Abbildungen unten). Die Verwendung des Mittelwertes in der Berechnung führt bei sonst gleichen Ausprägungen der Systeme zu keinem Fehler.

Deutlichere Abweichungen von der detaillierten Berechnung der Betriebszeiten sind zu erwarten, wenn unterschiedlich effiziente Pumpen oder Dämmstandards in den Nutzungseinheiten realisiert sind.

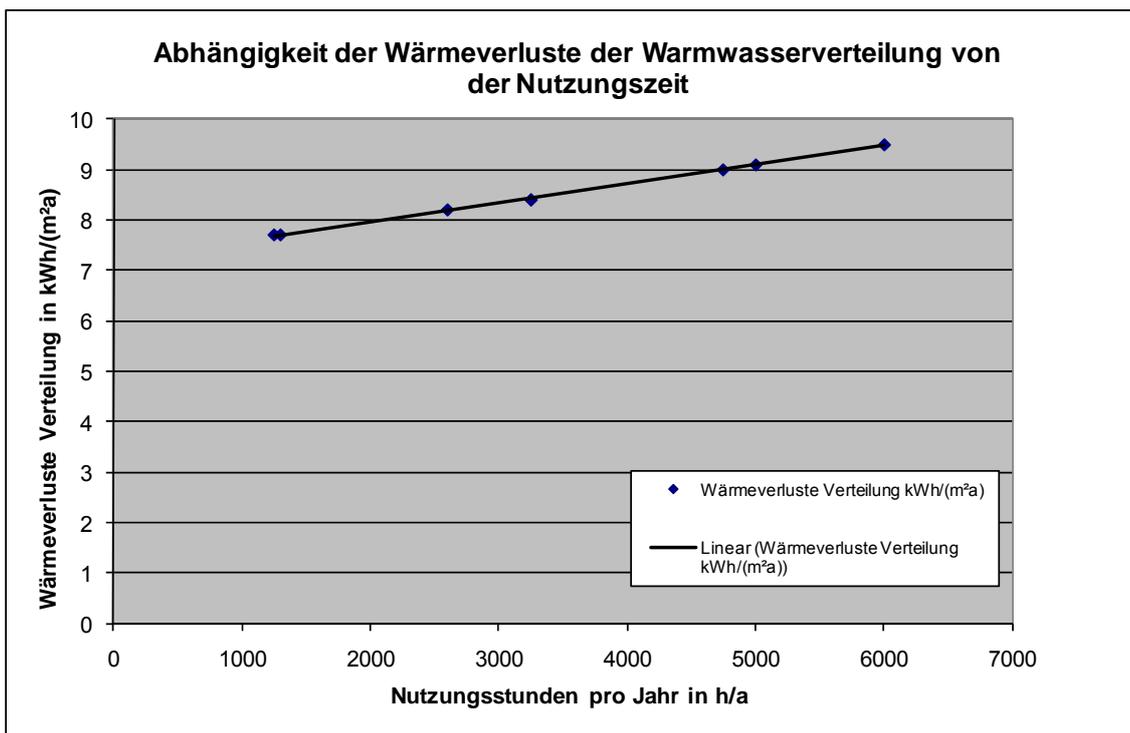


Abbildung 5-1: Abhängigkeit der Wärmeverluste der Warmwasserverteilung von der Nutzungszeit

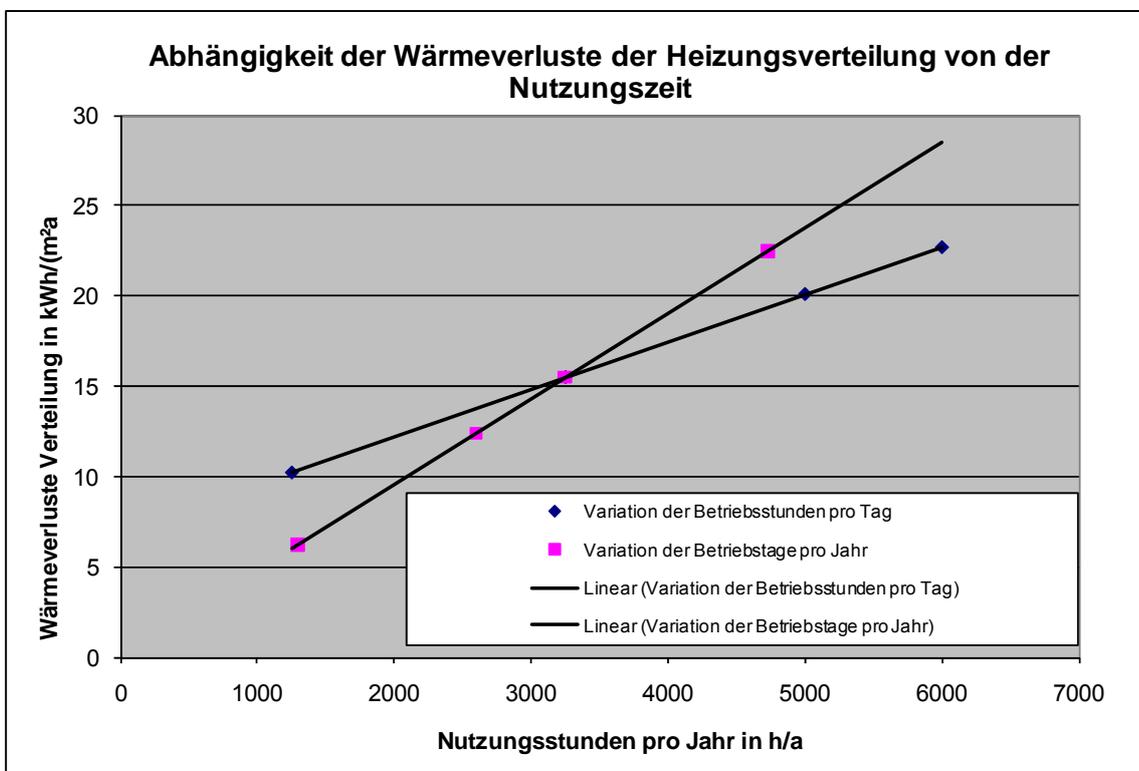


Abbildung 5-2: Abhängigkeit der Wärmeverluste der Heizungsverteilung von der Nutzungszeit

5.1.2 Belastung der Heizungsverteilung

Um in der Monatsbilanz die Beeinflussung des Ausnutzungsgrades durch die unregelmäßigen Wärmeeinträge der Verteilung berücksichtigen zu können, werden die Verteilverluste über einen typischen Jahresgang der Belastung abgeschätzt, der sich aus dem Verlauf der Außentemperatur ergibt. Auf diese Weise können die Verteilverluste vor der Zonenbilanz berechnet und dort berücksichtigt werden. Dadurch kann auf eine Iteration im Sinne einer Berechnung nach DIN V 18599 verzichtet werden.

Nicht berücksichtigt wird in diesem Fall eine Reduktion der max. Netztemperatur und damit der Verteilverluste, die sich z.B. durch eine Überdimensionierung von Heizkörpern nach einer energetischen Modernisierung ergibt. Damit die Reduktion der Verteilverluste in der Praxis auch tatsächlich zum Tragen kommt, muss die Heizkurve jedoch nach einer Modernisierung entsprechend angepasst werden. Ob und wie häufig dies in der Praxis geschieht, ist nicht bekannt. Es wird jedoch vermutet, dass dies eher die Ausnahme ist. Zudem müssten im Rahmen der Datenaufnahme die Heizkurven der Wärmeerzeuger ermittelt und ausgewertet werden. Für die hier angestrebte Schwachstellenanalyse ist der Zeitaufwand hierfür in Bezug auf die energetischen Auswirkungen zu hoch. Auf die Abbildung dieses Effektes wird entsprechend verzichtet.

5.1.3 Flächenanteilige Zuordnung unregelmäßiger Wärmeeinträge zu den Zonen

Die in den Zonen freigesetzten unregelmäßigen Wärmeeinträge der Heizungs- und Warmwasserverteilung werden flächenanteilig den Zonen zugeordnet, die über zentrale Wärmeerzeuger mit Heizwärme bzw. Warmwasser versorgt werden.

Zonen, die über dezentrale Wärmeerzeuger beheizt werden, erhalten somit keine unregelmäßigen Wärmeeinträge aus der zentralen Heizungsverteilung.

In analoger Weise erhalten nur die Zonen unregelmäßige Wärmeeinträge aus der Warmwasserverteilung, deren zugeordnete Nutzungseinheit von einem zentralen Wärmeerzeuger mit Warmwasser versorgt wird.

Die von den zentralen Wärmeerzeugern bereitzustellenden Wärmemengen für die Verluste der Heizung und Warmwasserverteilung werden bestimmt, indem die ebenfalls aus dem gebäudebezogenen flächenspezifischen Wärmeverlust in kWh/(m²a) (inklusive der Verluste im unbeheizten Bereich) mit der Fläche der von zentralen Wärmeerzeugern mit Heizung oder Warmwasser versorgten Zonen multipliziert wird.

5.1.4 Hilfsenergie Wärmeverteilung

Der Hilfsenergieaufwand für die Heizungs- und Warmwasserverteilung wird unter Verwendung der oben gemachten Angaben nach den Rechenalgorithmen der DIN V 18599-5:2007-02 und DIN V 18599-8:2007-02 berechnet.

5.1.5 Standardwerte

Heizung

Bezeichnung	Beschreibung
Art der Heizungsverteilung	Zweirohrnetz
Lage der Heizungs-Steigleitungen	Innenliegend
Vor- und Rücklauftemperatur bei Auslegungsbedingungen	Heizkörper: 70°C / 55°C
Wasserinhalt des Wärmeerzeugers	normal (< 0,15 Liter/KW)
Heizungspumpe auf Bedarf ausgelegt?	nein

Warmwasser

Bezeichnung	Beschreibung
Anordnung der Steigleitungen?	Standard
Mittlere Temperatur des Warmwassernetzes (inkl. Zirkulation)	50°C
Wasserzirkulation vorhanden?	ja
Zirkulationspumpe auf Bedarf ausgelegt?	nein

5.2 Übergabe

Da mit mittleren Raumtemperaturen während der Heizzeit gerechnet wird, wird kein Übergabesystem berücksichtigt. Siehe hierzu auch Abschnitt 2.8.

In Blatt 2.5_in_Zone-Nutzungseinheit kann ein Raumheizsystem für jede Zone gewählt werden. Damit verbundene unterschiedliche Verteilverluste aufgrund verschiedener Vorlauftemperaturen und Hilfsenergieaufwände werden aber bisher auf Basis „Heizkörper“ berechnet.

Im Rahmen einer späteren Überarbeitung des TEK-Tools kann dies noch differenziert werden.

5.3 Speicherung

Es werden keine Speicherverluste berücksichtigt. Im Rahmen der hier durchgeführten Parameterstudie wurde festgestellt, dass der Einfluss der Speicherverluste (Heizungspufferspeicher, Warmwasserspeicher) auf den Endenergiebedarf bei den in der Regel größeren Nicht-Wohngebäuden gering ist. Für den Fall der Büronutzung variiert der Endenergiebedarf z.B. maximal (Gebäude mit 500 m²) um 0,5 kWh/(m²a). Die Speicherverluste werden entsprechend vernachlässigt.

Anders kann die Situation bei Nutzungen mit großem Warmwasserbedarf sein (Sporthallen mit Duschen, Küchen, Krankenhäuser). Für diese Fälle sollten im Rahmen einer späteren Überarbeitung die Speicherverluste abhängig von

- Speicheranzahl und Speichervolumen

- Dämmstandard des Speichers

vereinfacht ermittelt werden.

5.4 Wärmeerzeuger

5.4.1 Deckungsanteil

Eine Zuordnung der Wärmeerzeuger zu den Zonen erfolgt nicht. Bei mehreren Wärmeerzeugern wird der Anteil eines einzelnen Wärmeerzeugers an der gesamten Wärmebereitstellung über Deckungsanteile beschrieben. Hierzu wird jedem Wärmeerzeuger eine der folgenden Klassen mit dem jeweiligen Gewichtungsfaktor $f_{h,weight}$ zugeordnet.

Deckungsanteil an der gesamten Erzeugernutzwärmeabgabe der zentralen Erzeuger für Heizung und Warmwasser (ohne dezentrale Erzeuger)	Gewichtungsfaktor $f_{h,weight}$
-	0
Gering (Spitzenlast)	0,25
Mittel (Parallelbetrieb)	0,5
Hoch (Grundlast)	0,75
Vollständig (monovalent)	1

Aus dem Gewichtungsfaktor $f_{h,weight}$ wird der Deckungsanteil $f_{h,part}$ des Wärmeerzeugers j wie folgt berechnet:

$$\text{Gl. 5-1} \quad f_{h,part,j} = \frac{f_{h,weight,j}}{\sum_j f_{h,weight,j}}$$

mit

$f_{h,part,j}$ - Deckungsanteil des Wärmeerzeugers j

$f_{h,weight,j}$ - Gewichtungsfaktor des Wärmeerzeugers j

Mit der Gewichtung dieser Deckungsanteile wird die gesamte Erzeugernutzwärmeabgabe Heizung auf die einzelnen zentralen Wärmeerzeuger aufgeteilt.

Die Aufteilung der Erzeugernutzwärmeabgabe Warmwasser auf die zentralen Erzeuger wird mit den gleichen Deckungsanteilen vorgenommen.

5.4.2 Aufwandszahlen der Wärmeerzeuger bis TEK 5.5

Die Verluste der Wärmezeugung werden vereinfacht über Erzeugeraufwandszahlen in der TEK-Berechnung berücksichtigt. Die Erzeugeraufwandszahlen sind für typische Wärmeerzeuger unter Berücksichtigung der wichtigsten Einflussparameter auf Grundlage der Berechnungsgleichungen der DIN V 18599:2007 Teil 5 und Teil 8 unter Berücksichtigung der Korrekturen von Teil 100 berechnet. Es wird zur Ermittlung der typischen Erzeugeraufwandszahlen eine umfangreiche Para-

meterstudie mit der Software „Energiepass Helena“ durchgeführt. Bestimmt werden Erzeugeraufwandszahlen für

- Heizung
- Trinkwarmwasserbereitung

sowie die Verluste in kWh/(m²a) für

- Erzeugerhilfsenergie Heizung
- Erzeugerhilfsenergie Warmwasser.

Unterschieden wurde zwischen folgenden Wärmeerzeugern:

- Brennwertkessel: verbessert
- Brennwertkessel: vor 1995 / ab 1995
- Niedertemperaturkessel vor 1995 / ab 1995
- Konstanttemperaturkessel vor 1995 / ab 1995
- Holz-/Pelletkessel
- Fernwärme
- Erdreichwärmepumpe
- Außenluftwärmepumpe.

Im Rahmen der Parameterstudie wurden folgende Parameter variiert:

- Gebäudegröße: Energiebezugsfläche 500 m² / 5.000 m² / 50.000 m²
- Dimensionierung des Kessels: normal / überdimensioniert
- Wärmeschutz des Gebäudes: EnEV 2009 / Altbau
- Nutzung: Büro / Schule / Hotel

Die Ergebnisse sind in Abbildung 5-3 und Abbildung 5-4 dargestellt.

Wichtig: Endenergien werden in Anlehnung an DIN V 18599-1:2007-02 (siehe dort Kap. 5.5.4) immer auf den Brennwert H_s bezogen angegeben.

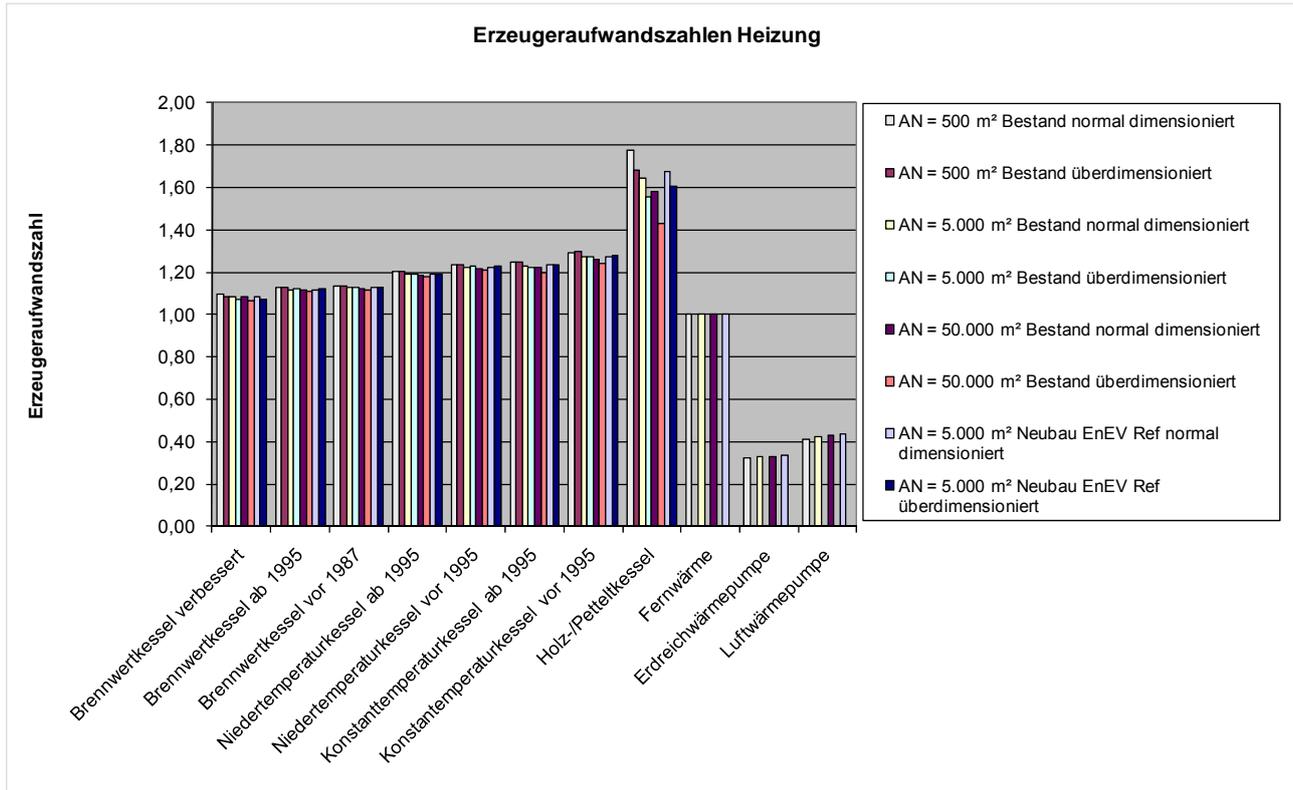


Abbildung 5-3: Im Rahmen der Parameterstudie ermittelte Erzeugeraufwandszahlen Heizung (Bezug: oberer Heizwert H_S)

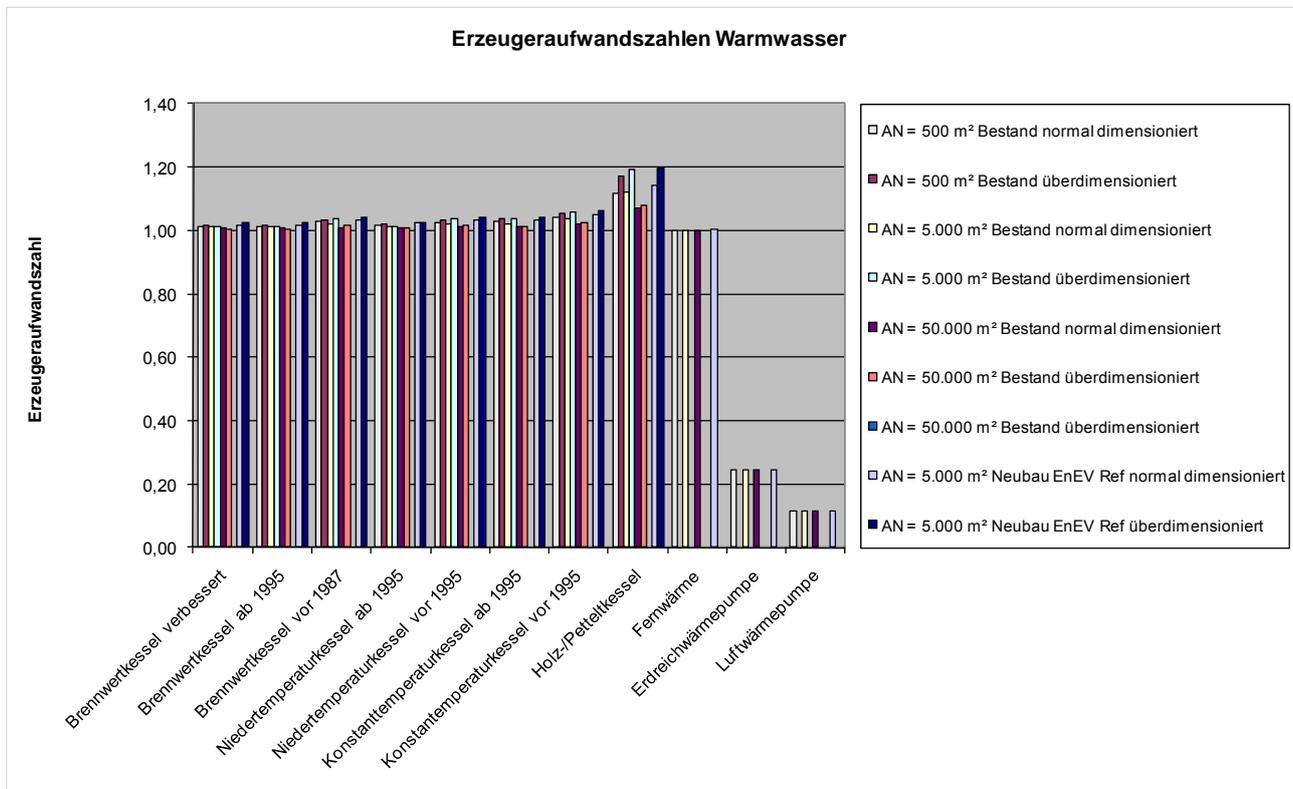


Abbildung 5-4: Im Rahmen der Parameterstudie ermittelte Erzeugeraufwandszahlen Warmwasser (Bezug: oberer Heizwert H_S)

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt interpretieren:

Erzeugeraufwandszahl Heizung

Der wesentliche Einflussfaktor ist die Art des Wärmeerzeugers. Hierdurch wird die Erzeugeraufwandszahl um +/- 60 % verändert. Dimensionierung und Gebäudegröße führen zu einer Modifikation von +/- 2 %. Eine Ausnahme stellt der Holz-/Pelletkessel mit etwa +/- 10 % dar. Der Wärmeschutz des Gebäudes spielt ebenfalls für alle Erzeuger eine untergeordnete Rolle. Die untersuchten unterschiedlichen Nutzungen haben keinen Einfluss auf die Erzeugeraufwandszahl.

