

## **Wie bilanzieren die europäischen Staaten in Luxemburg, Deutschland, Belgien, der Schweiz und in Frankreich?**

### **Ein Vergleich verschiedener nationaler Berechnungsvorschriften der Gesamtenergieeffizienz anhand von 9 klimatisierten Bürogebäuden und deren Realverbrauch**

Wolfgang Render<sup>a</sup>, Stefan Maas<sup>b</sup>, Frank Scholzen<sup>b</sup>,

<sup>a</sup>Hochschule Kaiserslautern, corresponding author : Wolfgang.Render@hs-kl.de

<sup>b</sup>Université du Luxembourg, Faculté des Sciences, de la Technologie et de la Communication, RUES

Die EU-Mitgliedsstaaten sind gemäß den Richtlinien 2002/91/EG und 2010/31/EU verpflichtet, die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden abhängig von ihrer Art der Nutzung zu ermitteln und in einem Energiepass zu belegen. Die Ausgestaltung der Details des Berechnungsverfahrens und der Grenzwerte obliegt den Mitgliedsstaaten im Rahmen ihres nationalen Entscheidungsspielraums.

Für 9 bestehende mittlere bis große Bürogebäude mit Teil- und Vollklimatisierung wurden die Berechnungen der Gesamtenergieeffizienz nach den jeweiligen Berechnungsmethoden durchgeführt und mit dem gemessenen realen Verbrauch verglichen. Die Abweichungen zwischen der berechneten Endenergie und dem tatsächlichen Verbrauch betragen zwar etliche 100% beim einzelnen Objekt, aber ca. 20 % im Mittel bei der Heizenergie. Bei der berechneten Endenergie des Stroms bestehen auch riesige Differenzen beim Einzelobjekt, aber im nationalen Vergleich im Mittel nur geringe Abweichungen zum Verbrauch, wobei der Stromverbrauch für die Büroausstattung geschätzt wurde. Die Abweichungen bei der Heizenergie und beim Strom im Mittel können als gut bezeichnet werden, wobei vor allem Belgien durch Über- und Unterschätzen beim Strom auffällt. Rund  $\frac{3}{4}$  der verbrauchten Primärenergie ist auf den elektrische Energie zurück zu führen, wobei der Mittelwert von rund 400 kWh/m<sup>2</sup> darauf hindeutet, dass die realen Gebäude noch weit vom europäischen Ziel der „Nearly Zero Energy Buildings (NZEB)“ entfernt sind.

## **1. Einleitung**

Da 40 % des Gesamtenergieverbrauchs der Europäischen Union auf Gebäude entfallen und der Gebäudebestand expandiert, verschärfte die EU die Richtlinie 2002/91/EG mit der Neufassung 2010/31/EU mit dem Ziel einer Verbrauchsenkung [1]. Dabei soll jedem Mitgliedsstaat die Möglichkeiten geboten werden, klimatische und lokale Bedingungen zu berücksichtigen. Die Berechnungsmethodik muss nationale und lokale Differenzierungen erlauben, die technische Ausstattung der Gebäude berücksichtigen und dem Stand der nationalen Normen entsprechen.

Ein Vergleich der Verfahren zur Berechnung der Gesamtenergieeffizienz für die Staaten Luxemburg, Deutschland, Belgien, Schweiz und Frankreich zeigt die Unterschiede der Berechnungsmethoden auf. Es wurde für 9 mittlere und große Bürogebäude mit Teil- und Vollklimatisierung die Berechnungen der Gesamtenergieeffizienz erstellt, verglichen und dem tatsächlichen Verbrauch gegenüber gestellt, um Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Nationalstaaten zu analysieren und die entscheidenden Einflussfaktoren für die Primärenergie zu ermitteln.

## 2. Begriffe

Zur Ermittlung eines gesetzlich zulässigen Höchstwertes des Primärenergiebedarfs besteht die Möglichkeit, ein sogenanntes Referenzgebäude abzubilden, welches die Geometrie, Ausrichtung und Nutzung wie das zu überprüfende Gebäude besitzt. Die Baukonstruktion der Hüllflächen (U-Werte) sowie die technische Ausstattung werden im Referenzgebäude nach den gesetzlichen Randbedingungen abgebildet. Die Berechnung der Gesamtenergieeffizienz des Referenzgebäudes liefert als Ergebnis den Endenergiebedarf. Durch Multiplikation des Endenergiebedarfs mit Primärenergiefaktoren berechnet sich der gesetzlich höchstens zulässige Primärenergiebedarf, mit dem das zu überprüfende Gebäude verglichen wird.

Unter Energiebezugsfläche ist die konditionierte Fläche eines Bürogebäudes zu verstehen, wobei je nach Land entweder die Bruttogrundfläche (BGF) oder die Nettogrundfläche (NGF) verwendet wird. Erstere wird über die Außenabmaße definiert und enthält die Konstruktionsflächen. Die NGF wird über die Innenabmaße ohne die Konstruktionsflächen definiert. Viele überprüfte Beispiele zeigen, dass in etwa  $NGF \approx 0.83$  BGF gilt, was im Folgenden auch zur Umrechnung verwandt wurde.

## 3. Methodik

Zur Berechnung der Gesamtenergieeffizienz eines Bürogebäudes kann nach der Richtlinie 2010/31/EU entweder die tatsächlich verbrauchte Endenergie (Endenergieverbrauch) oder die berechnete Endenergiemenge (Endenergiebedarf) herangezogen werden. Bei Neubauten oder größeren Modernisierungen ist zwingend der Endenergiebedarf zu berechnen. Als Verbraucher sind die Heizung, Kühlung, mechanische Lüftungsanlagen und Warmwassererzeugung anzusetzen. Bei Bürogebäuden ist zudem die Beleuchtung zu berücksichtigen. Weiterhin fließen die thermischen Eigenschaften und die Randbedingungen des Gebäudes (Nutzung, Gestaltung, Lage, Ausrichtung, Außenklima, interne Lasten) in die Berechnungen mit ein.

Zum Vergleich der Genauigkeit der Berechnungsmethoden der einzelnen Staaten wird der Endenergiebedarf von 9 realen Bürogebäuden mit Teil- und Vollklimatisierung nach den jeweiligen nationalen Berechnungsverfahren ermittelt. Um die Witterungseinflüsse der verschiedenen Staaten zu minimieren, wird angenommen, dass das Außenklima annähernd dem deutschen Referenzklima (Potsdam) entspricht<sup>1</sup>. Der berechnete End- und Primärenergiebedarf für die Heizenergie, Lüftung, Kühlung und die Beleuchtung wird dann untereinander und schließlich mit dem tatsächlichen End- und Primärenergieverbrauch verglichen.

## 4. Normative Grundlagen

Orientierung für die Berechnungsmodelle aller Staaten ist die Norm *EN ISO 13790 - Energieeffizienz von Gebäuden – Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung* [2]. Als Berechnungsergebnis wird der Nutzenergiebedarf ausgewiesen, der als Eingangsdatensatz für die Energiebilanz auf Anlagenebene (Heiz-, Kühl- und Lüftungsanlagen) dient. Abschließend ist der Gesamt-Endenergiebedarf des Gebäudes

---

<sup>1</sup> Für die Staaten LUX, D und CH wird das Referenzklima Potsdam, für B das Referenzklima von Belgien und für Frankreich das Referenzklima der Region Departement Moselle gewählt. Durch die Definition dieser klimatischen Bedingungen bestehen nur minimale regionale Temperaturunterschiede, so dass keine besonderen Einflüsse der Außentemperatur auf den berechneten Endenergiebedarf zu erwarten sind.

auszuweisen. Die nach der Richtlinie 2010/31/EU geforderte Berechnung des Primärenergiebedarfs eines Gebäudes erfolgt durch Multiplikation des nach EN ISO 13790 ermittelten Gesamt-Endenergiebedarfs mit den nach EN 15603 [3] bzw. national definierten Primärenergiekennwerten  $f_P$ .

Nach Norm EN ISO 13790 bzw. EN 15603 können die einzelnen Staaten für die Berechnungen des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs verschiedene Parameter, wie z.B. U-Werte (Grenzwerte) oder Primärenergiefaktoren national definieren.

## 5. Berechnungsmethoden der Staaten – Systematik und Konventionen

Die Berechnungsmethodik zur Ermittlung des rechtlich geforderten Nachweises entwickelt sich aus mehrstufigen Verfahren. Tabelle 1 stellt vergleichend den Berechnungsablauf und die wesentlichen Parameter der einzelnen Mitgliedsstaaten dar.