Erzeugeraufwandszahl Warmwasser

Die Werte der Erzeugeraufwandszahlen für Warmwasser sind deutlich geringer als die für Heizung. Dies liegt vornehmlich an dem Bilanzansatz der DIN V 18599, der der Warmwasserbereitung nur die zusätzlichen Verluste zuordnet, die sich gegenüber der reinen Heizwärmeerzeugung ergeben. Es ist zu hinterfragen, ob dieser Bilanzansatz für die vorliegende Aufgabenstellung sinnvoll ist. So kann in der Praxis der Fall auftreten, dass ein Wärmeerzeuger ausschließlich für die Warmwasserbereitung eingesetzt wird. Die Differenzbetrachtung ist in dem Fall nicht sinnvoll.

Aber auch unter Berücksichtigung des Bilanzansatzes sind die Erzeugeraufwandszahlen nicht plausibel zu interpretieren. Werte für die Erzeugeraufwandszahl unter 1,08 sind nur mit Brennwertnutzung zu erzielen, was bei einem Niedertemperatur- oder Konstanttemperaturkessel nicht gegeben ist.

Bis diese methodischen Fragen geklärt sind, werden in TEK zunächst für Warmwasser die gleichen Erzeugeraufwandszahlen wie für Heizung angesetzt.

	Erzeugeraufwandszahl	
	Heizung	Warmwasser
Brennwertkessel verbessert (Gas; Heizöl)	1,080	1,080
Brennwertkessel ab 1995 (Gas; Heizöl)	1,119	1,119
Brennwertkessel vor 1995 (Gas; Heizöl)	1,128	1,128
Niedertemperaturkessel ab 1995 (Gas; Heizöl)	1,191	1,191
Niedertemperaturkessel vor 1995 (Gas; Heizöl)	1,226	1,226
Konstanttemperaturkessel ab 1995 (Gas; Heizöl)	1,230	1,230
Konstanttemperaturkessel vor 1995 (Gas; Heizöl)	1,273	1,273
Holz-/Pelletkessel	1,620	1,620
Fernwärme	1,000	1,000
Erdreichwärmepumpe	0,329	0,329
Außenluftwärmepumpe	0,425	0,425

5.4.3 Vereinfachte Berechnung der Erzeugeraufwandszahl Heizung in Anlehnung an DIN V 18599-5:2011-12 ab TEK 5.6

Die Vornorm DIN V 18599-5 erlaubt es, eine Erzeugeraufwandszahl für Heizkessel zu berechnen, auch wenn diese im Berechnungsgang gar nicht verwendet wird. Die Erzeugeraufwandszahl kann in Abhängigkeit der Parameter mittlere Anlagenbelastung $\beta_{h,gen}$ und Nennheizleistung P_n angegeben werden. Die Erzeugeraufwandszahl Heizung $e_{h,gen}$ ist definiert als das Verhältnis von Energieaufwand – hier brennwertbezogener Brennstoffaufwand $Q_{h,f}$ – zu Erzeugernutzwärmeabgabe Q_{outg} . Gegenüber DIN V 18599-5:2011-12 vereinfachende oder abweichende Festlegungen zur Berechnung der Erzeugeraufwandszahl für Heizkessel im TEK-Tool sind in diesem Kapitel beschrieben.

In TEK wird die Endenergie auf Jahresebene berechnet:

$$GI. 5-2 \quad Q_{h,f} = e_{h,g}(\beta_{h,gen,a}, P_n) Q_{h,outg} \quad [kWh/a]$$

Für die Aufwandszahl $e_{h,g}$ eines Heizkessels ergeben sich die beispielhaft in Abb. 5-5 dargestellten Verläufe der Jahres-durchschnittlichen Erzeugeraufwandszahlen in Abhängigkeit des mittleren jährlichen Belastungsgrads. Wie zu erwarten sind NT-Kessel im Bereich der Nennleistung effizienter als in Teillast, während bei Brennwertkesseln das umgekehrte Verhalten zu erkennen ist.

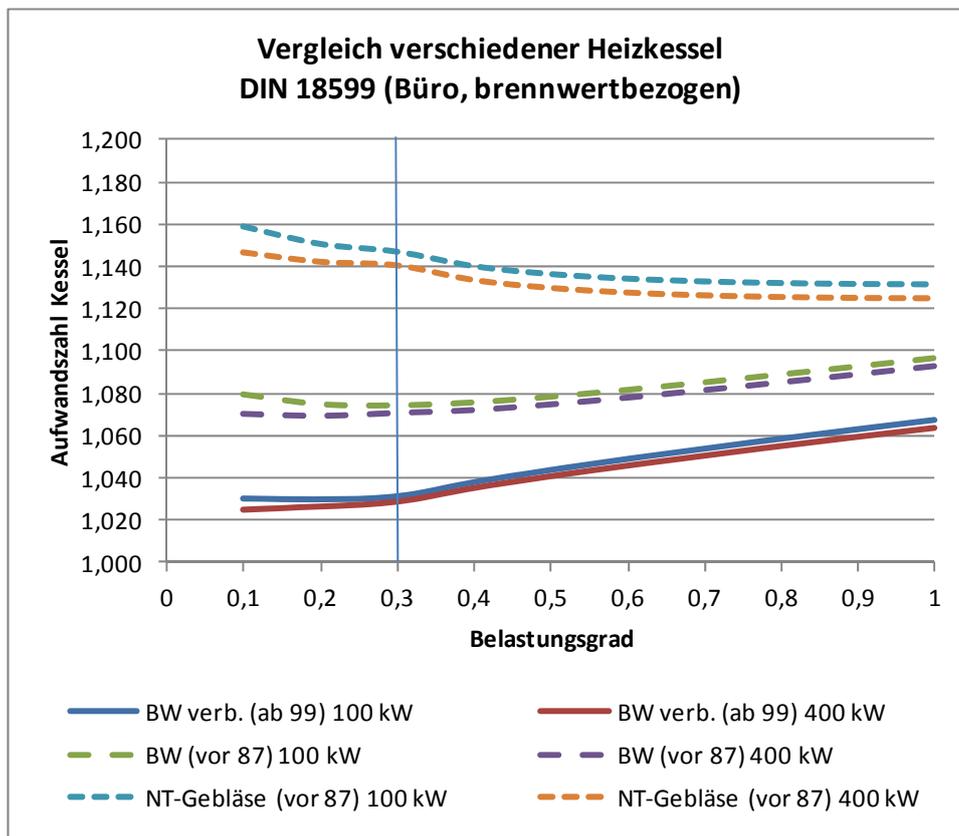


Abb. 5-5 Vergleich der Erzeugeraufwandszahlen verschiedener Gasheizkessel nach DIN V 18599-5:2011-12

Für das TEK-Tool können daraus Jahres-durchschnittliche Erzeugeraufwandszahlen für bestimmte Standardnutzungen festgelegt werden. Das TEK-Tool ist für die Anwendung im Bereich Nichtwohngebäude im Bestand bestimmt. Deshalb wird als Nutzungsprofil eine Büro-ähnliche Nutzung angesetzt. Ergänzend wurden Beispielgebäude mit dem Softwareprogramm ZUB Helena®2012

Ultra v6.08 in Varianten berechnet, um für einige Parameter geeignete Annahmen für Jahresmittelwerte treffen zu können. So wird eine mittlere jährliche Belastung von 0,3 angenommen³:

$$\text{Gl. 5-3} \quad e_{h,g}^{\text{TEK}} = e_{h,g}(\beta_{h,\text{gen},a} = 0,3, P_n)$$

Für die Berechnung der Heizzeit $t_{h,a}$ wurde β_h aus den monatlichen Ergebnissen der Gebäudevarianten abgeleitet und für alle Nutzungen gleich angenommen.

Die Erzeugeraufwandszahl ergibt sich somit als Durchschnittswert aus einer Betrachtung über die Heizzeit. Für Büro-ähnliche Nutzungen mit täglichen Heizzeiten von ca. 13 h/d und jährlichen Betriebsdauern von ca. 250 d/a zusammen mit Nacht- und Wochenendabsenkung ergibt sich der Quotient aus $t_{h,a}$ Heizzeit und rechnerischer Laufzeit $t_{h,rL,a}$ zu 2,067, für andere Nutzungen ergeben sich andere Verhältnisse:

$$\text{Gl. 5-4} \quad \frac{t_{h,a}}{t_{h,rL,a}} = \left. \begin{array}{ll} 2,067 & \text{für Bürooderähnlich} \\ 1,412 & \text{für Wohnen EFH} \\ 1,318 & \text{für Wohnen MFH} \\ 1,148 & \text{für Sonstige} \end{array} \right\} .$$

Die Abhängigkeit von der Nennleistung ist sehr gering und wird vernachlässigt. Alle Werte wurden für Auslegungstemperaturen der Heizkreise von 70 / 55 °C berechnet, die in Bestandsgebäuden häufig zu finden sind.

Für Wärmepumpen werden weiterhin die Werte aus der Parameterstudie mit ZUB Helena in Kap. 5.4.2 verwendet.

Die Abhängigkeit der Erzeugeraufwandszahl für Fernwärme-Hausstationen von der Art der FW-Hausstation, der Primärtemperatur und der Dämmklasse ist sehr gering, sie wird in TEK vernachlässigt. Für die Kombination „Warmwasser, hohe Temperatur“ mit einer Primärtemperatur (Auslegung) von $\theta_{\text{prim,DS}} = 150^\circ\text{C}$ und der Dämmklasse der Komponenten der Hausstation nach DIN EN 12828 von Klasse 1 auf der Sekundärseite und Klasse 2 auf der Primärseite ergibt sich die Erzeugeraufwandszahl $e_{h,\text{gen},\text{FW}} = 1,002$ bei der mittleren Belastung $\beta_{h,\text{gen},a} = 0,3$.

³ Die Annahme einer mittleren jährlichen Belastung von 0,3 als Ergebnis der Berechnungen für Beispielgebäude erscheint für Nichtwohngebäude angemessen, da hier der Anteil der Trinkwarmwasserbereitung an der Leistungsanforderung als gering einzuschätzen ist. Für Wohngebäude EFH war im Gegensatz dazu in der Studie „Felduntersuchung: Betriebsverhalten von Heizungsanlagen mit Gas-Brennwertkesseln“, April 2004, FH Braunschweig Wolfenbüttel, IfHK, Prof. Dieter Wolff festgestellt worden, dass sich in der Praxis mittlere Belastungen der Erzeuger von nur 0,09 ergeben. Dies liege, so die Studie, nicht zuletzt daran, dass in der Prüfnorm DIN 4702-8 Kesselnennleistung und Gebäudeheizlast gleichgesetzt werden. Die Kesselnennleistung werde aber in EFH von der Anforderung der Trinkwarmwasserbereitung dominiert, die Kessel seien deshalb um das 2- bis 4-fache gegenüber der Gebäudeheizlast überdimensioniert.

5.4.4 Vereinfachte Berechnung der Erzeugeraufwandszahl Warmwasser in Anlehnung an DIN V 18599-8:2011-12 ab TEK 5.6

Der monatliche Wärmeverlust $Q_{w,gen}$ des Heizkessels für die TWW-Erwärmung wird in Kapitel 6.4.6.2 der Vornorm wie bei der Heizwärmeerzeugung über Tageswärmeverluste und monatliche Betriebsdauern berechnet. Zwei Anteile werden berücksichtigt: Der Wärmeverlust Q_{w,gen,P_n} beim Erzeugen der bereitzustellenden Wärmemenge $Q_{w,outg}$ im Nennlastbetrieb und der Stillstandswärmeverlust Q_{w,gen,P_0} . Dabei wird angesetzt

$$Q_{w,gen} = Q_{w,gen,P_n} + Q_{w,gen,P_0} \stackrel{8(84)}{=} Q_{w,gen,P_n,day} t_{w,P_n,day} d_{op,mth} + \begin{cases} Q_{w,gen,P_0,day} (d_{op,mth} - d_{h,rB}) \\ 0, \text{ wenn } d_{h,rB} > d_{op,mth} \end{cases} \quad \text{GI.5-5}$$

mit der monatlichen Betriebsdauer für TWW-Bereitung $d_{op,mth} \stackrel{8(1)}{=} \frac{d_{op,a}}{365} d_{mth} = \frac{d_{nutz,a}}{365} d_{mth}$. Dabei ist $t_{w,P_n,day}$ die Tageslaufzeit des Heizkessels zur TWW-Erwärmung bei Nennleistung, während

$$\text{GI. 5-6 } Q_{w,gen,P_n,day} \stackrel{8(85)}{=} \frac{f_{Hs/Hi} - \eta_{k,P_n}}{\eta_{k,P_n}} \frac{Q_{w,outg}}{24 d_{op,mth}} = \frac{f_{Hs/Hi} - \eta_{k,P_n}}{\eta_{k,P_n}} \frac{Q_{w,outg,day}}{24} = \frac{f_{Hs/Hi} - \eta_{k,P_n}}{\eta_{k,P_n}} \overline{P}_{24}$$

der Verlustleistung einer über 24 Stunden gemittelten Leistung des Heizkessels \overline{P}_{24} entspricht. Die Erzeugungsverluste werden dadurch deutlich unterschätzt. Denn zur Tageslaufzeit des Heizkessels zur TWW-Erwärmung bei Nennleistung $t_{w,P_n,day}$ gehört die Verlustleistung P_{gen,P_n} bei Nennleistung P_n des Heizkessels (siehe Abb. 5-6).

⁴ Schon der erste Anteil, der Wärmeverlust Q_{w,gen,P_n} , ist im Ansatz in Formel 8 (84) falsch definiert, zumindest wenn man die übliche Nomenklatur und die Legende zu den Formeln 8 (84-86) heranzieht. Denn $t_{w,P_n,day}$ wird in Formel 8 (88) und in der Legende zu den Formeln 8 (84-86) ausdrücklich als „Tageslaufzeit des Heizkessels zu Trinkwassererwärmung bei Nennleistung, in h“ definiert. Diese würde nach Formel 8 (84) mit $Q_{w,gen,P_n,day}$, dem „Tageswärmeverlust des Heizkessels bei Nennleistung, in kWh“, multipliziert. Das ist schon von den Dimensionen her falsch.

Der Dimensionsfehler in Gleichung 8 (84) wird in 8 (85) dadurch geheilt, dass $Q_{w,gen,P_n,day}$, entgegen der Beschreibung in der Legende, als eine Leistung definiert wird, und zwar als eine über 24 Stunden gemittelte Verlustleistung auf Basis der über 24 Stunden gemittelten Heizleistung des Kessels für den Trinkwarmwasserbetrieb $Q_{w,outg}/(24 * d_{op,mth})$.

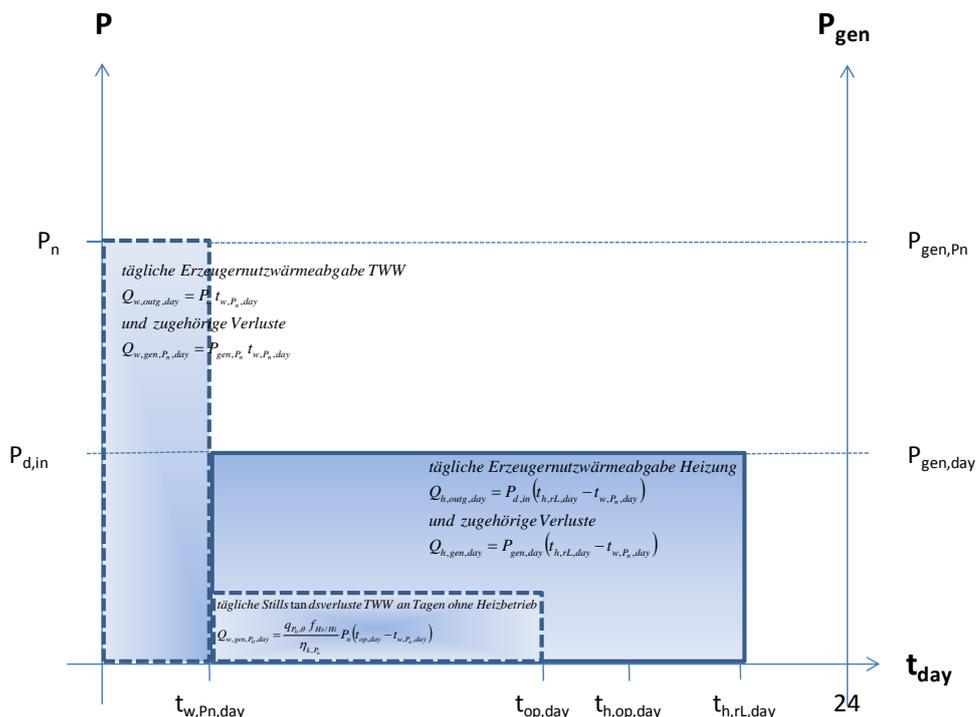


Abb. 5-6 Darstellung von Kesselleistung und Verlusten über der täglichen Laufzeiten für TWW-Erwärmung und Heizbetrieb bei Kombibetrieb des Heizkessels zur Abgrenzung der jeweils anzurechnenden Verluste

Im Unterschied zur DIN V 18599-8:2011-12 (vgl. Gl. 5-6) definieren wir die Tageswärmeverluste der Erzeugung zu

$$\text{Gl. 5-7} \quad Q_{w,gen,P_n,day} = P_{gen,P_n} t_{w,P_n,day} = \frac{f_{HS/Hi} - \eta_{k,P_n}}{\eta_{k,P_n}} P_n t_{w,P_n,day}$$

also mit der Verlustleistung P_{gen,P_n} bei Nennlastbetrieb des Heizkessels, der für die TWW-Erwärmung anzunehmen ist, und der Tageslaufzeit des Heizkessels zur TWW-Erwärmung bei Nennleistung $t_{w,P_n,day}$.

Als Plausibilitätsüberprüfung wird wieder die Erzeugeraufwandszahl TWW mit dem korrigierten Ansatz für die Tageswärmeverluste der Erzeugung bestimmt. Zusammen mit der monatlichen Erzeugernutzwärmeabgabe

$$\text{Gl. 5-8} \quad Q_{w,outg} = P_n t_{w,P_n,day} d_{op,month}$$

ergibt sich für die relativen Verluste bei der Erzeugung bei Nennleistung,

$$\text{Gl. 5-9} \quad \sum_{m=1}^{12} \frac{Q_{w,gen,P_n}^m}{Q_{w,outg}^m} = \frac{f_{HS/Hi} - \eta_{k,P_n}}{\eta_{k,P_n}}$$

was etwa um einen Faktor 10 größer ist als die Verluste nach dem Verfahren der DIN.

Für einen Erdgas-NT-Gebläsekessel (87-94) zur TWW-Bereitung im Kombibetrieb aber ohne Speicherverluste in einem Mehrfamilienhaus ergibt sich eine Brennwert-bezogene Erzeugeraufwandszahl $e_{w,g} = 1,245$ oder ein Jahresnutzungsgrad von $\eta_a = 80\%$ (siehe auch Abb. 5-7). Der

Heizwert-bezogene Jahresnutzungsgrad läge bei 89% und die zugehörige Erzeugeraufwandszahl bei 1,12, was als ein realistischer Wert angesehen werden kann.

Diese Werte sind auch konsistent zu den Standardwerten aus DIN 4701-10:2003-08 Tab. C.1-4b, wo für einen NT-Kessel ein – Heizwert-bezogener - Wert der Erzeugeraufwandszahl für die TWW-Bereitung zwischen 1,10 und 1,14 angegeben wird.