Übersicht "Vergleich der nationalen Verfahren zur Berechnung der Gesamtenergieeffizienz von Bürogebäuden"					
Staat	LUX	D	CH	B	F
Stichwort					
Basis	Gebäude				
Ausstattung	Referenzgebäude				
Untergliederung	Zonierung				
Rechtliche Unterteilung	Wohnen / Nichtwohnen			Wohnen / Nichtwohnen	
Nutzungskategorien	13 Arten		12 Arten	6 Arten	14 Arten
Nutzungsprofile (NP)	33 NP	43 NP	44 NP		
TGA-Grundausrüstung	Heizung + Beleuchtung				
TGA-Ergänzungen		Kühlung		Kühlung	Kühlung
	Lüftung	Lüftung	Lüftung	Lüftung	Lüftung
			Aufzug		
			Schwachstrom		
Energiebezugsfläche	NGF			NGF	1,1 x NGF
			BGF		
Grenzwerte Hüllfläche	max. U-Werte bzw. min. R-Werte				
Wärmebrückennachweis	detailliert	detailliert	detailliert	detailliert	keine Grenzwerte
alternativ	Standardlösungen	Standardlösungen		Standardlösungen	detailliert
alternativ	Pauschalansatz	Pauschalansatz	Pauschalansatz	Pauschalansatz	
Berechnung Nutzenergie	Nutzenergiebedarf $Q_N$				
Anlagenverluste	Detailberechnung der Anlagenverluste			Faktoren	detailliert
			ohne		
Berechnung Endenergie	Endenergiebedarf $Q_{E\text{Heizen}}$			Endenergiebedarf $Q_{E\text{Heizen}}$	
+	Endenergiebedarf $Q_{E\text{Beleuchtung}}$				
Primärenergie	Hilfsenergie				
	$\Sigma$ Endenergiebedarf $Q_E$			$\Sigma$ Endenergiebedarf $Q_E$	
	Primärenergiefaktor $f_P$			Primärenergiefaktor $f_P$	
	Primärenergiebedarf $Q_P$			Primärenergiebedarf $Q_P$	
erforderliche Nachweise	$q_P \leq q_{P\text{ref}}$ (Nachweis mind. Klasse C)	$Q_P \leq Q_{P\text{ref}}$	$Q_{\text{Heizwärmebedarf}} \leq Q_{\text{Grenzwert MuKE}}$	Niveau $E_w$ : $E_{\text{prim}} \leq E_{\text{zul}} = 80$	$Q_P \leq C_{ep\text{max}}$
(ohne sommerlichen Wärmeschutz)	$q_{h,b} \leq q_{h,b\text{ref}}$ (Nachweis mind. Klasse C)	$Q_P \leq 0,75 \cdot Q_{P\text{ref}}$ (für Neubau ab 01.01.2016)	$Q_{\text{Beleuchtung}} \leq Q_{\text{Grenzwert SIA 380/4}}$	Niveau K: $K \leq K_{\text{zul}} = 35$	$B_{\text{bio}} \leq B_{\text{bio}\text{max}}$
			$Q_{\text{Lüftung}} \leq Q_{\text{Grenzwert SIA 380/4}}$	$E_w$ : Primärenergiebedarf $K$ : Gesamtwärmedämmgrad	$C_{ep}$ : Primärenergiebedarf $B_{\text{bio}}$ : Koeffizient bio-klimatischer Bedarf
			$Q_{\text{Klima}} \leq Q_{\text{Grenzwert SIA 380/4}}$		

Tabelle 1 - Systematik zur Berechnung der Gesamtenergieeffizienz

**Luxemburg** und **Deutschland** bestimmen mittels eines Referenzgebäudes mit definierter Bau- und Technikausstattung den zulässigen Grenzwert des Primärenergiebedarfs. Die Verluste der einzelnen Anlagen werden detailliert berechnet. In Luxemburg ist das Berechnungsergebnis zudem für verschiedene Kennwerte (Heizen, Beleuchten, Lüftung, Kälte, CO<sub>2</sub>-Kennwert) auszuweisen und Effizienzklassen (Klassen von A bis I) zuzuordnen. Der gesetzlich zulässige Höchstwert ist die Effizienzklasse C.

**Belgien** leitet den einzuhaltenden Grenzwert des Primärenergiebedarfs aus Formeln und Kennwerten ab. Die Berechnung der Anlagenverluste wird überschlägig mittels Nutz- und Leistungsfaktoren einzelner Komponenten bzw. ganzer Anlagen berechnet. Belgien stattet als einziger Mitgliedsstaat für die Berechnung der Gesamtenergieeffizienz das Gebäude verpflichtend mit Kühlung aus.

Die **Schweiz** definiert das Verfahren zur Berechnung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden im Rahmen einer Mustervorschrift, deren Anwendung den einzelnen Kantonen empfohlen, aber nicht verbindlich vorgeschrieben wird. Es besteht gemäß dieser Mustervorschrift die freie Wahl zwischen einem Systemnachweis (Berechnung des spezifischen Heizwärmebedarfs des Gebäudes) oder einem Bauteilnachweis (Einhaltung definierter U-Werte). Im Falle des Systemnachweises dürfen die in der Mustervorschrift definierten Grenzwerte für Neubauten oder Umbauten nicht überschritten werden. Bei der Wahl des Bauteilnachweises ist lediglich zu belegen, dass die Baukonstruktionen der Hüllflächen die in der Mustervorschrift geforderten U-Werte einhalten.

**Frankreich** Die französische Berechnungssystematik verzichtet auf die Vorgabe von Grenzwerten z.B. in Form von U-Werten für die Außenhülle, Standardisierungen bei den Wärmebrückennachweisen und Vorgaben zur technischen Ausstattung. Der zu berechnende Grenzwert des Primärenergiebedarfs  $Q_P$ , bezeichnet als  $C_{ep,max}$ , wird mittels einer definierten Formel und anhand Parametern berechnet, die die regionalen und geographischen Kriterien des Gebäudes berücksichtigen.

Wichtige variierende nationale Bedingungen und deren Parameter zeigt Tabelle 2.

	LUX	D	B	CH	F
Quellen	Règlement grand ducal A-N° 173	EnEV 2014	Arrête du Gouvernement Wallon (PEN)	Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKEEn)	RT 2012
Fassung	01.10.2010 28.01.2015	21.11.2013	15.05.2014	04.04.2008	26.10.2010
Besonderheit			nur Wallonie	MuKEEn nur Empfehlung für Kantone	8 geographische Zonen (H1 - H3)
U-Werte (Grenzwerte)					
Bodenplatte	0,40	0,35	0,30	0,28 (mit Wärmebrückennachweis)	kein Grenzwert
Wand gegen Erdreich	0,40	0,35	R = 1,50 (=> U = 0,67)	0,28 (mit Wärmebrückennachweis)	kein Grenzwert
Außenwand	0,32	0,28	0,24	0,20 (mit Wärmebrückennachweis)	kein Grenzwert
Dach	0,25	0,20	0,24	0,20 (mit Wärmebrückennachweis)	kein Grenzwert
Fenster	1,50	1,30	Fenster U = 1,8 für Glas U=1,1	1,30 (mit Wärmebrückennachweis)	kein Grenzwert
Berechnungsmethodik	Referenzgebäude	Referenzgebäude	Kennwertverfahren	Bauteil- oder Systemnachweis	Detaillierter Nachweis
Standortanpassung	nicht möglich	nicht möglich	nicht möglich	Höhenkorrektur möglich (8% je ΔK)	möglich durch geographische Zone
Belegungsichte Ø	14 m²/Pers.	14 m²/Pers.	15 m²/Pers.	14 m²/Pers.	keine Vorgabe
Auslegung Heizfall	20 ° C	20 ° C	19 ° C	21 ° C	20 ° C
Auslegung Kühlfall	26 ° C	26 ° C	23 ° C	25 ° C	25 ° C
Nutzungszeit	11 h/d	11 h/d	Hilfsenergie: ganzjährig Beleuchtung: 16,75 Tagstunden 1,15 Nachtstd.	11 h/d	9 h/d
Außenluftvolumenstrom je Fläche (ohne RLT-Anlagen)	5,0 m³/(h·m²) bei 5 Pa Druckdifferenz	4,0 m³/(h·m²) bei 5 Pa Druckdifferenz	2,9 m³/(h·m²)	2,6 m³/(h·m²)	1,2 m³/(h·m²) bei 4 Pa Druckdifferenz
Mindestaußenluftvolumenstrom bei Lüftungsanlagen	3,0 m³/(h·m²) bei Abluft 2,0 m³/(h·m²) bei Zu-+Abluft	nach Nutzungsprofil 0,15 - 5,00 m³/(h·m²)	12,0 m³/(h·m²)	0,7 m³/(h·m²)	keine Vorgabe
Kennwert Spezifische Leistung des Ventilators $P_{SFP}$ <b>Zu- oder Abluftanlage</b>	1,25 kW/(m³/s)	1,00 kW/(m³/s)	1,188 kW/(m³/s)	0,504 kW/(m³/s)	keine Vorgabe
Kennwert Spezifische Leistung des Ventilators $P_{SFP}$ <b>Zu- und Abluftanlage (ohne Konditionierung)</b>	Zuluft: 1,60 kW/(m³/s) Abluft: 1,25 kW/(m³/s)	Zuluft: 1,50 kW/(m³/s) Abluft: 1,00 kW/(m³/s)	1,98 kW/(m³/s)	Zuluft: 0,504 kW/(m³/s) Abluft: 0,504 kW/(m³/s)	keine Vorgabe
Kennwert Spezifische Leistung des Ventilators $P_{SFP}$ <b>Zu- und Abluftanlage (mit Konditionierung)</b>	Zuluft: 2,00 kW/(m³/s) Abluft: 1,25 kW/(m³/s) <b>gesamt:</b> 3,25 kW/(m³/s)	Zuluft: 1,50 kW/(m³/s) Abluft: 1,00 kW/(m³/s) <b>gesamt:</b> 2,50 kW/(m³/s)	3,06 kW/(m³/s)	Zuluft: 1,260 kW/(m³/s) Abluft: 0,504 kW/(m³/s) <b>gesamt:</b> 1,764 kW/(m³/s)	keine Vorgabe
Kategorie Ventilator	SFP 4	SFP 4	keine Vorgabe	Zuluft: SFP 1-3 Abluft: SFP 1-2	keine Vorgabe
Rückwärmehzahl WRG	> 60 %	> 60 %	keine Vorgabe	> 75 %	> 50 %
Interne Last Arbeitshilfen (mittel)	7,0 W/m²	7,0 W/m²	3,0 W/m²	7,0 W/m²	1,6 W/m²
Faktor Primärenergie					
Heizöl EL	1,10	1,10	1,00	1,24	1,00
Erdgas	1,12	1,10	1,00	1,15	1,00
Strom	2,66	2,50	2,50	2,97	2,58
Erdgas	1,12	1,10	2,50	1,15	1,00
Strom	2,66	2,50	2,50	2,97	2,58
	<b>Faktoren Primärenergie nach EN 15603</b>			<b>1,35 Heizöl EL</b>	
			<b>1,36 Erdgas</b>		
			<b>3,31 Strom</b>		

Tabelle 2 - Auszug nationaler Konventionen zur Berechnung der Gesamtenergieeffizienz

## 6. Auswirkungen auf die Berechnungen der Gesamtenergieeffizienz

Die nationalen Unterschiede in der Berechnungssystematik (siehe Tabelle 1) sowie in den Konventionen zur Berechnung (siehe Tabelle 2) führen dazu, dass die nationalen Ergebnisse der Berechnungen der Gesamtenergieeffizienz nicht direkt miteinander verglichen werden können.