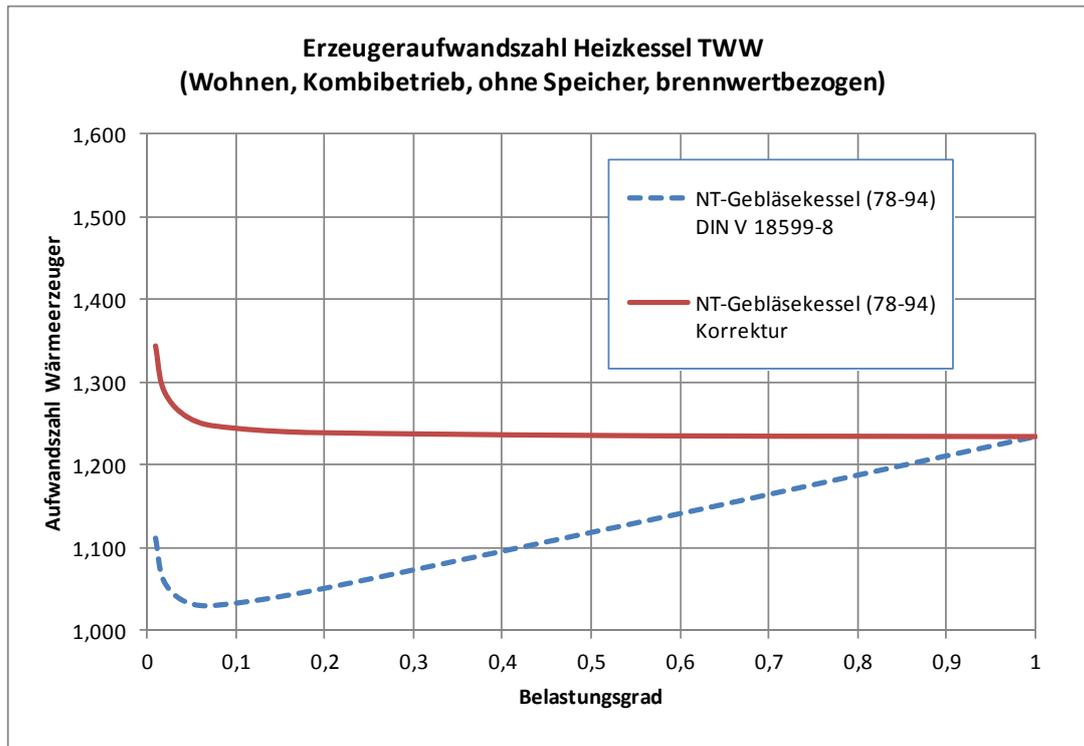


Abb. 5-7 Vergleich der Erzeugeraufwandszahlen für TWW nach DIN V 18599-8:2011-12 und dem korrigierten Verfahren

Der im korrigierten Berechnungsverfahren fast konstante Verlauf der Erzeugeraufwandszahl für TWW-Bereitung zwischen Belastungsgrad 0,3 und 1 wird dadurch erklärlich, dass die TWW-Bereitung bei Nennlast des Kessels stattfindet und die Abgasverluste proportional zur erzeugten Nutzwärmemenge steigen, die relativen Abgasverluste also unabhängig von der mittleren Belastung konstant sind. Im Bereich der sehr geringen Belastungsgrade – und damit verbunden sehr geringen Laufzeiten des Kessels für die TWW-Bereitung - werden die relativen Stillstandsverluste im Verhältnis zu den Abgasverlusten relevant und treiben die Aufwandszahl nach oben.

Die monatlichen Stillstandswärmeverluste können über den relativen Bereitschaftswärmeverlust berechnet werden, wie in DIN V 18599-8 beschrieben.

5.4.5 Primärenergiebewertung

In Anlehnung an DIN V 18599-1:2007-02, Tabelle A.1 werden in TEK, Blatt 24_DB-Konstanten, die bekannten Primärenergiefaktoren $f_{p, \text{nicht erneuerbarer}}$ Anteil angegeben. Diese sind auf den Heizwert H_i bezogen. Zur Anwendung auf die Endenergien muss wie in der Vornorm berücksichtigt werden, dass diese auf den Brennwert H_s bezogen sind. Die Endenergien müssen deshalb mit den Umrechnungsfaktoren f_{H_s/H_i} für das energieträgerabhängige Verhältnis Brennwert zu Heizwert H_s/H_i umgerechnet werden.

Im direkten Vergleich von Endenergiebedarfen Brennstoff und zugehörigen Primärenergien, z.B. in Blatt 4.1_out_Ergebnisse, Abschnitt 1.5 *Teilenergiekennwerte und CO₂-Emissionen auf Gebäudeebene* sind deshalb nicht die bekannten Werte des Primärenergiefaktors f_p erkennbar sondern das Produkt $f_p * f_{H_s/H_i}$ aus Primärenergiefaktor und Umrechnungsfaktor Endenergie.

5.4.6 Hilfsenergie Wärmeerzeuger bis TEK 5.5

Der Hilfsenergiebedarf der Wärmeerzeuger wird auf Gebäudeebene als Summe über alle Erzeuger bestimmt und dem Gewerk „Diverse Technik“ zugeordnet. Da der Beitrag zum gesamten Energiebedarf des Gebäudes gering ist, wird ein vereinfachter Ansatz verwendet. Dieser leitet sich aus der durchgeführten Parameterstudie ab.

Im der mit dem Softwareprogramm Energiepass Helena durchgeführten Parameterstudie wird der Hilfsenergiebedarf für unterschiedliche Wärmeerzeuger für Heizung und Warmwasser untersucht. Variiert wurden die Gebäudegröße (500 m²; 5.000 m²; 50.000 m²), die Auslegung (normal ausgelegt; überdimensioniert) und der Effizienzstandard des Gebäudes (Bestand, Neubau EnEV-Standard). Der Hilfsenergieaufwand für Niedertemperatur-(Gebläsebrenner)- und Brennwertkessel ist unabhängig vom Baualter gleich. Unter der Bezeichnung Niedertemperatur- und Brennwertkessel (NT-/BW-Kessel) werden folgende Wärmeerzeuger zusammengefasst:

- Brennwertkessel verbessert
- Brennwertkessel ab 1995
- Brennwertkessel vor 1995
- Niedertemperaturkessel ab 1995
- Niedertemperaturkessel vor 1995

5.4.6.1 Erzeugerhilfsenergie Heizung

Abhängigkeit von der Gebäudegröße

Der Hilfsenergiebedarf ist abhängig von der Gebäudegröße. Dies ist in Abbildung 5-8 bis Abbildung 5-11 dargestellt.

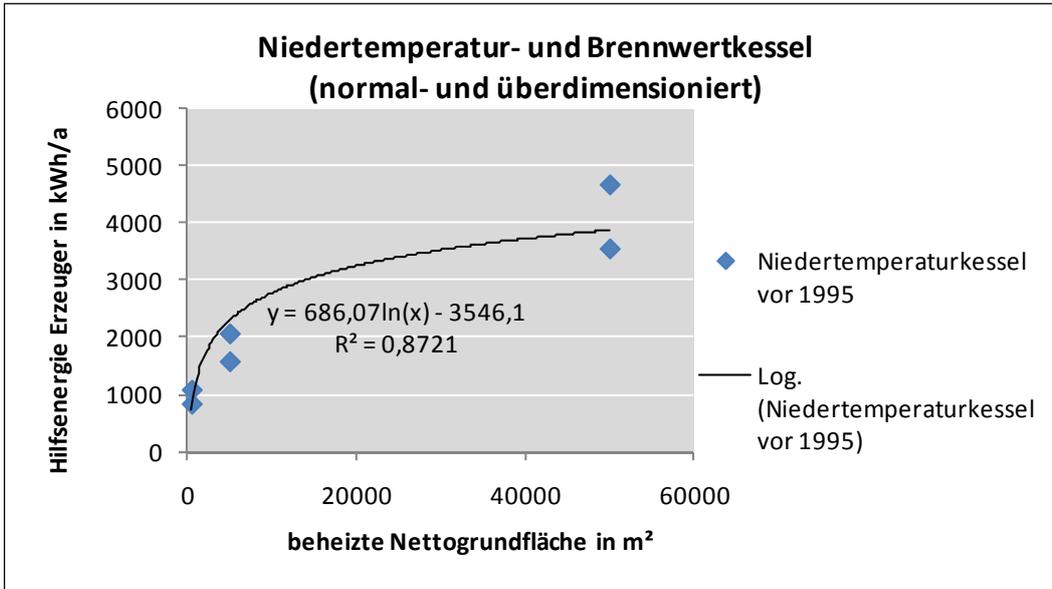


Abbildung 5-8: Hilfsenergie von Niedertemperatur- bzw. Brennwertkesseln in Abhängigkeit von der Gebäudegröße (Effizienzstandard: Bestand)

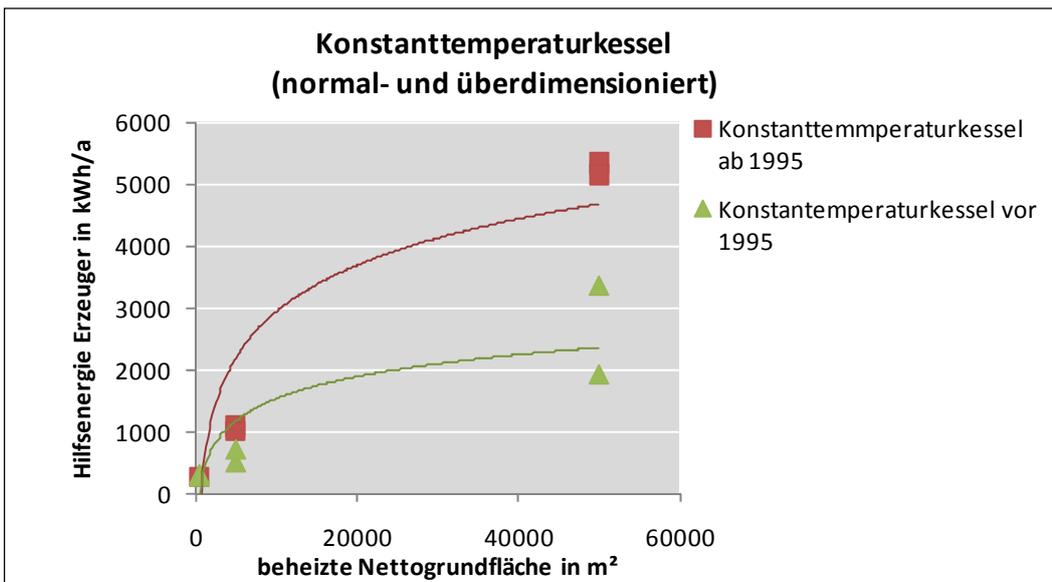


Abbildung 5-9: Hilfsenergie von Konstanttemperaturkesseln in Abhängigkeit von der Gebäudegröße (Effizienzstandard: Bestand)

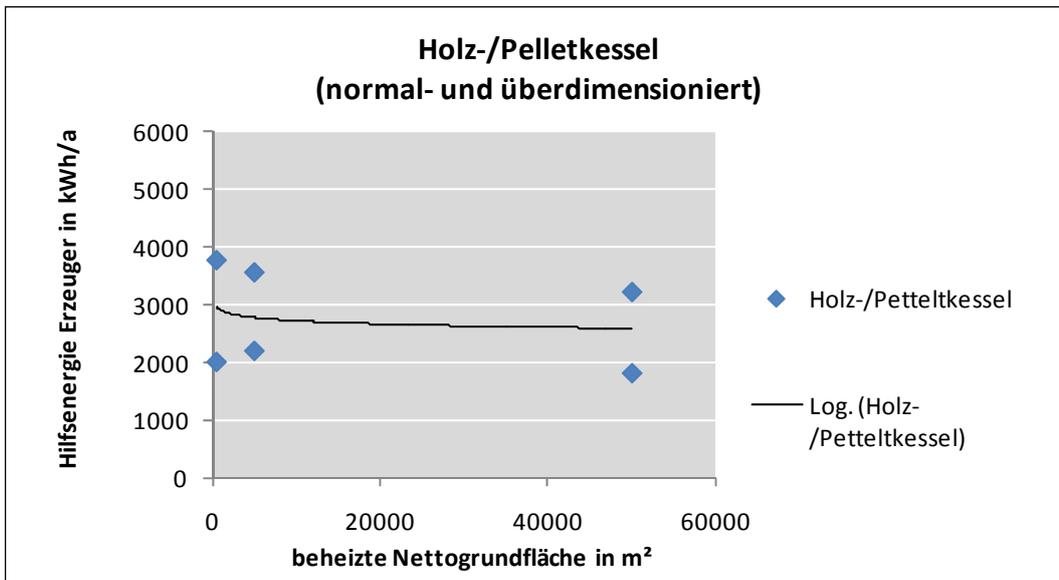


Abbildung 5-10: Hilfsenergie von Holz-/Pelletkesseln in Abhängigkeit von der Gebäudegröße (Effizienzstandard: Bestand)

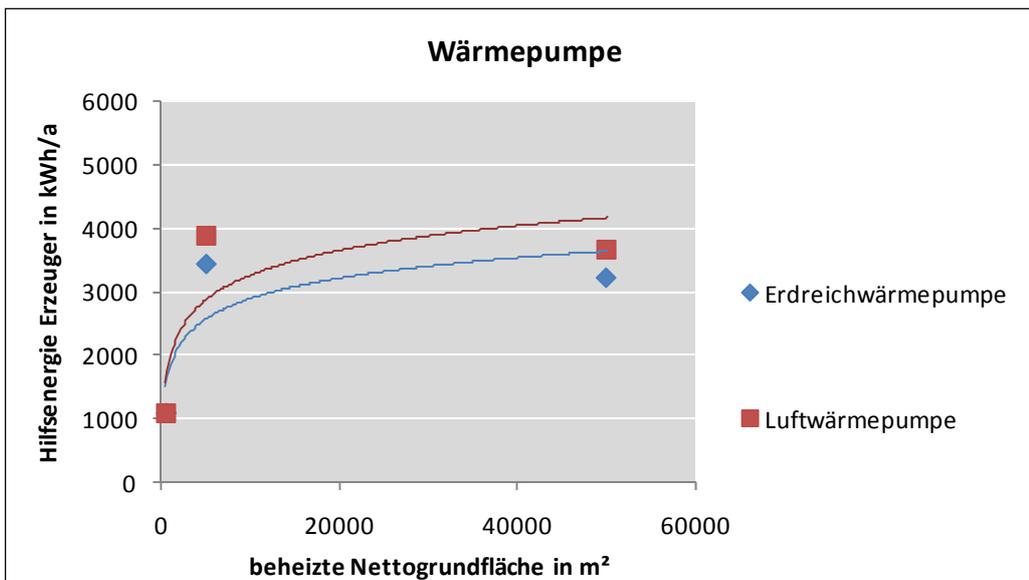


Abbildung 5-11: Hilfsenergie von Wärmepumpen in Abhängigkeit der Gebäudegröße (Effizienzstandard: Bestand)

Bei den Ergebnissen fällt auf, dass alte Konstanttemperaturkessel einen geringeren Hilfsenergiebedarf haben als neuere sowie, dass der Hilfsenergiebedarf von Holz-/Pelletkesseln unabhängig von der Größe des Gebäudes und damit der Leistung des Wärmeerzeugers ist. Insbesondere das zweite Ergebnis ist schwer zu interpretieren.

Zur Abbildung des Einflusses der Gebäudegröße auf den Hilfsenergiebedarf des Erzeugers wird vereinfacht die Trendkurve für den Fall Niedertemperatur-/Brennwertkessel verwendet, da

- Niedertemperatur-/Brennwertkessel die größte Verbreitung haben
- die Kurven für Konstanttemperaturkessel und Wärmepumpen im Mittel über beide Varianten etwa der des Niedertemperatur-/Brennwertkessels entsprechen
- die Kurve für Holz-/Pelletkessel zunächst nicht plausibel interpretiert werden kann.

Eine Berücksichtigung der Überdimensionierung des Erzeugers erfolgt im Rahmen der vereinfachten Ermittlung des Hilfsenergiebedarfs nicht, da der Einfluss gering ist und der durch die Überdimensionierung erhöhte Hilfsenergiebedarf durch geringere Brennerlaufzeiten zum Teil wieder kompensiert wird.

Abhängigkeit von dem Effizienzstandard des Gebäudes

Der Hilfsenergiebedarf ist zudem abhängig von dem Effizienzstandard des Gebäudes. Hier spielt u.a. die Länge der Heizzeit eine Rolle. Im Rahmen der Parameterstudie wird der Einfluss untersucht, indem für das Gebäude mit einer Netto-Grundfläche von 5.000 m² der Hilfsenergiebedarf für beide Effizienzstandards (Bestand und EnEV-Neubau) berechnet wird.

Um den Einfluss vereinfacht abzubilden, wird der Quotient

$$\text{Gl. 5-1} \quad f_{ef} = \frac{\text{Hilfsenergie Neubau}}{\text{Hilfsenergie Bestand}}$$

gebildet. Eine Abhängigkeit dieses Faktors von der Erzeugernutzwärmeabgabe kann nicht hergestellt werden, da die Erzeugernutzwärmeabgabe entscheidend von der Gebäudegröße beeinflusst wird. Zur Quantifizierung des Effizienzstandards werden deswegen die Energieaufwandsklassen Heizung herangezogen, die im Rahmen der TEK-Bewertung ermittelt werden (Gebäudeebene). Der Neubaustandard wird mit der Energieaufwandsklasse „gering“ der Bestandsstandard mit der Energieaufwandsklasse „mittel“ angesetzt.

Für die Energieaufwandsklassen Heizung „sehr gering“, „hoch“ und „sehr hoch“ wird f_{ef} aus diesem Faktor abgeleitet. Insgesamt ergeben sich damit folgenden Ausprägungen von f_{ef}

	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch
Konstant-, NT, und BW-Kessel	0,38	0,62	1,00	1,62	2,63
Holz-/Pelletkessel	0,69	0,83	1,00	1,20	1,45
Wärmepumpe	0,69	0,83	1,00	1,20	1,45

Tabelle 5-1: Ausprägung des Faktors f_{ef} abhängig von der Energieaufwandsklasse Heizung

Der Hilfsenergiebedarf des Erzeugers $Q_{h,aux,g}$ berechnet sich damit nach folgender Formel:

$$\text{Gl. 5-2} \quad Q_{h,aux,g} = f_{ef} [686 \ln(A_h) - 3546]$$

mit

$Q_{h,aux,g}$	kWh/a	Hilfsenergiebedarf der zentralen Wärmeerzeuger
f_{ef}	-	Faktor zur Quantifizierung des Effizienzstandards des Gebäudes auf den Hilfsenergiebedarf
A_h	m ²	beheizte Nettogrundfläche

Da auch dezentrale Wärmeerzeuger einen Hilfsenergiebedarf haben, wird in Gl. 5-2 die gesamte beheizte Nettogrundfläche des Gebäudes herangezogen. Für Gebäude mit einer beheizten Nettogrundfläche unter 250 m² wird der Wert für 250 m² angesetzt.

Gebäudefläche in m ²	Energieaufwandsklasse Heizung				
	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch
250	92	149	242	392	636
500	273	442	717	1.163	1.886
1.000	454	736	1.193	1.934	3.136
2.000	634	1.029	1.668	2.705	4.387
4.000	815	1.322	2.144	3.476	5.637
8.000	996	1.615	2.619	4.247	6.888
16.000	1.177	1.908	3.095	5.018	8.138
32.000	1.358	2.202	3.570	5.790	9.388
64.000	1.539	2.495	4.046	6.561	10.639
128.000	1.719	2.788	4.521	7.332	11.889

Tabelle 5-2: Vereinfacht ermittelter Erzeugerhilfsenergiebedarf Heizung in kWh/a abhängig von Gebäudegröße und Effizienzstandard

Gebäudefläche in m ²	Energieaufwandsklasse Heizung				
	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch
250	0,37	0,60	0,97	1,57	2,54
500	0,55	0,88	1,43	2,33	3,77
1.000	0,45	0,74	1,19	1,93	3,14
2.000	0,32	0,51	0,83	1,35	2,19
4.000	0,20	0,33	0,54	0,87	1,41
8.000	0,12	0,20	0,33	0,53	0,86
16.000	0,07	0,12	0,19	0,31	0,51
32.000	0,04	0,07	0,11	0,18	0,29
64.000	0,02	0,04	0,06	0,10	0,17
128.000	0,01	0,02	0,04	0,06	0,09

Tabelle 5-3: vereinfacht ermittelter spezifischer Erzeugerhilfsenergiebedarf Heizung in kWh/(m²a) abhängig von Gebäudegröße und Effizienzstandard

Erzeugerhilfsenergie Warmwasser

Die Erzeugerhilfsenergie Warmwasser ist gering und wird in der vereinfachten Berechnung im Rahmen von TEK vernachlässigt.