Die Auswirkungen der einzelnen Parameter auf den berechneten End- und Primärenergiebedarf können nur mittels Parameterstudien dargestellt werden. Hierzu wurden 9 reale Bürogebäude, zu denen auch der Endenergieverbrauch der Heizenergie und des Stroms von mindestens einer Periode (Jahr) vorlag, als Grundlage herangezogen. Alle Bürogebäude sind mit Teil- oder Vollklimatisierung ausgestattet.

Tabelle 3 stellt die wesentlichen Gebäudemerkmale dar.

Nr.	Energiebezugsfläche m <sup>2</sup>	Nettovolumen m <sup>3</sup>	Anzahl Geschosse	Fensterfläche % der Fassade	Faktor Oberfläche/ Volumen m <sup>-1</sup>	Baujahr / Renovierung	mittlerer U-Wert W / (m <sup>2</sup> ·K)	unterkellert (Anzahl)
1	14.846	44.490	10	48	0,16	2009	0,65	ja (2)
2	5.358	17.007	9	41	0,27	2004	0,75	ja (2)
3	5.363	15.921	11	55	0,27	2004	0,75	ja (1)
4	2.384	6.537	9	90	0,19	2002	1,08	ja (1)
5	10.850	31.914	9	64	0,14	2008	0,84	ja (1)
6	29.794	88.424	10	36	0,15	1993	0,84	ja (3)
7	35.726	99.919	11	36	0,25	2009	0,53	ja (2)
8	16.828	46.596	9	60	0,27	2007	0,77	ja (3)
9	14.141	41.267	9	41	0,31	2007	0,67	ja (3)

Tabelle 3 - wesentliche Kennwerte der Bürogebäude (alle Gebäude sind mit Teil- oder Vollklimatisierung)

Sodann wurde in 5x9=45 Berechnungsgängen die Ermittlung des Nutz- und Endenergiebedarfes der Gebäude für die Anforderungen „Heizen / Lüftung / Kühlen / Beleuchtung / Hilfsenergie“ nach den einzelnen Verfahren der 5 Staaten durchgeführt (Bild 1 und Bild 5).

### 6.1 Berechnung des spezifischen Endenergiebedarfs $q_{E, Hz}$ (Heizen)

Der in Bild 1 dargestellte Endenergiebedarf bezieht sich gemäß Vorgaben der Tabelle 1 für die Staaten LUX, D, B auf die Nettogrundfläche (NGF), für F auf  $1,1 \cdot NGF$ . Für die Schweiz wurde anstatt der nach Tabelle 1 anzusetzenden Bruttogrundfläche der berechnete Endenergiebedarf auf die Nettogrundfläche bezogen. Der reale Endenergieverbrauch ist ebenfalls auf die Nettogrundfläche bezogen.

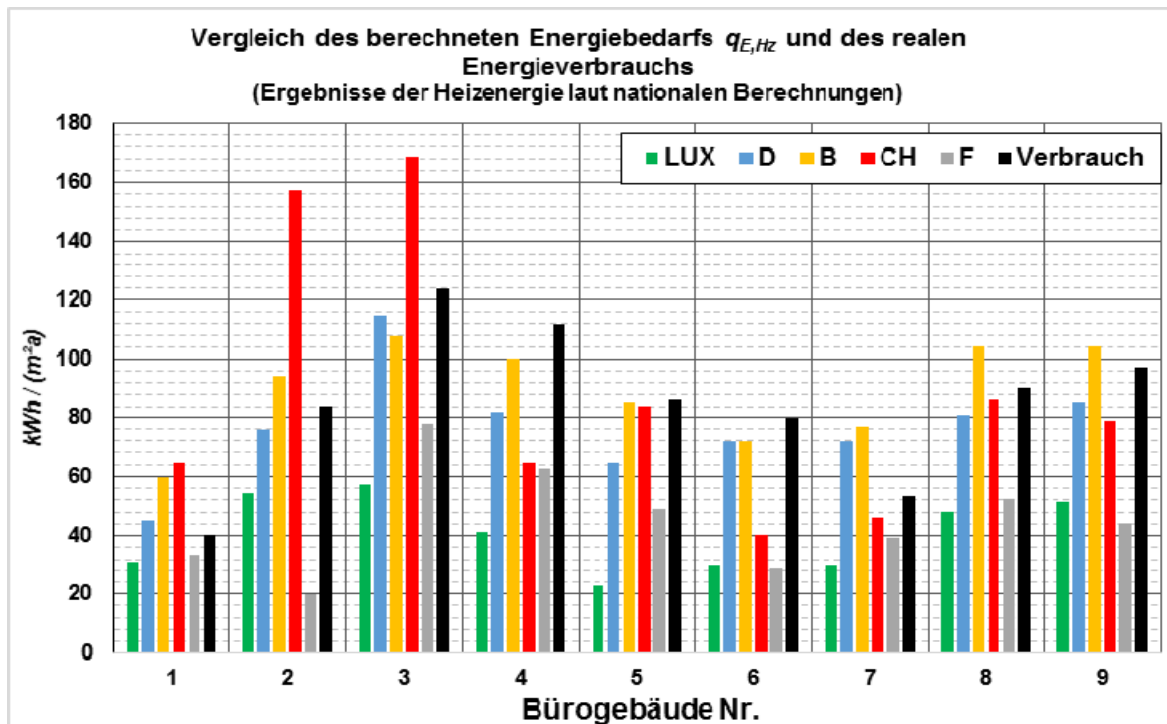


Bild 1 – Vergleich des national berechneten Endenergiebedarfs und des realen Endenergieverbrauchs für den Fall „HEIZEN“ bezogen auf die Nettogrundfläche NGF

Die gebäudespezifischen Ergebnisse des national berechneten Endenergiebedarfs differieren viele 100% untereinander und weisen erhebliche Abweichungen zum realen Endenergieverbrauch auf. Dies ist natürlich durch die national unterschiedliche Berechnungssystematik (siehe Tabelle 1) und die national differierenden Konventionen (siehe Tabelle 2) und die verschiedenen Nutzer begründet, wobei die Größenordnung der Differenzen klar erschreckend ist. Die luxemburgischen und französischen Ergebnisse liegen auffallend niedrig im Vergleich untereinander bzw. im Vergleich zum realen Verbrauch. Die deutschen, schweizerischen<sup>2</sup> und belgischen Werte weichen oft nur gering untereinander bzw. vom realen Verbrauch ab.

In Bild 2 sind die Ergebnisse des berechneten Nutz- und Endenergiebedarfs als flächengewichteter Mittelwert für alle Gebäude dargestellt. Die Bild 1 zu Grunde liegende Energiebezugsfläche ist in Bild 2 beibehalten. Trotz der Mittelung über 9 Gebäude bleibt mehr als 100% Differenz zwischen den einzelnen Staaten und zum Verbrauch, der meistens durch die Berechnungen unterschätzt wird. Auffallend niedrig sind die Luxemburger Mittelwerte mit 36 kWh/(m<sup>2</sup>·a) und die französischen Mittelwerte mit 40 kWh/(m<sup>2</sup>·a). Die schwarze rechte Säule stellt den realen Verbrauch ebenfalls als flächengewichteter Durchschnittswert dar.

Allen nationalen Berechnungen liegt eine Rückwärmezahl<sup>3</sup> und Rückfeuchtezahl von 65 % zu Grunde.

Der durchschnittliche Endenergiebedarf aller Staaten liegt mit 60 kWh/(m<sup>2</sup>·a) nur geringfügig mit 20 % unter dem tatsächlichen Endenergieverbrauch von 75 kWh/(m<sup>2</sup>·a).

<sup>2</sup> außer Gebäude Nr. 2 und Nr. 3

<sup>3</sup> Die Rückwärmezahl ist die Kennzahl, die die Temperaturdifferenz zwischen Zu- und Abluft und die Temperaturdifferenz zwischen Fort- und Außenluft ins Verhältnis setzt. Nach DIN V 18599-7 sind in Tabelle 8 die Standardwerte für verschiedene Systemlösungen der Wärmerückgewinnung definiert.