5.4.7 Hilfsenergiebedarf Heizkessel ab TEK 5.6

Die Hilfsenergie der Heizwärmeerzeugung $W_{h,gen}$ für TEK wird gemäß der DIN V 18599-8:2011-12 berechnet für eine mittlere Belastung von $\beta_{h,gen} = 0,3 = \beta_{h,gen,P_{int}}$. Dadurch vereinfachen sich die Formeln wie folgt:

$$\text{Gl. 5-10} \quad W_{h,gen} \Big|_{\beta_{h,gen}=0,3=\beta_{h,gen,P_{int}}} = P_{aux,P_{int}} (t_{h,rL,a} - t_{w,P_n,a}) + P_{aux,P_0} (8760 - (t_{h,rL,a} - t_{w,P_n,a}))$$

Für Wärmepumpen wird der Hilfsenergiebedarf weiterhin nach Kap. 5.4.6 berechnet.

Der Hilfsenergiebedarf für Wärmeübergabestationen wird vernachlässigt. Ebenso der für die Trinkwarmwassererwärmung.

6 Kälteanlage (DIN V 18599 – Teil 7)

6.1.1 Erzeugernutzkälteabgabe

Der Erzeugernutzkälteabgabe wird zonenweise unter Berücksichtigung der jeweiligen Verteil- und Übergabeverluste ermittelt. Dabei wird gemäß DIN V 18599-7:2007-02 zwischen Raum- und RLT-Systemen unterschieden.

Die Kältemitteltemperatur wird vereinfacht aus dem Übergabesystem bestimmt:

Übergabesystem	Vor- und Rücklauftemperatur
6 / 12 °C	6 / 12°C
Ventilatorkonvektor	8 / 14°C
Induktionsanlage	14 / 18°C
Kühldecke	18 / 20°C
Bauteilaktivierung	20 / 22°C

Tabelle 6-1: Vereinfachte Zuweisung der Vor- und Rücklauftemperatur der Kälteverteilung aus dem Übergabesystem

6.1.2 Kälteerzeuger

Dezentrale Kälteerzeuger

Bei dezentralen Kälteerzeugern werden in TEK Nennkälteleistungszahl sowie der Teillastfaktor PLV auf Zonenebene entsprechend DIN V 18599-7:2007-02 berechnet.

Zentrale Kälteerzeuger

Für zentrale Kälteerzeuger wird im Unterschied zur DIN V 18599-7:2007-02 in TEK auf die direkte Kopplung von Zonen und zentralen Kälteerzeugern verzichtet. Der Zeitaufwand für die Datenerhebung in den oft nur unzureichend dokumentierten Anlagen in Bestandsgebäuden ist für die hier durchgeführte vereinfachte Bewertung zu hoch. Um dennoch bei der Ermittlung des Teillastfaktors PLV die Nutzungsstruktur zu berücksichtigen, wird für jeden Kälteerzeuger abgefragt, ob es sich bei dem Kältebedarf um:

- Saisonale Kältelast (Kältebedarf im Sommer)
- Bandlast (z.B. Rechenzentrum)
- Saisonale Kälte- und Bandlast (z.B. Einzelhandel mit Kühlprodukten)

handelt. Auf dieser Grundlage wird ein Teillastprofil zugewiesen. Dies geschieht nach folgender Zuordnung:

Saisonale Kühllast	Tabelle A2 – DIN V 18599-7:2007-02
Bandlast	Tabelle A10 – DIN V 18599-7:2007-02
Saisonale Kühl- und Bandlast	Tabelle A3 – DIN V 18599-7:2007-02

Tabelle 6-2: Vereinfachte Zuweisung des Teillastprofils abhängig vom Jahresprofil des Kältebedarfs

Ebenfalls nicht gekoppelt sind die RLT-Anlagen und die Kälteerzeuger. Um die Teillastfaktoren der Kälteerzeuger zu ermitteln, werden für die RLT-Anlagen vereinfachte, dem typischen Fall entsprechende Annahmen getroffen:

- Keine Feuchteanforderung oder Feuchteanforderung mit Toleranz
- Wärmerückgewinnung ohne Feuchterückgewinnung.

Um die von den einzelnen zentralen Kälteerzeugern bereitzustellende Erzeugernutzkälteabgabe (Raum- und RLT-Kühlung) zu bestimmen, wird die Summe der Erzeugernutzkälteabgabe über alle Zonen (von zentralen Kälteerzeugern versorgt) gebildet und diese zu gleichen Teilen auf die zentralen Kälteerzeuger verteilt.

6.1.3 Fernkälte (bis Version TEK-5.5 einschließlich)

In TEK-5.5 kann Fernkälte nicht direkt abgebildet sondern nur näherungsweise wie folgt berücksichtigt werden:

1. Verbrauch

In Tabellenblatt *1.0_in-out_Verbrauch* den gemessenen Fernkälteverbrauch ohne Witterungsreinigung entweder monatsweise oder als Jahreswert zu *Klimabereinigte Verbrauchsdaten von Brennstoff/Fernwärme* in den entsprechenden Eingabefeldern addieren. Das entspricht der Vorgehensweise in „Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand“, BMVBS, 30.7.2009, Abschnitt 2.2.4 *Energieverbrauchsermittlung bei gelieferter Kälte*. Das kann so interpretiert werden, dass Fernkälte äquivalent zu Kälteenergie ist, die in großen Zentralen mit hocheffizienten Absorptionskältemaschinen hergestellt wird.

2. Bedarf

Um in der Bedarfsberechnung einen näherungsweise adäquaten Ausgleich auf der Seite des Brennstoff/Fernwärme-Bedarfs zu schaffen, soll als *Verdichterart / Teillastregelung* in Blatt *3.4_in_Kälteerzeuger* aus der Auswahlliste *Direktbefeuerter Absorptionskälteanlage H2O/LiBr double effect* verwendet werden. Für diese Erzeuger wird in DIN V 18599-7:2007-02 Tabelle 28 ein Nennwärmeverhältnis

$$\zeta = \frac{\dot{Q}_{C,outg}}{\dot{Q}_{C,therm}} = \frac{\text{Nennkälteleistung}}{\text{zugeführte Heizwärmeleistung}} = 1,3$$

angegeben. Zusammen mit dem (heizwertbezogenen) Endenergiefaktor $f_{m^*,f}$ für die Dampferzeugung in einem gasbefeueren Dampferzeuger aus Rohwasser in Anlehnung an Tabelle 32 ergibt sich eine Endenergieerzeugeraufwandszahl e_c für die Kälteerzeugung von

$$e_c = \frac{\zeta}{f_{m^*,f}} \cdot \frac{H_s}{H_i} = \frac{1,3}{1,51} \cdot 1,1 = 0,95.$$

Damit wird mit einem Verhältnis von nahezu 1 Erzeugernutzkälteabgabe in Endenergiebedarf für die Dampferzeugung zum Betrieb des Absorbers umgewandelt (vgl. Jahreskälteleistungszahl in Zelle D36 in Tabellenblatt *3.4_in_Kälteerzeugung*).

3. Abgleich

Die Berücksichtigung von Fernkälte auf der Verbrauchsseite im Bereich Heizwärme, die in der Richtlinie des BMVBS nicht weiter begründet, bedingt auf der Bedarfsseite eine entsprechende aufwandsneutrale Anrechnung des Brennstoffaufwands. Nur so kann ein Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich gesichert werden.

Erkennbar wird das auch im Ergebnis in Blatt 4.1_out_Ergebnisse, Abschnitt 1.5 *Teilenergiekennwerte* in der Zeile *Kälte* im Vergleich der Werte in Spalte *Nutzenergie Erzeuger* und *Endenergie Brennstoff*.

Wie Fernkälte ab einer späteren Version abgebildet werden soll, wird in einer der anstehenden Überarbeitung des TEK-Tools geklärt.

6.1.4 Zonenweise Aufteilung des Endergiebedarfs der zentralen Kälteerzeuger

Für die zonenweise Ergebnisdarstellung muss der Endenergiebedarf Kälte der zentralen Kälteerzeuger auf die gekühlten Zonen aufgeteilt werden. Hierzu wird der folgende Algorithmus verwendet.

Für jede von zentralen Erzeugern gekühlte Zone wird der Prozentsatz der jeweils erforderlichen Erzeugernutzkälteabgabe (dezentrale Kälteerzeuger werden nicht berücksichtigt) an der gesamten Erzeugernutzkälteabgabe (zentrale Kälteerzeuger) bestimmt. Dieser Prozentsatz wird mit dem gesamten Endenergiebedarf der zentralen Kälteerzeuger multipliziert. Dies ist der Anteil des gesamten Endenergiebedarfs, der der Zone zugeordnet wird.

Bei der Aufteilung auf die Zonen werden Raum- und RLT-Kühlung getrennt behandelt, um die Ergebnisse in der Zonendarstellung getrennt ausweisen zu können.

6.1.5 Messdaten für zentrale Kälteerzeuger

Es ist geplant, vorhandene Messwerte zur Kälteerzeugung – Betriebsstunden in den einzelnen Verdichterstufen - als Berechnungsvariante ins TEK-Tool mit einzubinden. Die Algorithmen sind definiert jedoch noch nicht getestet, so dass von einer Verwendung dieser Option derzeit noch abgeraten wird.

Nach erfolgreicher Validierung wird es möglich sein, auch für einzelne Kälteerzeuger Messdaten zu verwenden, wohingegen andere Kälteerzeuger mit einer vereinfachten Berechnung bewertet werden.

Messwerte können nur für elektrische Kälteerzeuger eingegeben werden. Absorptionskälteanlagen können also nicht über Messwerte abgebildet werden.

Der Endenergieaufwand eines Kälteerzeugers berechnet sich wie folgt:

$$\text{Gl. 6-1} \quad Q_{c,f} = \frac{\sum P_{c,v} t_{c,v}}{n_{cp}}$$

mit

$Q_{c,f}$ kWh/a Endenergieverbrauch des Kälteerzeugers

$P_{c,v}$	kW	Leistung der Verdichterstufe v
$t_{c,v}$	h	Betriebszeit der Verdichterstufe v
n_{cp}	a	Anzahl der Jahre / Kühlperioden

Um den Endenergiebedarf von über Messdaten bewerteten Kälteerzeugern gemeinsam mit den rechnerisch ermittelten Endenergiebedarfen auf die Zonen aufteilen zu können (siehe 6.1.4), muss der aus Messdaten ermittelte Endenergieverbrauch auf einen Erzeugernutzkältebedarf zurückgerechnet werden.

Da der Erzeugernutzkältebedarf für den Fall von Kälteerzeugern mit Messdaten nicht vorliegt, muss dieser aus dem Endenergieverbrauch und der Jahreskälteleistungszahl des Kälteerzeugers ermittelt werden. Werden neben den Messdaten in dem Eingabebblatt auch die Ausprägungen des Erzeugers definiert, wird die Jahreskälteleistungszahl nach DIN V 18599 Teil 7 berechnet. Andernfalls wird eine typische Jahreskälteleistungszahl von

$$\text{SEER} = 3,5$$

in der Berechnung verwendet.

6.1.6 Primärenergiebedarf für zentrale Kälteerzeugung

Zur Berechnung des Primärenergiebedarfs je Zone für zentrale Kälteerzeugung wird ein über alle Kälteerzeuger gemittelter Primärenergiefaktor berechnet und der Zonenendenergiebedarf mit diesem Wert multipliziert.

Der Primärenergiebedarf der Kälteerzeugung bei Verwendung von Messdaten nach Kap. 6.1.5 wird mit dem Primärenergiefaktor für elektrische Energie berechnet.

6.1.7 Hilfsenergie Kälteerzeugung

Berücksichtigt wird die Hilfsenergie für:

- Kälteverteilung (Raumkreis, RLT-Kreis, Hauptkreis, Primärkreis, Rückkühlkreis)
- Hilfsenergie der Raumsysteme (Sekundärventilatoren)
- Hilfsenergiebedarf der Rückkühlung.

Aufgrund des geringen Anteils am Gesamtenergiebedarf des Gebäudes werden nicht abgebildet:

- Strombedarf von Sprühwasserpumpen
- Strombedarf von Pumpen von Kreislaufverbundsystemen

6.1.8 Hilfsenergie Kälteverteilung

Es wird das vereinfachte Verfahren aus DIN V 18599-100: 2009-10, dort im Teil 7 – Anhang Teilkennwerte Kälteverteilung herangezogen.

Bei der maximalen Kälteleistung wird zwischen Raum- und RLT-Kreis unterschieden. Ist ein Kreis nicht vorhanden, ergibt sich automatisch ein Hilfsenergieaufwand zur Kälteverteilung von Null.

6.1.9 Hilfsenergie Raumkühlung

Die Berechnung erfolgt entsprechend DIN V 18599-7:2007-02, Kapitel 6.3. Als Vereinfachung wurde die Anzahl der bei der Ermittlung des Stromverbrauchs der Sekundärventilatoren berücksichtigten Systeme reduziert. Dabei wurde angenommen:

- Splitgeräte haben keine Kanäle sondern sind Brüstungs- oder Deckengeräte: $f_{c,ce,aux} = 0,04$
- Multisplitgeräte haben Luftverteilung über Kanäle: $f_{c,ce,aux} = 0,06$
- Ventilatorkonvektoren als Brüstungs- oder Deckengeräte arbeiten mit einer Kaltwasserzulauftemperatur von 14 °C (Mittelwert der drei Systeme aus Tabelle 9 – Teil 7): $f_{c,ce,aux} = 0,07$

6.1.10 Hilfsenergie Rückkühlung

Es wurde der Ansatz entsprechend DIN V 18599-7:2007-02, Kapitel 7.1.6 umgesetzt.

6.1.11 Standardannahmen

Bezeichnung	Quelle	Beschreibung
Kältemittel	18599-7 Kap 7.1.2.1	Es wird immer R134a verwendet. Die anderen Kältemittel sind nicht bei jedem Verdichter nutzbar. Es ergeben sich unplausible Kombinationen.
Nennwärmeverhältnis	18599-7 Tab. 27	Bei Absorptionskälteanlagen H ₂ O/LiBr wird nicht nach Heizmediumtemperaturen unterschieden, da diese nur marginalen Einfluss auf das Nennwärmeverhältnis haben. Angenommenes Nennwärmeverhältnis: 0,7 Als Wärme-/Dampferzeuger wird angenommen: Gasbefuerter Dampferzeuger - Rohwasser entsprechend DIN V 18599-7:2007-02, Tab. 32
Elektr. Energie Rückkühler	18599-7 Tab 29	Bei der Ermittlung des elektrischen Energiebedarfs der Rückkühler wird angenommen, dass ein Axialventilator eingesetzt wird und kein Zusatzschalldämpfer vorhanden ist. Die Information hierzu wäre nur schwer zu beschaffen und die Auswirkungen auf das Ergebnis sind gering.

7 Dampferzeuger

Der Energieaufwand der Dampferzeugung wird entsprechend DIN V 18599-7:2007-02 durchgeführt. Sind mehrere Dampferzeuger vorhanden, wird der Erzeugernutzenergiebedarf zu gleichen Teilen auf die vorhandenen Erzeuger aufgeteilt. Eine manuelle Beeinflussung der Gewichtung erfolgt an dieser Stelle nicht.

8 Arbeitshilfen, Zentrale Dienste sowie Diverse Technik

Arbeitshilfen (PC, Drucker, Kopierer, Kühltheken), zentrale Dienste (Telefonanlage, EDV-Server, Küche ...) sowie diverse Technik (Aufzüge, Transformatoren, ...) können einen großen Anteil des Strombedarfs bzw. Primärenergiebedarfs eines Gebäudes ausmachen. Auswertungen von Förderprojekten im Rahmen des EnOB-Förderprogramms des Bundeswirtschaftsministeriums zeigen, dass dieser Anteil in vielen Fällen deutlich über 50 % des Gesamtstromverbrauchs liegen kann (siehe www.enob.info „Performance von Gebäuden in der Jahresbilanz 2010“). Entsprechend wird der Energieaufwand dieser Gewerke in TEK berücksichtigt, nicht zuletzt, um einen sinnvollen Vergleich der Berechnungsergebnisse mit dem gemessenen Verbrauch des Gebäudes vornehmen zu können.

8.1 Arbeitshilfen – Wärmeeinträge und elektrischer Energiebedarf

Je nach Stellung des Wahlschalters „Interne Wärmequellen – Arbeitshilfen und Personen“ der Berechnungseinstellungen in Blatt 0.2_in_Projekt werden die zugehörigen Standardwerte der DIN V 18599-10:2011-12 oder die objektspezifisch erfassten bzw. berechneten Werte zur Berechnung verwendet.

Bei der objektspezifischen Berechnung des Strombedarfs der Arbeitshilfen und damit auch des in der Zonenbilanz berücksichtigten Wärmeeintrags werden in TEK im Unterschied zur DIN V 18599 zwei Nutzungstypen unterschieden:

- Personenbestimmte Nutzung: Der Strombedarf der Arbeitshilfen und damit auch der Wärmeeintrag steigt für eine gegebene Zonenfläche mit zunehmender Personenbelegungsdichte an. Beispiele: Einzelbüro, Großraumbüro etc.
- Funktionsbestimmte Nutzung: Der Strombedarf der Arbeitshilfen ist unabhängig von der Personenbelegungsdichte. Er wird durch die in dem Raum zu erbringende Funktion bestimmt. Beispiele: Rechenzentrum, Küche, Gewerbehalle, Einzelhandel (mit Kühlprodukten).

8.1.1 Wärmeeinträge - Personenbestimmte Nutzungen

Für die personenbestimmten Nutzungen werden die internen Wärmequellen mit der objektspezifischen Personenbelegungsdichte variiert. Aus den Standard-Angaben der DIN V 18599-10 zu Vollnutzungsstunden der Arbeitshilfen und der max. spezifischen Leistung wird der Wärmeeintrag Arbeitshilfen berechnet (in der Regel auf Basis des Szenarios „mittel“):

$$\text{Gl. 8-1} \quad q_{i, \text{fac}} = P_{\text{fac, ab, area}} t_{v, \text{fac}}$$

$q_{i, \text{fac}}$ Wh/(m²d) Flächenbezogene Wärmeabgabe Arbeitshilfen pro Tag

$p_{\text{fac, ab, area}}$ W/m² Maximale spezifische Leistung Arbeitshilfen

$t_{v, \text{fac}}$ h/d Vollnutzungsstunden Arbeitshilfen

Die Personenbelegungsdichte und die Nutzungszeit des Gebäudes können in Blatt 2.5_in_Zone_Nutzungseinheit auch objektspezifisch erfasst werden. Die maximale spezifische Leistung Arbeitshilfen pro Flächeneinheit wird mittels Dreisatz über die Personenbelegungsdichte

auf den objektspezifischen Wert umgerechnet. Dabei wird angenommen, dass die personenbezogene spezifische Leistung Arbeitshilfen konstant, die flächenbezogene spezifische Leistung Arbeitshilfen also indirekt proportional zur Personenbelegungsdichte ist.

$$\text{Gl. 8-2} \quad P_{fac,ab,area,ist} = \frac{\rho_{p,std}}{\rho_{p,ist}} P_{fac,ab,area,std}$$

Die Vollnutzungsstunden Arbeitshilfen werden über die Nutzungszeit des Gebäudes angepasst.

$$\text{Gl. 8-3} \quad t_{v,fac,ist} = \frac{t_{nutz,ist}}{t_{nutz,std}} t_{v,fac,std}$$

8.1.2 Wärmeeinträge - Funktionsbestimmte Nutzungen

Für die funktionsbestimmten Nutzungen wird die Wärmeabgabe der Arbeitshilfen nicht variiert sondern entsprechend DIN V 18599-10 angesetzt. Für die Berechnung wird das Szenario „mittlere Wärmeabgabe der Arbeitshilfen“ angesetzt. Folgende Nutzungsprofile werden gesondert behandelt.

Für die Nutzungen 21 Serverraum, 14 Küche und 15 Küche Vorbereitung können die elektrischen Energiebedarfe für betriebliche Einrichtungen in Blatt 2.1_in_Gebäude auch direkt objektspezifisch erfasst werden. Wird dort eine Zonennummer eingetragen, wird die Wärmeabgabe der Geräte in dieser Zone als interne Wärmequelle berücksichtigt. Angenommen wird für das Profil 21 Serverraum eine Betriebszeit von 8760 h/a, für die Profile Küche und Vorbereitung wird die Wärmeabgabe nach Art der Küche und Anzahl der warmen Essen berechnet. Der Endenergiebedarf selbst in Form von Strombedarf - im Falle von Küchen auch als Gasbedarf - wird im Gewerk zentrale Dienste (ZD) ausgewiesen.

Wird keine Zonennummer eingetragen, wird der Strombedarf der betrieblichen Einrichtungen ebenfalls im Gewerk zentrale Dienste (ZD) auf Gebäudeebene ausgewiesen, aber nicht in der Zonenbilanz als Wärmeeintrag berücksichtigt.

Existiert neben der hier zugewiesenen Zone eine weitere Zone mit dem Nutzungsprofil "21 Rechenzentrum", so ergibt sich der Strombedarf für zentrale EDV im Gewerk zentrale Dienste (ZD) als Summe diese beiden Zonen. Der Wärmeeintrag wird in der Nutzungszone berücksichtigt, der das Profil 21 zugewiesen ist. Analoges gilt für eine weitere Zone mit dem Nutzungsprofil 14 Küche oder 15 Küche Vorbereitung.