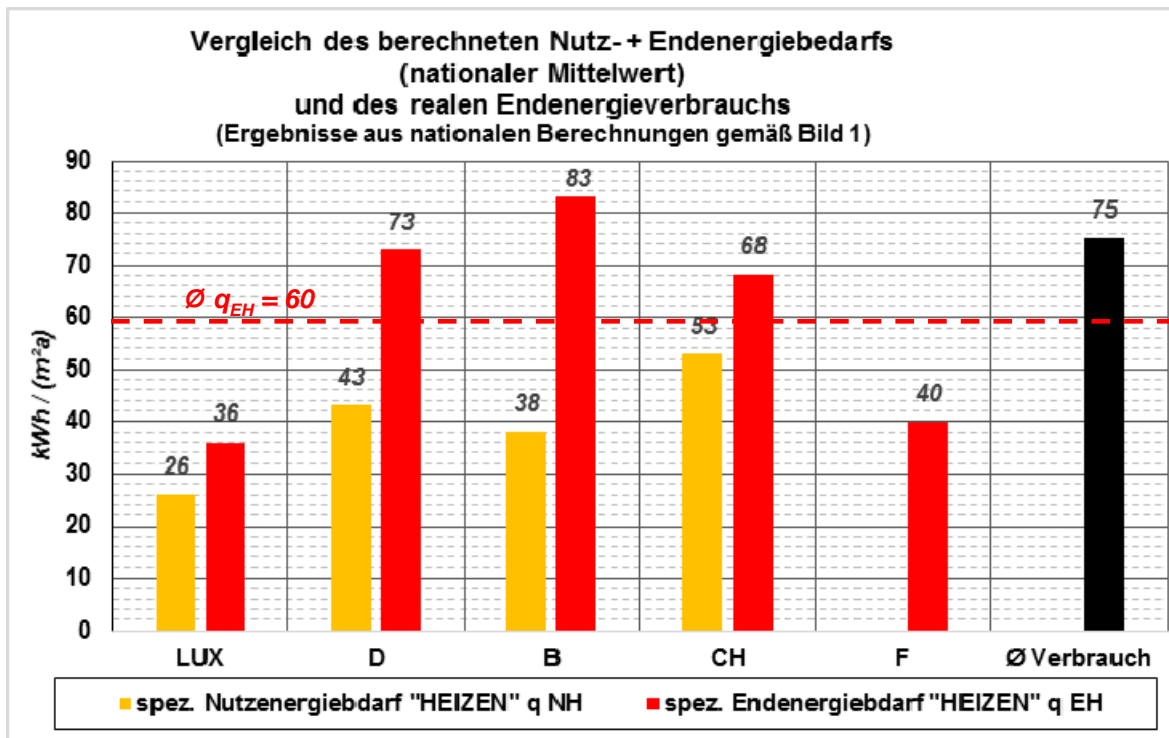


Bild 2 – Vergleich der Mittelwerte des national berechneten Endenergiebedarfs und des realen Endenergieverbrauchs für den Fall „HEIZEN“ bezogen auf die Nettogrundfläche NGF

Die Berechnungen der Gesamtenergieeffizienz basieren nach EN ISO 13790 auf der Ermittlung des Gesamtwärmetransfers  $Q_{ht}$  eines Gebäudes.[2] Dieser setzt sich aus Transmissions- und Lüftungsanteilen zusammen. Für die Ermittlung des Lüftungswärmetransferkoeffizienten sind die Verluste aus Infiltration<sup>4</sup>, Fensterlüftung, nutzungsbedingter Mindestaußenluftwechsel (hygienischer Luftwechsel) und mechanischer Lüftungsanlagen zu berücksichtigen.<sup>5</sup> Der dadurch erforderliche thermische Energieaufwand wird in der Berechnung des Heizwärmebedarfs berücksichtigt. Der elektrische Energieaufwand zur Luftaufbereitung bei Lüftungsanlagen fließt in den Strombedarf ein<sup>6</sup> und wird später diskutiert.

Die Berechnungsergebnisse von Bild 2 basieren auf einem Außenluftvolumenstrom durch Infiltration über die thermische Hüllfläche von 2,0 m<sup>3</sup>/(h·m<sup>2</sup>) bei Luxemburg, 12,0 m<sup>3</sup>/(h·m<sup>2</sup>) bei Belgien<sup>7</sup> und 4,0 m<sup>3</sup>/(h·m<sup>2</sup>) bei Frankreich<sup>8</sup> je nachdem ob eine Dichtheitsprüfung (Blower-Door-Test) durchgeführt wurde.

Für die Schweiz ist bei unbekannter Personenbelegung der Außenluftvolumenstrom durch Infiltration aus dem Produkt Energiebezugsfläche (in NGF) und hygienischer Luftwechsel (in Abhängigkeit vom Nutzungsprofil) zu berechnen.<sup>9</sup> Um den somit berechneten Betrag vergleichbar zu LUX/B/F zu gestalten, wird dieser durch die thermische Hüllfläche geteilt. Für Deutschland wurde abweichend zur DIN V 18599-2 wie bei der Schweiz vorgegangen.

<sup>4</sup> Undichtigkeiten der thermischen Hüllflächen

<sup>5</sup> Vgl. DIN V 18599-2, Kapitel 6.3. [16]

<sup>6</sup> Vgl. DIN V 18599-3 bzw. DIN V 18599-7. [16]

<sup>7</sup> Laut belgischem Erlass muss ein Mindestaußenluftvolumenstrom für Infiltration von 12,0 m<sup>3</sup>/(hm<sup>2</sup>) angesetzt werden, wenn keine Dichtheitsprüfung durchgeführt wurde. Ansonsten ist der gemessene Wert anzusetzen. Für die Bürogebäude liegen keine Messergebnisse vor. [13]

<sup>8</sup> Nach RT2012 ist der tatsächlich geplante / gemessene Wert anzusetzen. Für diesen Vergleich wurde für Frankreich ein Mindest-Außenluftvolumenstrom mit dem Betrag von 4,0 m<sup>3</sup>/(h·m<sup>2</sup>) nach RT2005 angesetzt.