Für das Nutzungsprofil Nr. 7: Einzelhandel/Kaufhaus (Lebensmittelabteilung mit Kühlprodukten) können aufgrund der Kühltheken negative Wärmeeinträge auftreten, wenn die Kondensatorwärme nach außen abgeführt wird. In TEK wird jedoch für die Klasse **Mittel** wie in der DIN V 18599-10 davon ausgegangen, dass die Kondensatorabwärme in der Zone freigesetzt wird. In dem Fall ergibt sich ein Wärmeeintrag von 85 Wh/(m²d) (Vollbetriebszeit 17 h/d; Leistungsaufnahme Kühlvittrinen 5 W/m²), das sind 5 h/d mehr Vollbetriebszeit und 3 W/m² mehr Leistungsaufnahme durch die Kompressoren als für ein Einzelhandelsgebäude ohne Kühlprodukte (siehe auch Tabelle Nutzungsprofile in Blatt 24_DB-Konstanten).

8.1.3 Elektrischer Energiebedarf der Arbeitshilfen

Der elektrische Energiebedarf der Arbeitshilfen berechnet sich aus der Wärmeabgabe pro Tag und den Nutzungstagen pro Jahr wie folgt:

$$\text{Gl. 8-4} \quad q_{fac} = \frac{q_{l, fac, ist} \cdot d_{nutz, ist}}{1000}$$

mit

q_{fac}	kWh/(m ² a)	Elektrischer Energiebedarf der Arbeitshilfen für eine Zone
$q_{l, fac, ist}$	Wh/m ² d	Wärmezufuhr aus Arbeitshilfen je Tag
$d_{nutz, ist}$	d/a	Erhobene jährliche Nutzungstage

Die Nutzungsprofile 21 Serverraum und 14+15 Küche und Vorbereitung sowie 7 Einzelhandel / Kaufhaus mit Kühlprodukten werden dabei gesondert bilanziert. Der elektrische Energiebedarf ihrer Arbeitshilfen wird immer unter Zentrale Dienste (ZD) bilanziert (vgl. Kap. 8.2, 8.3 und 8.4).

Die Werte der Wärmequellen aus Arbeitshilfen $q_{l, fac}$ enthalten keine dekorative Beleuchtung. Dekorationsbeleuchtung ist bei Beleuchtungsanlagen im objektspezifischen Modus zu erfassen und wird dort auch als Wärmeeintrag berücksichtigt.

8.2 Zentrale EDV - Serverraum

Der Energiebedarf der zentralen EDV kann den Energiebedarf des gesamten Gebäudes entscheidend beeinflussen. Die zentrale EDV umfasst die zentralen Einrichtungen von IT-Netzen, wie z.B. Server, Switches und Peripheriegeräte wie Speichermedien und USV; dazu gehören auch zentrale Telefonanlagen mit ihren Servern und Peripheriegeräten.

In TEK gibt es zwei Möglichkeiten, diesen zu quantifizieren.

1. Die individuelle Ausstattung des Gebäudes mit zentraler EDV wird auf Gebäudeebene beschrieben. Die Leistungsaufnahme der zentralen EDV wird aus der vom Anwender spezifizierten Anzahl sowie Leistung der Servereinheiten berechnet. Als Leistung wird die mittlere Leistung angesetzt. Als Standardwert können 500 Watt je Servereinheit angenommen werden. Dies ist das Ergebnis einer Auswertung unterschiedlicher Studien, die unten dokumentiert ist. Eine Servereinheit umfasst neben dem Server die Peripheriegeräte wie Switches, USV und Speichermedien. Die Betriebszeit wird mit 8760 Stunden pro Jahr angesetzt. Diese Betriebszeit bleibt bei der Betrachtung der zentralen EDV erhalten, auch wenn für die Zone (resp. Nutzungseinheit), der der Serverraum zugeordnet ist, objektspezifisch eine andere Nutzungszeit definiert wurde. Aus mittlerer Leistung und Betriebszeit wird der Endenergiebedarf bzw. die Wärmeeinträge in Wh/(m²d) berechnet.

Wird also die zentrale EDV einer Zone (durch Angabe einer Zonennummer) zugewiesen, so wird der Energiebedarf der zentralen EDV anstelle der Standardwerte nach DIN V 18599 für die angegebene Zone als Wärmeeinträge durch Arbeitshilfen in der thermischen Bilanz verwendet. Bei der Darstellung des End- sowie des Primärenergiebedarfs auf Gebäudeebene wird der Energiebedarf der zentralen EDV unter dem Gewerk Zentrale Dienste (ZD) bilanziert.

Existiert neben der Zone, der die zentrale EDV zugewiesen wurde, eine weitere Zone mit dem Nutzungsprofil "21 Rechenzentrum", so ergibt sich der Strombedarf für zentrale EDV im Gewerk zentrale Dienste (ZD) als Summe dieser beiden Zonen.

Wird bei der Erfassung der zentralen EDV auf Gebäudeebene eine nicht vorhandene Zonennummer oder keine Zonennummer angegeben, wird der definierte Endenergiebedarf zwar als Energiebedarf „Zentrale Dienste“ nicht aber in der thermischen Bilanz einer Zone berücksichtigt.

Die Wärmeeinträge durch Personen werden durch die Zuweisung der zentralen EDV zu einer Zone nicht berührt.

2. Es werden die Werte für Arbeitshilfen aus den Nutzungsrandbedingungen der DIN V 18599-10 herangezogen. Diese werden in der Berechnung verwendet, wenn kein individueller Wert auf Gebäudeebene definiert wird bzw. dieser Wert Null ist. Bei der Darstellung des End- sowie des Primärenergiebedarfs wird auch in diesem Fall der „Energiebedarf zentrale EDV“ unter dem Gewerk Zentrale Dienste (ZD) bilanziert.

Um die typische Leistungsaufnahme von Servereinheiten abzuschätzen, wurden folgende Studien ausgewertet:

- ISI und CEPE. (Januar 2003). *Der Einfluss moderner Gerätegenerationen der IuK-Technik auf den Energieverbrauch in Deutschland bis zum Jahr 2010, Anhang zum Abschlussbericht an das BMWT.* Karlsruhe / Zürich.
- LBNL, Jonathan G. Koomey, Ph.D. (February 15, 2007). *Estimating total Power Consumption by Servers in the US and the World.*
- US EPA ENERGY STAR Programm. (August 2007). *Report to Congress on Server and Data Center Energy Efficiency, Public Law 109-431.*

Es wird angenommen, dass die angegebenen Leistungen je Servereinheit die Stromaufnahme des Servers selbst inklusive der zugehörigen Peripherie, also Switchen, USV und Storage, beinhalten.

Als Fazit kann festgehalten werden, dass die mittlere Leistung einer durchschnittlichen Servereinheit mit 500 W bei 8760 Vollbenutzungsstunden pro Jahr abgeschätzt werden kann, wobei eine große Streuung der Werte auftritt. Im Folgenden sind die Studien kurz aufgezeigt.

SI und CEPE, Januar 2003

S. 34-36, 106+107

Gezeigt werden Werte aus dem Jahr 2010. Die mittlere Leistung der Server-Einheiten über das ganze Jahr liegt zwischen 220 und 3.500 Watt bei 8760 Betriebsstunden. Für den im TEK-Forschungsprojekt interessierenden Fall trifft am ehesten das untere Preissegment bis 25.000 € je Server zu. Der Energieverbrauch der Peripheriegeräte muss zu den angegebenen Werten hinzugerechnet werden.

Jahr: 2010		Energieverbrauch pro Gerät			
Gerätegruppe	Gerätetyp	Nennabtrieb			Leistung [W]
		Leistung [W]	Nutzzeit [h/a]	Verbrauch [kWh/a]	
Vernetzung	Router	40	8760	350,4	
	Hubs/Switches	1,5	8760	13,1	
Telefon/Sonstige Infrastruktur	Nebenstellen Anlage (Wart/Teilnehmer)	2	8760	17,5	
	Türsprechanlage	13	4	0,1	
Server				0,0	
	unteres Preissegment (< 25kEuro)	220	8760	1927,2	
	mittleres Preissegment (25-100kEuro)	1200	8760	10612,0	
	oberes Preissegment (>100kEuro)	3500	8760	30660,0	
USV ¹	für Router	0,92 [#]	8760	28,0	
	für Hubs/Switches	0,92 [#]	8760	1,1	
	für Server unteres Preissegment	0,92 [#]	8760	154,2	
	für Server mittleres Preissegment	0,92 [#]	8760	841,0	
	für Server oberes Preissegment	0,92 [#]	8760	2452,8	
Summe	Büro-Infrastruktur				

¹ Berechnung des Energiebedarfs über den Wirkungsgrad
[#] Wirkungsgrad

US EPA ENERGY STAR Programm, August 2007

S. 36, Table 2-5 Estimated Average Power Use (W) per Server, Server Class, 2000 to 2006

Die folgende Tabelle zeigt die Entwicklung der mittleren Leistungsaufnahme von Servern im Zeitverlauf. Für den vorliegenden Fall ist der Bereich zwischen „Volume“ und „Mid-Range Server“ plausibel. Der Energieverbrauch der Peripherie kommt auch hier hinzu.

Table 2-5. Estimated Average Power Use (W) per Server, by Server Class, 2000 to 2006

Server class	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Volume	186	193	200	207	213	219	225
Mid-range	424	457	491	524	574	625	675
High-end	5,534	5,832	6,130	6,428	6,973	7,651	8,163

Source: Derived from Koomey (2007)

LBNL, Jonathan G. Koomey, Ph.D., February 15, 2007

Anhang Table 4 ()

Gezeigt sind die mittleren Leistungen der drei Modelle mit dem höchsten Marktanteil. Dabei wird zwischen drei Serverklassen unterschieden. Für die vorliegende Fragestellung sind die Werte für die Klassen „Volume“ und „Mid-Range Servern“ relevant. Der Energieverbrauch der Peripherie kommt hinzu. Die hier angegebene „Typical Power“ beruht entweder auf Messwerten oder auf den Angabe des Typenschildes („rated input power“). Im ersten Fall stellt die typische Leistung dann bei „Volume servers“ 40% bzw. bei „Mid-range servers“ 66% der gemessenen Maximalleistung dar, im zweiten Fall sind es bei „Volume servers“ 25% bzw. bei „Mid-range servers“ 30% der Typenschildangaben.

Table 4: Top three models by server class for the U.S. and the world based on IDC 2005 shipments data

<i>Volume servers: US</i>		<i>Typical Power (W)</i>		<i>Notes</i>		<i>Volume servers: World</i>		<i>Typical Power (W)</i>		<i>Notes</i>	
<i>Brand</i>	<i>Model</i>					<i>Brand</i>	<i>Model</i>				
Dell	2850	231	2, 6			HP	DL380	222	3, 6		
HP	DL380	222	3, 6			Dell	2850	231	2, 6		
HP	DL360	187	3, 6			HP	DL360	187	3, 6		
Weighted average		217				Weighted average		218			
<i>Mid-Range servers: US</i>		<i>Typical Power (W)</i>		<i>Notes</i>		<i>Mid-Range servers: World</i>		<i>Typical Power (W)</i>		<i>Notes</i>	
<i>Brand</i>	<i>Model</i>					<i>Brand</i>	<i>Model</i>				
IBM	i5-520	495	4, 6			IBM	i5-520	495	4, 6		
IBM	p5 570	858	4, 6			IBM	p5 570	858	4, 6		
Sun	V490	554	5, 7			Sun	V490	554	5, 7		
Weighted average		641				Weighted average		638			
<i>High-end servers: US</i>		<i>Typical Power (W)</i>		<i>Notes</i>		<i>High-end servers: World</i>		<i>Typical Power (W)</i>		<i>Notes</i>	
<i>Brand</i>	<i>Model</i>					<i>Brand</i>	<i>Model</i>				
IBM	p5 595	14,190	4, 6			IBM	p5 595	14,190	4, 6		
HP	rp 8420	2,303	3, 6			HP	SUPERDOME	6,968	3		
Sun	E25K	15,840	5, 7			Sun	E25K	15,840	5, 7		
Weighted average		10,673				Weighted average		12,682			

For questions, contact Jonathan Koomey, 510-708-1970 C, jgkooomey@stanford.edu

(1) For each server class, models shown are ranked in order of their market share in 2005.

Market shares are not shown because of confidentiality concerns.

(2) Dell 2850 typical power based on maximum measured power from Dell online configurator <<http://www.dell.com/calc>>

(3) HP volume servers assume G4 versions. Typical power based on max. measured power from HP online configurator <[http://h30099.www3.hp.com/configurator/calc/Power Calculator Catalog.xls](http://h30099.www3.hp.com/configurator/calc/Power%20Calculator%20Catalog.xls)>

HP rp8420 based on maximum measured power from spec sheets. Superdome typical power taken from spec sheets.

(4) IBM models' typical power based on max. measured power from spec sheets.

(5) Sun models' typical power based on maximum rated input power from spec sheets.

(6) Max. measured power multiplied by 40% and 66% to get typical power use for volume and mid-range/high end servers respectively.

(7) Max. rated input power multiplied by 25%, 30%, and 40% to get typical power for volume, mid-range, and high end servers, respectively.

8.3 Gewerbeküche

Der Energiebedarf von Gewerbeküchen kann den Gesamtenergiebedarf des Gebäudes entscheidend beeinflussen. Der Energiebedarf von Gewerbeküchen ist dabei abhängig von der Anzahl der Essen und der Art des gastronomischen Betriebes. In TEK stehen zwei Optionen zur Definition der Arbeitshilfen von Gewerbeküchen zur Verfügung.

1. Art und Größe der Gewerbeküche wird auf Gebäudeebene individuell definiert. Dazu sind folgende Größen anzugeben:
 - Anzahl der Essen pro Woche sowie Wochen pro Jahr mit Kantinenbetrieb. Hieraus werden die Essen pro Jahr berechnet.
 - Abhängig von der Art des gastronomischen Betriebes werden folgende Werte als Energiebedarf pro Essen angesetzt:

	kWh/Essen
Restaurant gehoben	4,24
Restaurant normal	1,55
Selbstbedienungsrestaurant mit zusätzlichem Verkaufsstand	2,30
Kantine	2,08
Kantine, Aufwärmküche	1,48
Schnellimbiss	0,43

Tabelle 8-1: Typischer Energieaufwand für Kochen, Spülen und Kühlen von Gewerbeküchen (ohne Beleuchtung, Lüftung/Klima)

Die Ermittlung der spezifischen Energiebedarfe je zubereitetem Essen wird unten beschrieben.

Beim Kochen mit Gas werden in der Endenergie- und Primärenergiebilanz 40 % des Energiebedarfs als Gas und 60 % als elektrische Energie angesetzt. Beim Kochen mit Strom wird 100 % als elektrische Energie gerechnet.

Der Energiebedarf der Küche wird anstelle der Standardwerte der DIN V 18599 für die angegebene Zone als Wärmeeinträge durch Arbeitshilfen in der thermischen Bilanz verwendet. Bei der Darstellung des End- sowie des Primärenergiebedarfs wird der Energiebedarf von Gewerbeküchen unter Zentrale Dienste (ZD) bilanziert.

Wird zur Erfassung der Gewerbeküchen auf Gebäudeebene eine nicht vorhandene Zonennummer oder keine Zonennummer angegeben, wird der definierte Endenergiebedarf zwar als Energiebedarf der „Zentralen Dienste“ nicht aber in der thermischen Bilanz einer Zone berücksichtigt.

Die Wärmeeinträge durch Personen werden durch die Zuweisung einer Gewerbeküche zu einer Zone nicht berührt.

- Es werden die Werte für Arbeitshilfen aus den Nutzungsrandbedingungen der DIN V 18599 Teil 10 herangezogen. Diese werden in der Berechnung verwendet, wenn kein individueller

Wert auf Gebäudeebene definiert wird bzw. dieser Null ist. Bei der Darstellung des End- sowie des Primärenergiebedarfs wird auch in diesem Fall der Energiebedarf der Gewerbeküchen unter Zentrale Dienste (ZD) bilanziert.

Die Teilenergiekennwerte für den Strombedarf rund um die Zubereitung der Speisen, also für Kochen, Spülen und Kühlen, wurden aus Angaben in der Literatur abgeleitet. Als wesentliche Grundlage diente die RAVEL-Studie „Energieverbrauch von gewerblichen Küchen“ (Nr. 724.397.13 d, Februar 1992). Darin wurden gewerbliche Küchenarten in folgenden fünf Gastronomiebetrieben hinsichtlich des Energieverbrauchs untersucht:

- Landgasthof
- Kantine im Alten- und Pflegeheim
- Selbstbedienungsrestaurant mit zusätzlichem Verkaufsstand in einem Supermarkt
- Kantine in einem Kantons-Krankenhaus
- Schnellimbiss

Es lagen die Jahreswerte des Stromverbrauchs sowie Tageswerte der Stromverbräuche der Küchen und Restaurantbereiche über je ca. zwei Wochen vor. Außerdem waren die wichtigsten Dienstleistungskennwerte – Anzahl warme Gedecke, Anzahl Gäste und Umsatz – als Tageswerte in der Messperiode erhoben worden. Die Anteile für Kochen, Spülen, Kühlen sowie für Beleuchtung und Lüftung/Klimatisierung lagen als Prozentangabe getrennt vor. Dadurch konnten die Stromverbräuche für Kochen, Spülen und Kühlen getrennt ermittelt werden. Die Ergebnisse zeigt Abbildung 8-1.

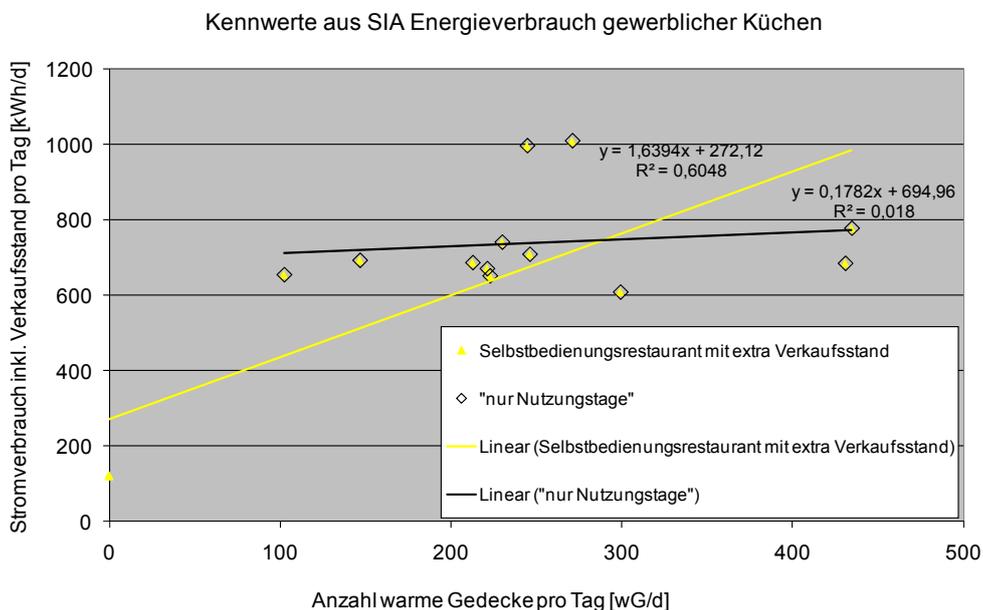


Abbildung 8-1: Kennwerte des täglichen Stromverbrauchs für Kochen, Spülen und Kühlen in Abhängigkeit von der Anzahl der warmen Gedecke

Abbildung 8-1 zeigt den täglichen Stromverbrauch für ein „Selbstbedienungsrestaurant mit extra Verkaufsstand“ in Abhängigkeit von der Anzahl der ausgegebenen Essen. Die Tageswerte des Stromverbrauchs sind weitgehend konstant. Es gibt keine deutliche Abhängigkeit von der Anzahl

warmer Gedecke oder der Anzahl der Gäste. Dies deutete auf einen hohen Grundlastanteil der Arbeitshilfen hin. Der Stromverbrauch ist also im Wesentlichen abhängig vom Komfortniveau des Restaurants, vom Platzwechsel und der damit verbundenen Auslastung der Küche. Es stellen sich für jede Kategorie von Restaurant charakteristische Verkaufszahlen und Stromverbräuche ein.

Die in folgender Abbildung 8-2 angegebenen Kategorien von gastronomischen Betrieben wurden in der Schweizer Studie unterschieden. Zu jeder Kategorie wird eine Reihe von charakteristischen Kennwerten zur Einordnung aufgeführt und der spezifische Energiebedarf pro warmem Essen angegeben. In der Regel können die Kategorie und die Anzahl warmer Gedecke in einem charakteristischen Zeitraum bei Gebäudebegehungen leicht ermittelt und zur Grundlage der Abschätzung der Energiebedarfs für Kochen, Spülen und Kühlen in der Küche gemacht werden.

Kategorie des gastronomischen Betriebs	Bemerkungen / Merkmale	Warme Gedecke pro Mahlzeit	warme Gedecke pro Sitzplatz	Grundfläche der Küche	Grundfläche Gastraum	Nutzungstage pro Woche	Energiebedarf Kochen, Spülen, Kühlen pro warmem Gedeck kWh/wG
		wG/Mahlzeit	wG/Sitzplatz	m ² /Gedeck	m ² /Sitzplatz	d/w	
Restaurant, gehoben	geringer Platzwechsel	1		0,7	1,8 - 2,0	7	4,2
Restaurant, normal	mittlerer Platzwechsel	1,5		0,4 - 0,5	1,6 - 1,8	6	1,5
Selbstbedienungsrestaurant	hoher Platzwechsel, z. B. Restaurant im Kaufhaus mit gesonderter Verkaufstheke o.ä.	2 - 3		0,5 - 0,6	1,4 - 1,6	6	2,3
Kantine	wie Restaurant normal	ca. 2				1,3	1,5
Schnellimbiss	sehr hoher Wechsel, hoher Anteil vorgekochter Speisen	3 - 5	6 - 8			7	0,4
Krankenhaus	zusätzlich werden Patienten in den Krankenzimmern versorgt	ca. 2	2 - 3			1,3	2,1
Kantine Aufwärmküche	vorgekochte Speisen werden nur aufgewärmt, z. B. in einer Kantine	ca. 2				1,3	1,5

Abbildung 8-2 Spezifische Kennwerte des Energiebedarfs und der Nutzung verschiedener kategorien von Restaurants

8.4 Einzelhandel/Kaufhaus mit Kühlprodukten

Das Nutzungsprofil Nr. 7: Einzelhandel/Kaufhaus (Lebensmittelabteilung mit Kühlprodukten) wird hinsichtlich des elektrischen Energiebedarfs der Kühlmöbel als Zentraler Dienst behandelt (siehe auch Kap. 8.1.3), d.h. der Stromverbrauch der Kühlmöbel wird immer in ZD und die restlichen Geräte in AH bilanziert. Der Wärmeeintrag wird immer in der Zone berücksichtigt. Für das Profil können aufgrund der Kühlmöbel negative Wärmeeinträge auftreten, wenn die Kondensatorabwärme nach außen abgeführt wird.

Sollte es mehr als eine Zone mit dem Nutzungsprofil Nr. 7 geben, werden die Wärmeeinträge über die Summe der Flächen berechnet bzw. verteilt.

Es gibt einen Berechnungsmodus „vereinfacht“, der nur die Art der Kälteerzeugung auswählbar macht und damit die Höhe des Wärmeeintrags bzw. Wärmeentzugs verändert. In Blatt 41_AH-DT-ZD erfolgt die Berechnung. Als elektrischer Energiebedarf für Geräte, die zu den AH gezählt werden, werden spezifische Leistung und die Vollbetriebszeit aus Profil Nr. 6 Einzelhandel / Kaufhaus nach DIN V 18599-10:2012-11 der Klasse „mittel“ verwendet, die in 24_DB_Konstanten auch für das Nutzungsprofil 7 Einzelhandel/Kaufhaus (Lebensmittelabteilung mit Kühlprodukten) eingetragen sind. Für die Kühlmöbel werden die Vollbenutzungsstunden von 17 h/d und die max. spez. Leistung nur der Kühlmöbel eingesetzt. Dabei wird angenommen, dass die Kühlmöbel selbst eine

Leistungsaufnahme haben, die sich aus der Differenz des Standardwerts 5 W/m² für die spezifische Leistung aller Arbeitshilfen in Nutzungsprofil 7 (inkl. der Kühlmöbel) und den Werten aus Einzelhandel ohne Kühlmöbel (Profil Nr. 6) ergibt.

Im Berechnungsmodus „objektspezifisch“ kann mit Hilfe von spezifischen Energiedaten verschiedener Kühlmöbeltypen aus SIA 380/4:2006 der elektrische Energiebedarf für das Gewerk ZD direkt berechnet werden. Die Wärmequellen oder –senken werden daraus abgeschätzt, indem dieselben Verhältnisse von Wärmequelle zu elektrischem Energiebedarf angesetzt werden wie in der DIN V 18599. Der Anteil an elektrischem Energiebedarf für die AH wird wie oben in „vereinfacht“ berechnet.

8.5 Wärmeeinträge von Personen

Die Wärmeeinträge von Personen werden entweder mit den Standardangaben der DIN V 18599:2011-12 Teil 10 oder auf Grundlage der objektspezifischen Angaben zu Personenbelegungsichte und Nutzungszeit berechnet. Entscheidend ist die Berechnungseinstellung „Interne Wärmequellen – Arbeitshilfen und Personen“ in Blatt 0.2_in_Projekt.

Dabei wird bei der Einstellung „objektspezifisch“ nach personenbezogenen und funktionsbezogenen Nutzungen unterschieden. Für erstere kann die Belegungsichte direkt in Blatt 2.5_in_Zone-Nutzung eingegeben werden, für letztere werden die Standardwerte eingesetzt und das entsprechende Eingabefeld weiß formatiert.

In jedem Fall wird die spezifische Wärmeabgabe pro Person $p_{p,ab,pers}$ entsprechend dem Anhang A der DIN V 18599-10 verwendet.

$$\text{Gl. 8-5} \quad q_{l,p} = \frac{p_{p,ab,pers}}{\rho_p} t_{v,p}$$

mit

$q_{l,p}$	Wh/(m ² d)	Flächenbezogene Wärmeabgabe der Personen der jeweiligen Zone
$p_{p,ab,pers}$	W/P	Spezifische Wärmeabgabe pro Person von 70 W/P nach DIN V 18599-10:20011-12
ρ_p	m ² /Person	maximale Personenbelegungsichte der jeweiligen Zone nach DIN V 18599-10 oder objektspezifisch
$t_{v,p}$	h/d	Vollnutzungsstunden Personen nach DIN V 18599-10 oder objektspezifisch

Während die objektspezifische Personenbelegungsichte direkt in Blatt 2.5_in_Zone-Nutzungseinheit eingegeben werden kann, wird die objektspezifische Vollbenutzungszeit Personen $t_{v,p,ist}$ aus der zugehörigen Nutzungszeit pro Tag $t_{nutz,ist}$, die ebenfalls in Blatt 2.5 eingegeben werden kann, abgeleitet:

$$\text{Gl. 8-6} \quad t_{v,p,ist} = \frac{t_{nutz,ist}}{t_{nutz,std}} t_{v,p,std}$$

8.6 Sonstige Zentrale Dienste

Unter „Sonstigen Zentralen Diensten“ werden zusammengefasst:

- Schwachstromanlagen wie Gebäudemanagementsysteme, Brandmeldeanlagen, Schließanlagen und Zugangskontrollsysteme
- Videoüberwachungsanlagen,
- Mitarbeiterküchen, Kaffeemaschinen und Kühlschränke sowie
- Verluste der elektrischen Energieversorgung.

Im Berechnungsmodus „vereinfacht“ wird pauschal ein Wert von 2,5 kWh/(m²a) bezogen auf die Energiebezugsfläche A_{EBZ} berücksichtigt. Dieser Wert ergibt sich in Anlehnung an die VDI 3807-4:2008, Kapitel 6.5 im Mittel zwischen „Mittelwert“ und „Grenzwert“.

Im Berechnungsmodus „objektspezifisch“ ist eine genauere Erfassung der installierten Anlagen möglich (siehe Mittelwerte in Tabelle 8-2. Die spezifischen Energiebedarfe sind nach den Richtwerten der SIA 380/:2006 bzw. VDI 3807-4:2008 angenommen, die Kategorien „Hoch“ und „Grenzwert“ um jeweils 20% nach oben bzw. unten linear extrapoliert.

Für Schwachstromanlagen und Videoüberwachungsanlagen werden die Mittelwerte angesetzt. Bei den Schwachstromanlagen wird linear nach Anzahl der tatsächlich vorhandenen Anlagen interpoliert.

Sonstige Zentrale Dienste	Hoch	Mittelwert	Grenzwert	
Je Schwachstromanlage				
Gebäude > 1.000 m ² NGF	0,84	0,70	0,56	kWh/m ² _N GfA
Gebäude ≤ 1.000 m ² NGF	1,15	0,95	0,75	
Videoüberwachungsanlage (bezogen auf die überwachte Fläche)	0,72	0,6	0,48	kWh/m ² _{üb} .Fl.a
Verluste der elektrischen Energieversorgung	Messung auf Mittelspannungsebene 4%	Messung auf Niederspannungsebene mit Blindstromkompensation 1,5%	Messung auf Niederspannungsebene mit Blindstromkompensation 0,7%	Bezogen auf den Bedarf an elektrischer Energie
Cafeteria (bzw. alternativ Mitarbeiterküchen, Kaffeemaschi-	0,4	0,3	0,2	kWh/m ² _N GfA

nen, Kühlschränke)				
--------------------	--	--	--	--

Tabelle 8-2: Typische Werte für den elektrischen Energieverbrauch von zentralen Schwachstromanlagen und Verlusten der elektrischen Energieversorgung nach SIA 380/4:2006 und Cafeterien nach VDI 3807–4:2008

8.7 Diverse Technik

Aufzüge:

Sind Aufzüge vorhanden, so wird der Energiebedarf im Berechnungsmodus „vereinfacht“ pauschal mit $2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ bezogen auf die Energiebezugsfläche A_{EBZ} berücksichtigt [VDI 3807 Blatt 4 – Mittelwert].

Eine objektspezifische Berechnungsart wird im Zuge der anstehenden Überarbeitung noch implementiert.

Zentrale Großverbraucher:

Hier können in der bisherigen (Gebäude-)Bilanz nicht berücksichtigte Energieverbraucher erfasst werden. Der entsprechende Energiebedarf wird nicht in der thermischen Bilanz berücksichtigt, sondern lediglich als End- und Primärenergiebedarf auf Gebäudeebene unter der Rubrik Diverse Technik ausgewiesen.

9 Berechnung der Referenz-Teilenergiekennwerte und Vergleich mit den Istwerten

In TEK werden objektspezifische Teilenergiekennwerte des Istzustands eines Gebäudes mit sog. Referenz-Teilenergiekennwerten verglichen, um den Energieaufwand für verschiedene Gewerke in den unterschiedlichen Nutzungszonen zu bewerten. Als Grundlage für die Energieaufwandsbewertung werden in TEK tabellierte Teilenergiekennwerte herangezogen, die für unterschiedliche Gewerke und 45 Standardnutzungsprofile der DIN V 18599-100:2009-10, Teil 10 für typische Ausprägungen der Gewerke mit dem TEK-Tool berechnet wurden. Diese werden als Referenz-Teilenergiekennwerte (Referenz-TEK) bezeichnet, in Abgrenzung zu den für das zu analysierende Objekt berechneten objektspezifischen Teilenergiekennwerten (Objekt-TEK). Beide werden mit den gleichen Algorithmen aber mit unterschiedlichen Randbedingungen berechnet.

Die Referenz-TEK sind für folgende Gewerke berechnet:

- Heizung
- Warmwasser (besondere nutzungseinheitsbezogene Berechnung, Abschnitt 9.4)
- Beleuchtung
- Luftförderung
- Kälte
- Befeuchtung/Dampf
- Arbeitshilfen (besondere Berechnung in Abschnitt 9.5).

Für jedes Gewerk werden Referenz-TEK in fünf Energieaufwandsklassen bestimmt. Dazu werden typische Ausprägungen von Baukörper und Anlagentechnik angenommen, die etwa folgenden Effizienzstandards entsprechen:

Energieaufwandsklasse	Interpretation
Sehr gering	Entspricht etwa einem energieeffizienten Neubau, bei dem auch nicht wirtschaftliche Effizienztechniken eingesetzt werden.
Gering	Entspricht etwa einem Neubau mit in der Regel wirtschaftlichen Effizienztechniken (Referenzgebäude EnEV 2009)
Mittel	Entspricht etwa dem Mittelwert für alle bestehenden Gebäude gemäß Mittelwerten [BMVBS 2009b] entsprechend Vergleichswerten nach EnEV 2007
Hoch	Entspricht etwa nicht modernisierten Bestandsgebäuden
Sehr Hoch	Entspricht etwa nicht modernisierten Bestandsgebäuden mit offensichtlichen energetischen Defiziten

Tabelle 9-1: Energieaufwandsklassen der Referenz-TEK und ihre Interpretation

Die TEK-Bewertung erfolgt auf Endenergieebene, da nur hier die Beziehung zwischen Energiekennwert in kWh/(m²a), spezifischer Leistung in W/m² und Vollbetriebszeit in h/a sinnvoll interpretiert werden kann.

tiert werden kann. Je Gewerk und Energieaufwandsklasse werden auf Zonenebene für die unterschiedlichen Nutzungen

- der Endenergiekennwert in kWh/(m²a)
- die spezifische Leistung in W/m² (Anteil an der Leistungsaufnahme des Erzeugers)
- und die Vollbetriebszeit

berechnet und tabellarisch dargestellt.

Die zur Berechnung der Referenz-TEK angesetzten Randbedingungen werden im Folgenden dokumentiert. Dabei wird unterschieden zwischen:

- Randbedingungen, die für alle Energieaufwandsklassen gleich sind
- Randbedingungen, die sich zwischen den Energieaufwandsklassen unterscheiden.

Die Randbedingungen zur Berechnung wurden dabei so gewählt, dass ausgehend von den Effizienzstandards aus Tabelle 9-1 eine sinnvolle Abstufung zwischen den einzelnen Klassen erreicht wird. Hierzu war es punktuell notwendig, nicht dem typischen Fall entsprechende Ausprägungen anzusetzen.

Ob die Referenz-TEK und damit die Wahl der Randbedingungen in einer für die energetische Bewertung sinnvollen Größenordnung liegen, soll im Rahmen der Phase 2 Gebäudeanalysen des Forschungsprojekts TEK ermittelt werden. In die hier aufgeführten Randbedingungen und Referenz-TEK ab der Version 5.6 sind bereits erste Erkenntnisse aus der Feldphase eingeflossen.

9.1 Für alle Energieaufwandsklassen gleiche Randbedingungen

9.1.1 Klima

Es wird das Standardklima der DIN V 18599:2007-02 verwendet.

9.1.2 Nutzung

Es werden die Standardnutzungsprofile der DIN V 18599-Teil 100:2009; Teil 10 Tabelle 4 verwendet (mittel). Eine Variation mit der Energieaufwandsklasse erfolgt nicht.

9.1.3 Geometrie der Zonen

Die Geometrie der Zonen wurde in Anlehnung an [Knissel 2005] und [Lichtmeß 2010] wie in folgt festgelegt.

	Fenster							
	Grundfläche m ²	Raumhöhe m	Fensterhöhe m	SOW m ²	Fenster N m ²	Dach m ²	Boden m ²	Außenwand m ²
01 Einzelbüro	18,0	3,0	1,5	4,5	1,1	6,8	6,9	5,7
02 Gruppenbüro	36,0	3,0	1,5	9,0	2,3	13,7	13,7	11,4
03 Großraumbüro	144,0	3,0	1,5	36,1	9,0	54,8	54,9	45,5
04 Sitzung	36,0	3,0	1,5	9,0	2,3	13,7	13,7	11,4
05 Schalterhalle	100,0	4,0	2,0	22,7	5,7	38,0	38,1	55,5
06 Einzelhandel	400,0	4,0	2,0	90,9	22,7	152,2	152,5	221,9
07 Handel+Kühl	400,0	4,0	2,0	90,9	22,7	152,2	152,5	345,1
08 Klassenzimmer	100,0	3,0	1,5	25,0	6,3	38,0	38,1	31,6
09 Hörsaal	200,0	4,0	2,0	29,4	7,4	76,1	76,2	137,6
10 Bettzimmer	16,0	2,5	1,3	2,3	0,6	6,1	6,1	5,5
11 Hotelzimmer	16,0	2,5	1,3	2,3	0,6	6,1	6,1	5,5
12 Kantine	400,0	3,0	1,5	100,2	25,0	152,2	152,5	126,4
13 Restaurant	144,0	3,0	1,5	24,5	6,1	54,8	54,9	59,9
14 Küche	36,0	3,0	1,5	6,1	1,5	13,7	13,7	23,3
15 Küche Lager, Vorbereit.	36,0	3,0	1,5	3,3	0,8	13,7	13,7	18,6
16 WC, Sanitär	18,0	3,0	1,5	1,6	0,4	6,8	6,9	9,3
17 sonstige Aufenthaltsräume	36,0	3,0	1,5	6,1	1,5	13,7	13,7	15,0
18 Nebenflächen	18,0	3,0	1,5	1,6	0,4	6,8	6,9	9,3
19 Verkehrsfläche	24,0	3,0	1,5	2,2	0,5	9,1	9,1	12,4
20 Lager, Technik	36,0	3,0	1,5	6,1	1,5	13,7	13,7	23,3
21 Rechenzentrum	36,0	3,0	1,5	6,1	1,5	13,7	13,7	23,3
22.1 Gewerbehalle (grobe Arbeiten)	400,0	4,0	2,0	58,9	14,7	152,2	152,5	275,2
22.2 Gewerbehalle (feine Arbeiten)	400,0	4,0	2,0	58,9	14,7	152,2	152,5	275,2
23 Zuschauer	200,0	6,0	3,0	52,2	13,0	76,1	76,2	206,4
24 Theaterfoyer	144,0	3,0	1,5	13,0	3,3	54,8	54,9	74,3
25 Theaterbühne	50,0	6,0	3,0	17,0	4,3	19,0	19,1	64,7
26 Messe, Kongress	800,0	6,0	3,0	272,6	68,2	304,3	304,9	665,7
27 Ausstellung	400,0	4,0	2,0	90,9	22,7	152,2	152,5	221,9
28 Bibliothek Lesesaal	400,0	3,0	1,5	100,2	25,0	152,2	152,5	126,4
29 Bibliothek, Freihand	36,0	3,0	1,5	6,1	1,5	13,7	13,7	15,0
30 Bibliothek Magazin	36,0	3,0	1,5	3,3	0,8	13,7	13,7	18,6
31 Sporthalle	800,0	7,0	3,5	382,1	95,5	304,3	304,9	589,9
32 Parkhaus	2500,0	2,5	1,3	355,0	88,8	951,0	952,9	1348,1
33 Parkhaus öffentlich	5000,0	2,5	1,3	710,0	177,5	1902,0	1905,8	2696,2
34 Saunabereich	36,0	3,0	1,5	6,1	1,5	13,7	13,7	15,6
35 Fitnessraum	36,0	4,0	2,0	8,2	2,0	13,7	13,7	20,8
36 Labor	36,0	3,0	1,5	3,3	0,8	13,7	13,7	19,2
37 Behandlungsraum	36,0	3,0	1,5	9,0	2,3	13,7	13,7	12,0
38 Spezialpflegebereiche	36,0	3,0	1,5	9,0	2,3	13,7	13,7	12,0
39 Flure (Pflegebereich)	24,0	3,0	1,5	2,2	0,5	9,1	9,1	12,8
40 Arztpraxen	144,0	3,0	1,5	36,1	9,0	54,8	54,9	48,1
41 Lagerhalle	400,0	6,0	3,0	136,3	34,1	152,2	152,5	347,2
42 Wohnen (EFH)	80,0	2,8	1,3	12,5	3,1	30,4	30,5	31,8
43 Wohnen (MFH)	240,0	2,8	1,3	37,5	9,4	91,3	91,5	95,5

Tabelle 9-2: Definition der Zonengeometrie zur Berechnung der Referenz-TEK

9.1.4 Sonstiges

Verschattung

Horizontverschattung mittel (20 bis 39°)

Überhangverschattung keine (bis 9°)

Seitliche Verschattung keine (bis 9°)

Mindest-Zulufttemperaturen RLT-Anlage

Heizfall: 18°C

Kühlfall: 20°C

Jahresprofil der Kältelast

saisonale Kälte- und Bandlast

Dampferzeugung

Elektrischer Dampferzeuger.

9.2 Randbedingungen, die sich je Energieaufwandklasse unterscheiden

Zur Berechnung der Referenz-TEK (ab Version 5.6) werden folgende unterschiedliche Randbedingungen je Energieaufwandklasse angesetzt. Diese sollen alle möglichen Fälle abbilden. So sind z.B. bei den RLT-Anlagen alle Luftbehandlungsfunktionen abgebildet und in allen Nutzungszonen Ventilatorkonvektoren als Raumkühlsysteme angesetzt, um die entsprechenden Referenz-TEKs zu generieren. Eine Nutzungszone, die nur beheizt und nicht gekühlt ist, wird auch nur mit Kennwerten verglichen, die für die gleichen Komfortanforderungen ermittelt wurden.

		sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch
Baukörper - U-Wert						
Außenwand	W/(m²K)	0,12	0,28	0,60	1,00	1,40
Dach	W/(m²K)	0,10	0,20	0,50	1,00	2,10
Kellerdecke	W/(m²K)	0,15	0,35	0,80	1,00	1,50
Fenster O,S,W	W/(m²K)	0,86	1,44	2,49	3,72	3,72
Fenster N	W/(m²K)	0,86	1,44	2,49	3,72	3,72
Baukörper - g_tot-Wert						
Fenster O,S,W	-	0,07	0,09	0,29	0,78	0,78
Fenster N	-	0,30	0,47	0,78	0,78	0,78
Baukörper - sonstige Angaben						
Sonnenschutz – Steuerung		strahlungsab.	man. od. Zeit	man. od. Zeit	man. od. Zeit	man. od. Zeit
Bauschwere	-	mittelschwer	mittelschwer	mittelschwer	leicht	leicht
Luftdichtheit	-	Neubau, n50-Test und RLT	Neubau, n50-Test ohne RLT	Bestand, ohne n50-Test	Bestand, ohne n50-Test	Bestand, undicht
Wärmebrückenzuschlag	W/(m²K)	0,05	0,05	0,1	0,1	0,15

		sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch
Heizungsanlage						
Erzeugerart		BWK verb.	BWK ab 95	NTK ab 95	NTK vor 95	KTK ab 95
Baualter Verteilung (Dämmstandard)		ab 1995	ab 1995	1980 - 1994	bis 1979	bis 1979
Lage horizontale Verteilung		beheizt	unbeheizt	unbeheizt	unbeheizt	unbeheizt
Heizungsbetrieb Nachts		Abschaltung	reduziert	reduziert	reduziert	durchgehend
Heizungsbetrieb Wochenende		Abschaltung	reduziert	reduziert	reduziert	durchgehend
Beleuchtungsanlage						
Lampenart		Lsl stab - EVG	Lsl stab - EVG	Lsl kmp -ex EVG	Lsl kmp -ex KVG	Halogenl.
Beleuchtungsart		direkt	direkt / indirekt	direkt / indirekt	indirekt	direkt
Steuerung		dim - aus	manuell	manuell	manuell	manuell
Präsenzmelder		ja	ja	nein	nein	nein
Blendschutz - Steuerung		lichtlenkend	manuell	manuell	manuell	manuell
		sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch
RLT-Anlage		Büro-ähnlich				
Vol.-Regelung		bedarfsabh.	konstant	konstant	konstant	konstant
Dimensionierungsfaktor	% von hyg. Mind.- Vol.	100%	100%	125%	150%	200%
spez. Ventilatorleistung	kW/(m ³ s)	ZL 1,0 ⁵ AL 0,7	ZL 1,5 ⁶ AL 1,0	ZL 2,1 ⁷ AL 1,5	ZL 2,7 AL 1,9	ZL 3,4 AL 2,4
WRG - Typ		Wär. + Feuch.	Wärme	Wärme	Wärme	keine
Rückgewinnungsgrad		75%	60%	45%	45%	-
Feuchteanforderung		mit Toleranz	mit Toleranz	mit Toleranz	mit Toleranz	mit Toleranz

⁵ Entspricht einem energieeffizienten Neubau-Standard in Anlehnung an [Hörner 2003b].

⁶ Entspricht einem Neubau-Standard nach EnEV 2009.

⁷ Entspricht einem durchschnittlichen Bestandsgebäude in Anlehnung an [Hörner 2003b].

RLT-Anlage		Sonstige (mit Konditionierung)				
Vol.-Regelung		bedarfsabh ⁸	Konstant oder Variabel (Zeit, Nutzung)	Konstant oder Variabel (Zeit, Nutzung) ⁹	konstant	konstant
Dimensionierungsfaktor	% von hyg. Mind.-Vol.	100%	100%	125%	150%	200%
spez. Ventilatorleistung	kW/(m ³ s)	ZL 1,0 AL 0,7	ZL 1,5 AL 1,0	ZL 2,1 AL 1,5	ZL 2,7 AL 1,9	ZL 3,4 AL 2,4
WRG - Typ		Wär. + Feuch.	Wärme	Wärme	Wärme	keine
Rückgewinnungsgrad		75%	60%	45%	45%	-
Feuchteanforderung		mit Toleranz	mit Toleranz	mit Toleranz ¹⁰	mit Toleranz	mit Toleranz
RLT-Anlage		Sonstige (ohne Konditionierung: Parkhaus privat und öffentlich)				
Vol.-Regelung		bedarfsabh.	Variabel (Zeit, Nutzung)	Variabel (Zeit, Nutzung)	konstant	konstant
Dimensionierungsfaktor	% von hyg. Mind.-Vol.	100%	100%	125%	150%	200%
spez. Ventilatorleistung	kW/(m ³ s)	ZL 0,43 AL 0,39	ZL 0,77 AL 0,68	ZL 1,33 AL 1,15	ZL 1,66 AL 1,43	ZL 2,01 AL 1,78
WRG - Typ		keine	keine	keine	keine	keine
Rückgewinnungsgrad		-	-	-	-	-
Feuchteanforderung		-	-	-	-	-
Hilfsenergie Kälte						
Effizienz der Kälteverteilung		gering	gering	mittel	mittel	hoch
Kälteerzeugung						
Wärmeabfuhr Kältemaschine (Kondensator)		Wassergekühlt (Primärkreis) durch Rückkühlwerk (bei unbekannt)				
Verdichterart / Teillastregelung		Wassergekühlt - Kolben-/Scrollverdichter - mehrstufig	Wassergekühlt - Kolben-/Scrollverdichter - ein/aus (bei unbekannt)		Wassergekühlt - Kolbenverdichter - Zylinderabschaltung	
Kaltwassertemperatur Kältemaschine		variabel (moderne Anlagen; Verdichter u. Expansionsventil geregelt)	konstant (bei unbekannt)			
Kaltwasser-Austritt Kältemaschine		14 °C	6 °C (bei unbekannt)			
Rückkühlwerk (bei wassergekühlt)		Verdunstungsrückkühler - geschlossener Kreislauf	Trockenrückkühler (bei unbekannt)			
Jahresprofil der Kältelast		saisonale Kälte- und Bandlast (z.B. Einzelhandel mit Kühlprodukten)				

Tabelle 9-3: Randbedingungen zur Berechnung der Referenz-TEK

⁸ Bei Nutzungszonen mit überwiegend oder ausschließlich Gebäude-bezogenen, also ohne Personen-bezogenem Mindestaußenluftvolumenstrom, wie z.B. Küche und Küche (Lager, Vorbereitung), Gewerbehallen, Theaterbühne, Parkhaus, Saunabereich, Labor, Lagerhalle wird in der Energieaufwandsklasse „Sehr gering“ statt bedarfsabhängiger Regelung die Einstellung wie bei „gering“ gewählt.

⁹ Nutzungszonen Hotel, Kantine, Restaurant, Küche, Gewerbehallen, Theaterbühne, Messe, Sporthalle, Parkhaus, Labor, Saunabereich, Fitnessraum, Lagerhalle mit Einstellung der Volumenstromregelung auf „Variabel (Zeit, Nutzung)“ als zweistufige Anlage abgebildet, die zu 50% der täglichen Anlagenbetriebszeit auf 50% des Nennvolumenstroms reduziert wird.

¹⁰ Ausnahme Saunabereich: Ohne Feuchteanforderung und ohne Kühlung.

Die Sturzhöhe wird abhängig von der Raumhöhe wie folgt definiert:

	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch
Sturzhöhe in % der lichten Raumhöhe	100%	90%	80%	70%	70%

Für den Stromverbrauch der Heizungsverteilung werden keine Referenz-TEK berechnet, da dieser Energiebetrag unter „Diverse Technik“ subsummiert wird.

9.3 Spezifische Leistung und Vollbetriebszeit für Wärme-, Kälte- und Dampferzeugung

9.3.1 Zonenebene

Für Heizung, Kälte und Dampf sind zunächst aus der TEK-Berechnung nur die Endenergiekennwerte je Zone bekannt. Diese ergeben sich aus dem Endenergiebedarf der jeweiligen Erzeuger und der zonenweisen Rückrechnung über die jeweiligen Anteile am Erzeugernutzwärme(-kälte)bedarf.

Die spezifische Leistung und Vollbetriebszeit je Zone werden wie folgt berechnet.

Die Vollbetriebszeit wird auf Nutzenergieebene bestimmt. Hier liegen je Zone die Nutzenergiekennwerte und die maximale Heiz- bzw. Kühllasten (Raum + RLT) vor. Als Nutzenergiekennwert wird die Erzeugernutzwärme(kälte)abgabe herangezogen, die neben dem Nutzwärme(kälte)bedarf von Raumsystem und RLT-Anlage auch den Aufwand für Übergabe, Verteilung und Speicherung umfasst. Die Verwendung der Erzeugernutzwärme(kälte)abgabe anstatt der reinen Nutzenergie der Zone führt zu etwas längeren Vollbetriebszeiten. Dies hat den Vorteil, dass keine unsinnigen Vollbetriebszeiten berechnet werden für den Fall, dass der Nutzwärme(kälte)bedarf Raum+RLT Null aber die Erzeugernutzwärme(kälte)abgabe aufgrund der Verteilverluste größer als Null ist. Aus Erzeugernutzwärme(kälte)abgabe und maximaler Raumheiz- bzw. -kühlleistung wird die Vollbetriebszeit auf Nutzenergieebene bestimmt. Sodann wird angenommen, dass in erster Näherung die Vollbetriebszeiten auf Nutzenergie- und Endenergieebene identisch sind. Damit ist die Vollbetriebszeit auf Endenergieebene bekannt und es kann aus Endenergiebedarf und Vollbetriebszeit die spezifische Heiz-, Kühl- bzw. Dampferzeugungsleistung auf Endenergieebene berechnet werden.

9.3.2 Anlagenebene

Auf der Anlagenebene wird der anteilige Endenergiebedarf jedes zentralen Wärmeerzeugers gemäß Deckungsanteil berechnet (vgl. Kap 5.4.1) und auf die gesamte von zentralen Wärmeerzeugern beheizte Fläche bezogen

Die Feuerungswärmeleistung¹¹ $P_{f,h}$ der einzelnen Wärmeerzeuger ergibt sich hier in TEK, aus der Nennleistung P_n und der Erzeugeraufwandszahl e_n .

¹¹ Die Feuerungswärmeleistung ist der auf den [unteren Heizwert](#) bezogene [Wärmeinhalt](#) des Brennstoffs, der einer [Feuerungsanlage](#) im Dauerbetrieb je Zeiteinheit zugeführt werden kann. Aus der Feuerungswär-

$$\text{Gl. 9-1} \quad P_f = P_n e_h$$

Die gesamte Nennleistung der Heizzentrale P_n , möglicherweise bestehend aus einer Anzahl von k Wärmeerzeugern, wird zu gleichen Teilen auf alle Wärmeerzeuger P_n^k aufgeteilt.

$$\text{Gl. 9-2} \quad P_n^k = \frac{P_n}{k}$$

P_n ergibt sich wie folgt:

Zunächst ist die erforderliche, maximale Leistung aller angeschlossenen Verbraucher zu bestimmen. Die maximal erforderliche Heizleistung der Wärmeerzeuger eines Gebäudes / einer Gebäudezone für Heizung, zentrale Trinkwassererwärmung, RLT und ggf. weitere Verbraucher ergibt sich aus der Summe aller Leistungen, die parallel angefordert werden bzw. aus der größten Leistung im Vorrangbetrieb – in TEK ist das vereinfacht die maximale Gebäudeheizlast $\Phi_{h,max}$ - unter Berücksichtigung eines Zuschlagsfaktors f_z :

$$P_n = f_z \max\left(\sum P_{n,gleichzeitig}, P_{Vorrang}\right) \approx f_z \Phi_{h,max}$$

Gl. 9-3 mit

$$f_z = 1,3 \quad \text{in TEK}$$

Bezugsfläche für die spezifischen Kennwerte ist die gesamte von zentralen Wärmeerzeugern beheizte NGF.

Die Vollbetriebszeit pro zentralem Wärmeerzeuger wird vereinfacht aus dem anteiligen Endenergiebedarf dieses Wärmeerzeugers dividiert durch die anteilige Feuerungswärmeleistung berechnet. Dieses Verfahren wurde gewählt, da es in TEK nicht möglich ist, Kesselleistungen einzeln zu dimensionieren. Auf diese Art wird deutlich, dass ein Spitzenkessel eine deutlich geringere Vollbetriebszeit hat als ein Grundlastkessel. Es ergeben sich auch keine Vollbetriebszeiten größer 8760 h/a mehr.

Diese Vorgehensweise gilt analog für Kälte- und Dampferzeuger.

9.4 Kennwerte für Warmwasser

Der Warmwasserbedarf wird in der DIN V 18599 Teil 10 nicht auf Zonenebene sondern für unterschiedliche Nutzungen definiert. Im TEK-Tool wird dies umgesetzt, indem der Warmwasserbedarf auf Ebene der Nutzungseinheit ermittelt wird. Aus dem Grund müssen die Teilenergiekennwerte in gesonderter Weise berechnet werden.

Hierzu sind folgende Schritte erforderlich:

meleistung ergibt sich nach Abzug der diversen Verluste der [Heizanlage](#) deren *Wärmeleistung*. (Quelle: Wikipedia)

- Der tägliche Warmwasserbedarf wird aus den flächenbezogenen Angaben der DIN V 18599 Teil 10 in Wh/(m²d) ermittelt.
- Durch Multiplikation mit den Nutzungstagen pro Jahr (DIN V 18599 Teil 10) wird der jährliche Warmwasserbedarf bestimmt.
- Der jährliche Warmwasserbedarf wird mit einem Faktor multipliziert, der die Nutzungsintensität berücksichtigt. Für diesen wird je Energieaufwandsklasse folgende Ausprägung angenommen.

	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering
Faktor Nutzungsintensität	1,5	1,3	1,15	1	0,75

- Die Verteilverluste werden vereinfacht je Energieaufwandsklasse angenommen. Zur Berechnung werden neben einer Nutzungszeit von 11 h/d und 250 d/a die folgenden Annahmen getroffen. Speicherverluste und Übergabeverluste werden vernachlässigt.

	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering
Ausdehnung WW-Verteilnetz	100%	100%	50%	50%	Zapfstellen
Dämmstandard Verteilleitungen	bis 1979	1984 bis 1995	1984 bis 1995	ab 1995	ab 1995
Lage horizontaler Verteilleitungen	außerhalb	außerhalb	außerhalb	außerhalb	innerhalb
Verteilverluste Nutzenergie	kWh/(m ² a) 8	7	4	3	1
Verteilverluste Endenergie	kWh/(m ² a) 10	9	5	3	1

- Die Erzeugeraufwandszahl werden auf Grundlage der in Abschnitt 5.4 dokumentierten Berechnungen nach DIN V 18599-8:2011-12 wie folgt angesetzt.

	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering
Erzeuger	KTK vor 95	NTK vor 95	NTK ab 95	BWK ab 95	BWK verb.
Brennstoff	Erdgas	Erdgas	Erdgas	Erdgas	Erdgas
Erzeugeraufwandszahl TWW (Kombibetrieb)	1,29	1,276	1,24	1,211	1,187
	KTK: Kostanttemperaturkessel	NTK: Niedertemperaturkessel		BWK: Brennwertkessel	

Für den Stromverbrauch der Warmwasserzirkulation werden keine Referenz-TEK berechnet, da dieser Energiebedarf unter „Diverse Technik“ subsummiert wird, und hier keine TEK-Bewertung vorgenommen wird.

9.5 Teilenergiekennwerte Arbeitshilfen

Die Teilenergiekennwerte für Arbeitshilfen leiten sich aus den Angaben der DIN V 18599-100:2009-10 Teil 10 Anhang A ab.

Aus Anhang A werden die spezifischen Leistung, Vollbetriebszeit und Energiekennwert der Klassen gering, mittel, hoch für die gleichnamigen Energieaufwandsklassen angesetzt. Leistung und Endenergiekennwert für die Energieaufwandsklassen „sehr gering“ und „sehr hoch“ der Referenz-TEK berechnen sich hieraus wie folgt:

$$\text{Gl. 9-4} \quad x_{\text{sehrgering}} = x_{\text{gering}} - \frac{(x_{\text{mittel}} - x_{\text{gering}})}{2}$$

$$\text{Gl. 9-5} \quad x_{\text{sehrhoch}} = x_{\text{hoch}} + 2(x_{\text{hoch}} - x_{\text{mittel}})$$

mit

x_y	W/m ² bzw. kWh/(m ² a)	Spezifische Leistung bzw. Energiekennwerte für die Energieaufwandsklasse y
-------	---	--

Die Vollbetriebszeit berechnet sich als Quotient aus Energiekennwert und spezifischer Leistung.

10 Anpassung der Referenz-Teilenergiekennwerte

Im Rahmen der TEK-Bewertung werden die für das zu bewertende Gebäude berechneten Objekt-TEK mit tabellierten Teilenergiekennwerten (Referenz-TEK) verglichen und so die Effizienz des Gewerkes bewertet. Die Teilenergiekennwerte sind für spezielle Randbedingungen berechnet (siehe Abschnitt 9). Weichen die Randbedingungen des zu bewertenden Gebäudes stark hiervon ab, führen die Referenz-TEK nicht mehr zu einer geeigneten Bewertungsskala. Um dennoch zu einer plausiblen Bewertung des Energieaufwands zu kommen, werden die Referenz-TEK angepasst. Eine Anpassung erfolgt in folgenden Fällen:

- Andere Energieträger als bei Referenz-TEK
- Anderes A/V-Verhältnis
- Abweichender Fensterflächenanteil (Beleuchtung)
- Abweichende Nutzungszeiten (Beleuchtung, Luftförderung sowie Luftaufbereitung und Kühlung)¹²
- Abweichende Anlagenkonfiguration (Zu- und Abluftanlage; reine Abluftanlage).

Die Methodik der Anpassung wird im Folgenden beschrieben.

10.1 Anpassung an den tatsächlichen Energieträger

Sollen die Endenergiebedarfe unterschiedlicher Energieträger bewertet bzw. zusammengefasst werden, muss die unterschiedliche Wertigkeit der Energieträger berücksichtigt werden. Die Wichtung der Energieträger kann nach unterschiedlichen Kriterien erfolgen:

- Primärenergieaufwand
- Individuelle Faktoren wie z.B. der Energiekosten.

Die TEK-Bewertung erfolgt auf Endenergieebene, da nur hier die Beziehung zwischen Energiekennwert in kWh/(m²a), spezifischer Leistung in W/m² und Vollbetriebszeit in h/a

$$\text{Gl. 10-1} \quad q = p t_v$$

mit

q	kWh/(m ² a)	Energiebedarf
p	W/m ²	Spezifische Leistung
t_v	h/a	Vollbetriebszeit

sinnvoll interpretiert werden kann. Zudem sollten die berechneten Objekt-TEK in der TEK-Bewertung unverändert bleiben, da ansonsten die Interpretation der Ergebnisse erschwert wird. Entsprechend muss die Wertigkeit der Energieträger bei den tabellierten Referenz-TEK und damit bei der Bewertungsskala berücksichtigt werden.

¹² Abweichende Nutzungszeiten werden bei der Heizung nicht berücksichtigt (vgl. Kap. 10.2).

In TEK wird eine Wichtung der Energieträger an zwei Stellen vorgenommen.

1. TEK-Bewertung je Gewerk
2. TEK-Bewertung gesamtes Gebäude.

Die Wertigkeit unterschiedlicher Energieträger wird berücksichtigt, indem die Referenz-TEK mit energieträgerspezifischen Wichtungsfaktoren gewichtet werden. Dieses Vorgehen ist von der Umrechnung von Endenergie auf Primärenergie durch Primärenergiefaktoren bekannt.

$$\text{Gl. 10-2} \quad q_{ref,a} = q_{ref} f_{ET}$$

mit

$q_{ref,a}$	kWh/(m ² a)	Angepasster Referenz-TEK
f_{ET}	-	Energieträgerfaktor (Wichtungsfaktor) für Energieträger (z.B. Primärenergiefaktor)

Da als Wertigkeit der Energieträger neben der Primärenergie auch individuelle Faktoren verwendet werden können – z.B. die Energiekostenverhältnisse – wird der Energieträgerfaktor zunächst neutral als f_{ET} bezeichnet. In der TEK ergibt sich der – brennwertbezogene - Energieträgerfaktor aus dem Primärenergiefaktor sowie dem Umrechnungsfaktor von oberem auf unteren Heizwert.

$$\text{Gl. 10-3} \quad f_{ET,i} = \frac{f_{p,i}}{f_{HS/HL,i}}$$

mit

$f_{p,i}$	-	Heizwertbezogener Primärenergiefaktor nach DIN V 18599-100:2009 Teil 1
$f_{HS/HL,i}$	-	Umrechnungsfaktor von oberem auf unteren Heizwert

Ausgehend von der DIN V 18599 werden in TEK folgende Primärenergiefaktoren und CO₂-Faktoren verwendet.

Energieträgerfaktoren (ab TEK-5.6)	f _p *	f _{HS/Hi} *	f _p /(f _{HS/Hi})	f _{CO2} **	f _{CO2} /(f _{HS/Hi})	f _{ET}
Heizöl EL	1,1	1,06	1,04	303	286	1,04
Erdgas H	1,1	1,11	0,99	244	220	0,99
Heizöl und Erdgas	1,1	1,09	1,01	274	252	1,01
Flüssiggas	1,1	1,09	1,01	263	241	1,01
Steinkohle	1,1	1,04	1,06	438	421	1,06
Braunkohle	1,2	1,07	1,12	451	421	1,12
Biogas	0,5	1,11	0,45	100	90	0,45
Bioöl	0,5	1,06	0,47	150	142	0,47
Holzpellets	0,14	1,08	0,13	41	38	0,13
Holz hackschnitzel	0,06	1,08	0,06	35	32	0,06
Fernwärme aus KWK - fossiler Brennstoff	0,7	1	0,70	219	219	0,70
Fernwärme aus KWK - erneuerbarer Brennstoff	0	1	0,00	17	17	0,00
Fernwärme aus Heizwerken - fossiler Brennstoff	1,3	1	1,30	407	407	1,30
Fernwärme aus Heizwerken - erneuerbarer Brennstoff	0,1	1	0,10	31	31	0,10
Strom-Mix	2,4	1	2,40	633	633	2,40
Verdrängungsstrommix	2,8	1	2,80	800	800	2,80
Solarstrom (Multikristallin)	0	1	0,00	101	101	0,00

*) Quelle: DIN V 18599-1:2011-12 (heizwertbezogen) **) IWU 2009 in gr/kWh_End (heizwertbezogen)

Bis einschließlich TEK 5.5 wurde für die Energieträger Heizöl EL, Erdgas H und Flüssiggas ein Mittelwert der brennwertbezogenen Faktoren f_{ET} und f_{CO2} gebildet.

Energieträgerfaktoren (bis TEK-5.5)	f _{ET} = f _p / (f _{HS/Hi})*	f _{CO2} **
Heizöl EL / Erdgas H / Flüssiggas	1,01	273
Steinkohle / Braunkohle	1,09	445
Holz	0,19	27
Fernwärme aus KWK - fossiler Brennstoff	0,70	219
Fernwärme aus KWK - erneuerbarer Brennstoff	0,00	17
Fernwärme aus Heizwerken - fossiler Brennstoff	1,30	407
Fernwärme aus Heizwerken - erneuerbarer Brennstoff	0,10	31
Strom-Mix	2,60	633
Solarenergie, Umweltwärme	0,00	0

*) Quelle: DIN V 18599-100-1

**) IWU 2009 in gr/kWh_End

Tabelle 10-1: In TEK verwendete Energieträgerfaktoren und CO₂-Faktoren

TEK-Bewertung je Gewerk

Wird bei der Ermittlung der Objekt-TEK innerhalb eines Gewerks ein Energieträger eingesetzt, der sich von dem bei der Ermittlung der Referenz-TEK verwendeten Energieträger unterscheidet (z.B. Strom statt Gas), so wird eine Anpassung der Referenz-TEK (und damit der Bewertungsskala) vorgenommen. Die Modifikation der tabellierten Kennwerte erfolgt nach folgender Gleichung:

$$\text{Gl. 10-4} \quad q_{ref,a} = q_{ref} f_{ET,gew} = q_{ref} \frac{f_{ET,ref}}{f_{ET,obj}}$$

mit

$q_{ref,a}$	kWh/(m ² a)	Über Energieträgerfaktor angepasster Teilenergiekennwert
q_{ref}	kWh/(m ² a)	Tabellierter Referenz-Teilenergiekennwert
$f_{ET,gew}$	-	Auf Gewerkeebene verwendeter Energieträgerfaktor
$f_{ET,ref}$	-	Energieträgerfaktor des tabellierten Referenz-TEK
$f_{ET,obj}$	-	Energieträgerfaktor je Erzeuger/Zone des berechneten Objekt-TEK

Werden innerhalb eines Gewerks mehrere Energieträger eingesetzt, wird die Wichtung für jeden Energieträger durchgeführt.

Die tabellierten Referenz-TEK sind je Gewerk mit folgenden Energieträgern berechnet.

- Gas: Heizung und Warmwasser
- elektrische Energie: Beleuchtung, Luftförderung, Kälte, Hilfsenergie Kälte, Dampf, Arbeits-hilfen.

TEK-Bewertung des gesamten Gebäudes

Vor der Zusammenfassung der Endenergiebedarfe der unterschiedlichen Gewerke auf Gebäudeebene, müssen diese auf ein gemeinsames Bezugsniveau umgerechnet werden. Als Bezugsniveau wird der Energieträger verwendet, der bei der Berechnung der Referenz-TEK Heizung ange-setzt wird, d.h. Gas (siehe oben).

$$\text{Gl. 10-5} \quad q_{ref,a,geb,i} = q_{ref,a,i} f_{ET,geb,i} = q_{ref,a,i} \frac{f_{ET,ref,Gas}}{f_{ET,ref,i}}$$

mit

$q_{ref,a,geb,i}$	kWh/(m ² a)	Auf das Bezugsniveau Gas umgerechneter angepasster Referenz-TEK des Gewerks i
$q_{ref,a,i}$	kWh/(m ² a)	Angepasster Referenz-TEK für das Gewerk i
$f_{ET,geb,i}$	-	Energieträgerfaktor zur Umrechnung auf Gas/Heizöl
$f_{ET,ref,Gas}$	-	Energieträgerfaktor Gas/Heizöl nach Tabelle 10-1
$f_{ET,ref,i}$	-	Energieträgerfaktor der Energieträgers, der bei der Berechnung der Referenz-TEK für das Gewerk i verwendet wurde

Nach der Berücksichtigung der Wertigkeit können unterschiedliche Energieanteile addiert werden.

$$\text{Gl. 10-6} \quad q_{ref,a,geb,ges} = \sum_i q_{ref,a,geb,i}$$

mit

$q_{ges,a,ges}$ kWh/(m²a) Summe der gewichteten Endenergiebedarfe

10.2 Anpassungen Heizung

Die Referenz-TEK Heizung sind für ein Gebäude mit einer Netto-Grundfläche von 5.000 m² und einem A/V-Verhältnis von ca. 0,32 m⁻¹ berechnet. Weist das zu bewertende Gebäude eine andere Gebäudegröße bzw. ein anderes A/V-Verhältnis auf, müssen die Kennwerte angepasst werden.

Verwendet wird hier ein in [Lichtmeß 2010] entwickeltes Verfahren, in der für die Luxemburger Energieeinsparverordnung [Lux EnEV 2010] aufbereiteten Form. Hierbei werden die tabellierten zonenbezogenen Teilenergiekennwerte mit einem Anpassungsfaktor f_{NGF} multipliziert.

$$\text{Gl. 10-7} \quad q_{ref,a,h} = q_{ref,h} f_{NGF}$$

$$\text{Gl. 10-8} \quad f_{NGF} = 4,53 A_{NGF}^{-0,215} + 0,27$$

mit

$q_{ref,a,h}$ kWh/(m²a) An tatsächliche Gebäudegröße angepasster Teilenergiekennwert zur Bewertung des Energieaufwandes Heizung in der Zone

$q_{ref,h}$ kWh/(m²a) Tabellierter Teilenergiekennwert Heizung

f_{NGF} - Faktor zur Anpassung der tabellierten Kennwerte an die tatsächliche Gebäudegröße

A_{NGF} m² Netto-Grundfläche des zu bewertenden Gebäudes

Der Anpassungsfaktor geht von einem festen Zusammenhang zwischen A/V-Verhältnis und Netto-Grundfläche des Gebäudes aus. Dieser wird in dem weitgehend linearen Zusammenhang zwischen Heizwärmebedarf und A/V-Verhältnis berücksichtigt.

Der Zusammenhang zwischen Heizwärmebedarf und A/V-Verhältnis wurde für einen energetischen Standard ermittelt, der etwa einem typischen bestehenden Gebäude entspricht. Der Zusammenhang variiert streng genommen abhängig von der energetischen Qualität der Gebäudehülle und den Lüftungsverlusten (Wärmerückgewinnung). Auf eine weitere Differenzierung wird jedoch an dieser Stelle verzichtet, da die Genauigkeit für eine grobe Klassifizierung als ausreichend erscheint.

Eine Anpassung aufgrund der tatsächlichen Nutzungszeit wird vernachlässigt. Außerhalb der Nutzungszeit wird in der Regel von einem abgesenkten Heizbetrieb auszugehen sein. Der zusätzliche Heizenergiebedarf durch eine verlängerte Nutzungszeit wird als gering eingestuft. Einzig der Heizenergiebedarf für die Luftaufbereitung sollte mit der Nutzungszeit korrelieren, der Einfluss wird aber vernachlässigt.

Eine Anpassung über die mittlere Raumtemperatur im Heizfall erfolgt nicht, da die Standardwerte in der Regel als komfortabel angesehen werden. Mehrverbrauch aufgrund einer erhöhten Raum-

temperatur mag aus Komfortgründen gewünscht sein, führt dann aber auch beim Energiebedarf zu einer möglicherweise schlechteren Bewertung.

10.3 Anpassungen Beleuchtung

Bei der Beleuchtung erfolgt eine Anpassung der Vollbetriebszeit aufgrund

- der tatsächlichen Nutzungszeit und
- bis Version TEK-5.5 auch des tatsächlichen Fensterflächenanteils.

Ab der Version TEK-5.6 werden die Referenzkennwerte nicht mehr anhand des tatsächlichen Fensterflächenanteils angepasst, wie übrigens auch die Referenzkennwerte für Heizen und Kühlen. Der Fensterflächenanteil wird ja als Merkmal des Gebäudes in der Energieanalyse erfasst und in die TEK-Berechnung des Objektwertes einbezogen. Wird der Tageslichtdeckungsgrad durch Optimierung der Fensterflächen verbessert, darf auch eine bessere TEK-Bewertung herauskommen

Hierzu wird die Vollbetriebszeit nach dem in [HÖRNER 2003A] verwendeten Verfahren neu berechnet für

- die tatsächliche Nutzungszeit
- sowie die bei der Berechnung der Teilenergiekennwerte berücksichtigte Nutzungszeit.

Der Anpassungsfaktor für die Betriebszeit ergibt sich daraus zu

$$\text{Gl. 10-9} \quad f_{t_{ref,a,l}} = \frac{t_{v_{MEG,ist}}}{t_{v_{MEG,ref}}}$$

mit

$f_{t_{ref,a,l}}$	-	Angepasster Vollbetriebszeit Beleuchtung
$t_{v_{MEG,ist}}$	h/a	Vollbetriebszeit nach [HÖRNER 2003A] mit tatsächlichem Fensterflächenanteil und tatsächlicher Nutzungszeit
$t_{v_{MEG,ref}}$	h/a	Vollbetriebszeit nach [HÖRNER 2003A] mit tatsächlichem Fensterflächenanteil und Nutzungszeit aus der Referenz-TEK-Berechnung (siehe Abschnitt 9)

Durch die Modifikation der Betriebszeit verändert sich auch der Referenz-TEK Beleuchtung, da die spezifische installierte Leistung unverändert bleibt und die Beziehung aus Gl. 10-1 erfüllt sein muss.

Kennwertanpassung spezifische Beleuchtungsleistung bei „Lampenzählen“

Die bisherigen Auswertungen haben gezeigt, dass die Berechnung der spezifischen Beleuchtungsleistung durch das Kurzverfahren der DIN V 18599:2007 Teil 4 (Berechnung (a)) zu deutlich höheren Werten führt, als wenn die installierte Beleuchtungsleistung über „Lampenzählen“ (objektspezifisch (b)) ermittelt wird. Da die tabellierten Referenz-TEK mit der berechneten spezifischen Beleuchtungsleistung (Berechnung (a)) ermittelt sind, führt die TEK-Bewertung zu deutlich zu positiven Energieaufwandsklassen bei über „Lampenzählen“ ermittelter Leistung. Um dem entgegenzuwirken, wird vor der TEK-Bewertung eine Korrektur der Referenz-Teilenergiekennwerte und der tabellierten spezifische Leistung für den Fall vorgenommen, dass die installierte Beleuchtungsleistung durch „Lampenzählen“ (objektspezifisch (b)) ermittelt wurde.

$$\text{Gl. 10-10} \quad q_{ref,kor,l} = q_{ref,l} \cdot ft_{l,p}$$

$$\text{Gl. 10-11} \quad p_{ref,kor,l} = p_{ref,l} \cdot ft_{l,p}$$

wenn spezifische Beleuchtungsleistung über Lampenzahlen ermittelt mit

$q_{ref,kor,l}$	kWh/(m ² a)	Korrigierter Referenz-Teilenergiekennwert Beleuchtung
$q_{ref,l}$	kWh/(m ² a)	Referenz-Teilenergiekennwert Beleuchtung
$ft_{l,p}$		Reduktionsfaktor installierte Leistung der Beleuchtung
$p_{ref,kor,l}$	W/m ²	Korrigierte tabellierte spezifische Beleuchtungsleistung
$p_{ref,l}$	W/m ²	tabellierte spezifische Beleuchtungsleistung

Zur Höhe des Reduktionsfaktors liegen derzeit noch keine Angaben vor. Er wird zunächst mit

$$ft_{l,p} = 0,67/0,8 = 0,84$$

angesetzt, muss aber aufgrund der Erfahrungen aus den Gebäudeanalysen noch angepasst werden.

10.4 Anpassungen Luftförderung

Bei der Luftförderung wird neben der Anpassung an den Energieträger nach Abschnitt 10.1 eine Anpassung der tabellierten Teilenergiekennwerte vorgenommen, wenn es sich bei der RLT-Anlage um eine reine Abluftanlage handelt. Aufgrund des fehlenden Zuluftkanalnetzes und damit natürlich des Zuluftventilators, liegt der elektrische Endenergiebedarf der Anlage zur Luftförderung niedriger. Entsprechend müssen die Grenzwerte der Energieaufwandsklassen verringert werden.

Es wird angenommen, dass der Referenz-TEK Luftförderung im Falle einer Abluftanlage bei 60 % des tabellierten Wertes für Zu- und Abluftanlagen liegt.

$$\text{Gl. 10-12} \quad q_{ref,Ab,v} = f_{Ab} \cdot q_{ref,v}$$

mit

$q_{ref,Ab}$	kWh/(m ² a)	Referenz-Teilenergiekennwert für Abluftanlagen
f_{Ab}	-	Anpassungsfaktor zur Berücksichtigung des geringeren Energiebedarfs bei Abluftanlagen
$q_{ref,v}$	kWh/(m ² a)	Tabellierter Referenz-Teilenergiekennwert Luftförderung

Für f_{Ab} wird ein Wert von 0,6 angesetzt.

Die Referenz-Teilenergiekennwerte werden auf Basis der jährlichen Standard-Betriebszeit $t_{op,a,Std}$ berechnet, die wiederum mit der jährlichen Nutzungszeit der Zone $t_{nutz,a,Std}$ nach DIN V 18599-10 korreliert. Anlagen der Energieaufwandsklassen gering und sehr gering unterscheiden sich von denen der anderen Klassen durch eine bessere regelungstechnische Bedarfsanpassung des geförderten Volumenstroms während der Betriebszeit der Anlage, also durch eine geringere Vollbetriebszeit. Hat die versorgte Zone aber eine Nutzungszeit $t_{nutz,a,Ist}$, die vom Standard $t_{nutz,a,Std}$ abweicht, der bei den Referenz-TEKs angesetzt wurde, müssen diese angepasst werden.

Gl. 10-13 $q_{ref,v,kor} = f_{nutz} q_{ref,v}$

mit

$$f_{nutz} = \frac{t_{nutz,a,Ist}}{t_{nutz,a,Std}}$$

10.5 Anpassungen Kälte

Es wird eine Anpassung an den Energieträger nach Abschnitt 10.1 vorgenommen.

Außerdem wird, analog zur Luftförderung, über die objektspezifische Zonen-Nutzungszeit angepasst, da zu erwarten ist, dass sich sowohl die Betriebszeit der zur Zone gehörenden RLT-Anlage mit Kühlfunktion und damit der Energiebedarf zur Luftaufbereitung als auch der Kühlbedarf der Raumkühlsysteme proportional zur Nutzungszeit verhalten.

10.6 Anpassungen Hilfsenergie Kälte

Es wird eine Anpassung an den Energieträger nach Abschnitt 10.1 vorgenommen.

Außerdem wird, analog zur Luftförderung, über die objektspezifische Zonen-Nutzungszeit angepasst, da zu erwarten ist, dass sich der Kühlbedarf und damit auch der Bedarf an Hilfsenergie Kälte proportional zur Nutzungszeit verhalten.

10.7 Anpassungen Dampf

Es wird eine Anpassung an den Energieträger nach Abschnitt 10.1 vorgenommen.

Außerdem wird, analog zur Luftförderung, über die objektspezifische Zonen-Nutzungszeit angepasst, da zu erwarten ist, dass sich auch die Betriebszeit der zur Zone gehörenden RLT-Anlage mit Befeuchtungsfunktion und damit der Energiebedarf zur Luftaufbereitung proportional zur Nutzungszeit verhält.

10.8 Anpassungen Arbeitshilfen

TEK-Bewertung ist zurzeit nicht implementiert.



11 Ausgabe

11.1 Bewertung mit Teilenergiekennwerten

Auch wenn der Ist-TEK höher ist als der Referenz-TEK, kann sich eine Bewertung "niedrig" ergeben, da die Energieaufwandsklassen eine gewisse Breite um den jeweiligen Referenz-TEK haben. Wird bei der Ermittlung der Ist-Teilenergiekennwerte (Ist-TEK) im Objekt innerhalb eines Gewerks ein Energieträger eingesetzt - z.B. Strom für eine Wärmepumpe -, der sich von dem bei der Ermittlung der Vergleichswerte (Referenz-TEK) verwendeten Energieträger - Gas für einen Brennkessel - unterscheidet, so wird eine Anpassung der Referenz-TEK (und damit der Bewertungsskala) vorgenommen (vgl. Berechnungsgrundlagen des TEK-Tools, Kap. 10.1 Anpassung an den tatsächlichen Energieträger).

11.2 Mindestaußenluftvolumenstrombezogener Lüftungswärmetransferkoeffizient H_v'

Die Effizienz der Gebäudehülle kann über den spezifischen hüllflächenbezogenen Transmissionswärmeverlust H_T' bewertet werden, die der Lüftung über den mindestaußenluftvolumenstrombezogenen Lüftungswärmetransferkoeffizient. Der letztgenannte berücksichtigt eine Wärmerückgewinnung sowie eine bedarfsabhängige und zeit- und nutzungsabhängige Volumenstromregelung (relevant wenn Teil 100 kommt). Die Berechnung von H_v' geschieht über folgende Gleichung.

$$\text{Gl. 11-1} \quad H_v' = \frac{\sum_{\text{Zone}} \dot{V}_{\text{mech},b} c_{v,L} (1 - \Phi_{\text{WRG}}) + H_{v,\text{inf}} + H_{v,\text{win}}}{\dot{V}_{\text{hyg}}}$$

mit

$\dot{V}_{\text{mech},b}$	m ³ /h	Der in der Zonenbilanz verwendete Zuluftvolumenstrom durch mechanische Lüftungsanlagen nach DIN V 18599 Teil 2; Kapitel 6.3.3.2
Φ_{WRG}	-	Rückwärmzahl der die Zone versorgende RLT-Anlage
$H_{v,\text{inf}}$	W/K	Lüftungswärmetransferkoeffizient für die Infiltration
$H_{v,\text{win}}$	W/K	Lüftungswärmetransferkoeffizient für die Fensterlüftung
\dot{V}_{hyg}	m ³ /h	Hygienischer Mindestaußenluftvolumenstrom der Zone nach DIN V 18599 Teil 10. Die im Teil 100 ergänzte Modifikation bei bedarfsabhängiger Volumenstromregelung wird nicht berücksichtigt

Anhang A Literatur

[BMVBS 2009a] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Bekanntmachung der Regeln für die Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand vom 30. Juli 2009; Berlin, 2009

[BMVBS 2009b] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Bekanntmachung der Regeln für die Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand vom 30. Juli 2009; Berlin, 2009

[Knissel 2005] Knissel, Jens: Methodik zur Erfassung, Beurteilung und Optimierung des Elektrizitätsbedarfs von Gebäuden (MEG) – Modul 2.3: Klimakälte; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt 2005

[Lichtmeß 2010] Lichtmess, Markus: Vereinfachungen für die energetische Bewertung von Gebäuden; Dissertation am Fachbereich Architektur der Bergischen Universität Wuppertal; Wuppertal 2010

[Loga et al. 2005]: Loga; Tobias; Diefenbach, Nikolaus; Knissel, Jens; Born, Rolf: Kurzverfahren Energieprofil – Ein vereinfachtes, statistisch abgesichertes Verfahren zur Erhebung von Gebäudedaten für die energetische Bewertung von Gebäuden; Fraunhofer IRB-Verlag; Stuttgart 2005

[Lux EnEV 2010] Performance Énergétique des Bâtiments Fonctionnels; Le Gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg, Ministère d'État la Ministre aux Relations avec le Parlement; Luxembourg, 2010.

[Hörner 2003a] Hörner, Michael et al.: Methodik zu Erfassung, Beurteilung und Optimierung des Elektrizitätsbedarfs von Gebäuden – Modul 2.1 : Beleuchtung; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt 2003

[Hörner 2003b] Hörner, Michael et al.: Methodik zu Erfassung, Beurteilung und Optimierung des Elektrizitätsbedarfs von Gebäuden – Modul 2.2 : Luftförderung; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt 2003

[VDI 3807 - Blatt 4] Energie- und Wasserverbrauchskennwerte für Gebäude – Teilkennwerte elektrische Energie; Beuth Verlag; Berlin, 2008