<sup>9</sup> Der hygienische Luftwechsel ist nutzungsabhängig als flächenspezifischer Wert in Tabelle 36 der Norm SIA 380/4 definiert. [18]



Je nach Land erhält man Werte für den Außenluftvolumenstrom zwischen 2 bis 12 m<sup>3</sup>/(h·m<sup>2</sup>), was etwa einem Luftwechsel von 0.3 bis 2 1/h entspricht. Bild 3 stellt den spezifischen Endenergiebedarf (Heizen) über diesem angenommenen bzw. definierten Außenluftvolumenstrom dar und zeigt die direkte und praktisch lineare Abhängigkeit des Endenergiebedarfs (Heizen) davon. Dies ist also ein extrem sensibler Parameter, dessen relative Bedeutung mit zunehmendem Dämmstandard immer mehr zunimmt. Auch der Nutzer beeinflusst durch sein Lüftungsverhalten in der Realität extrem den Verbrauch beim einzelnen Objekt. Bei vielen Gebäuden sollte der Wert aber so gewählt werden, dass er den mittleren Nutzer richtig abbildet. In Luxemburg und Frankreich scheint man eher zu niedrig und in Deutschland und Belgien eher zu hoch zu liegen, wie man aus Bild 2 und Bild 3 sieht.

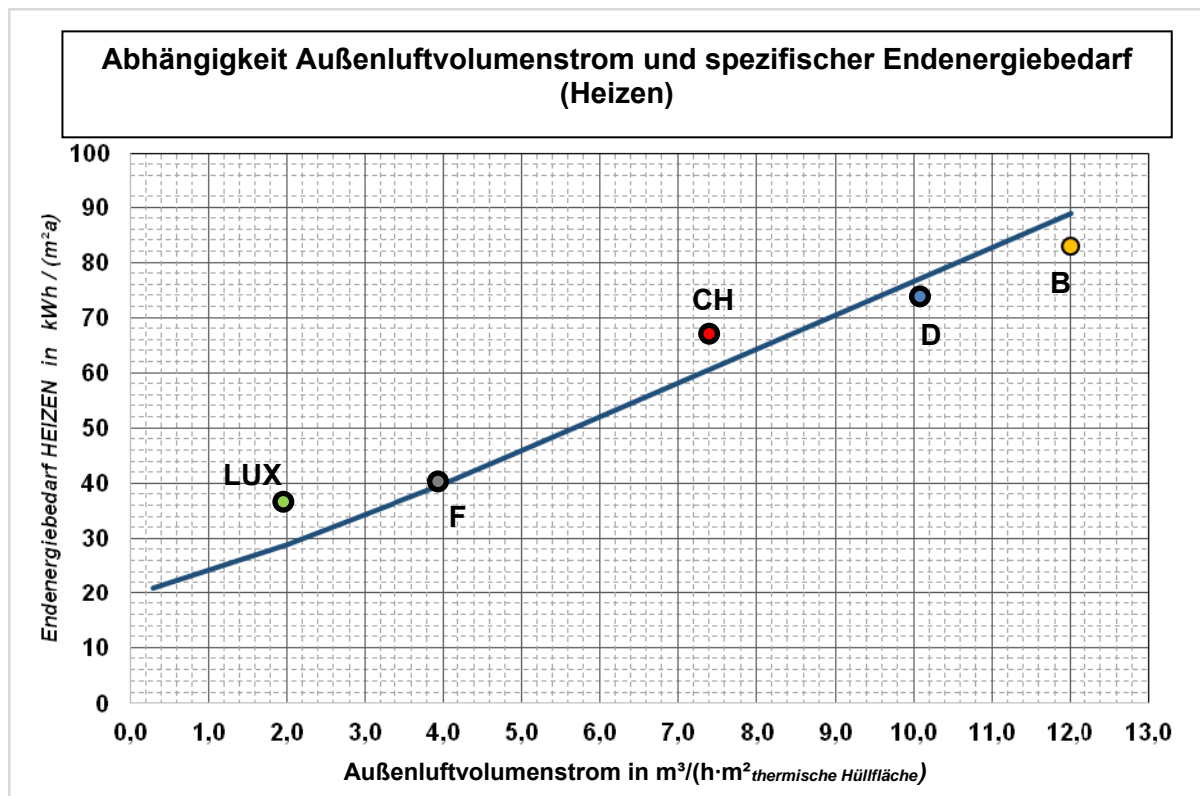


Bild 3 – Abhängigkeit des berechneten Endenergiebedarfs (Heizen) vom Außenluftvolumenstrom

Nach den Normen aller Staaten sind verpflichtend Wärmerückgewinnungsanlagen (WRG) einzusetzen. Die national geforderten Rückwärmezahlen sind in Tabelle 2 als Mindestwerte dargestellt. Bild 4 zeigt den Vergleich der nationalen Ergebnisse des spezifischen Endenergiebedarfs von Luxemburg und Deutschland bei unterschiedlichen Rückwärmezahlen der WRG-Anlagen. Daher verdeutlicht Bild 4 genau wie Bild 3 die extreme Bedeutung der Lüftungswärmeverluste bzw. deren Reduktion durch eine gut funktionierende mechanische Lüftung. Merzkirch hat hierzu analysiert, welche Anforderungen gut funktionierende Lüftungsanlagen beispielsweise im Wohnungsbau erfüllen sollen. [17].

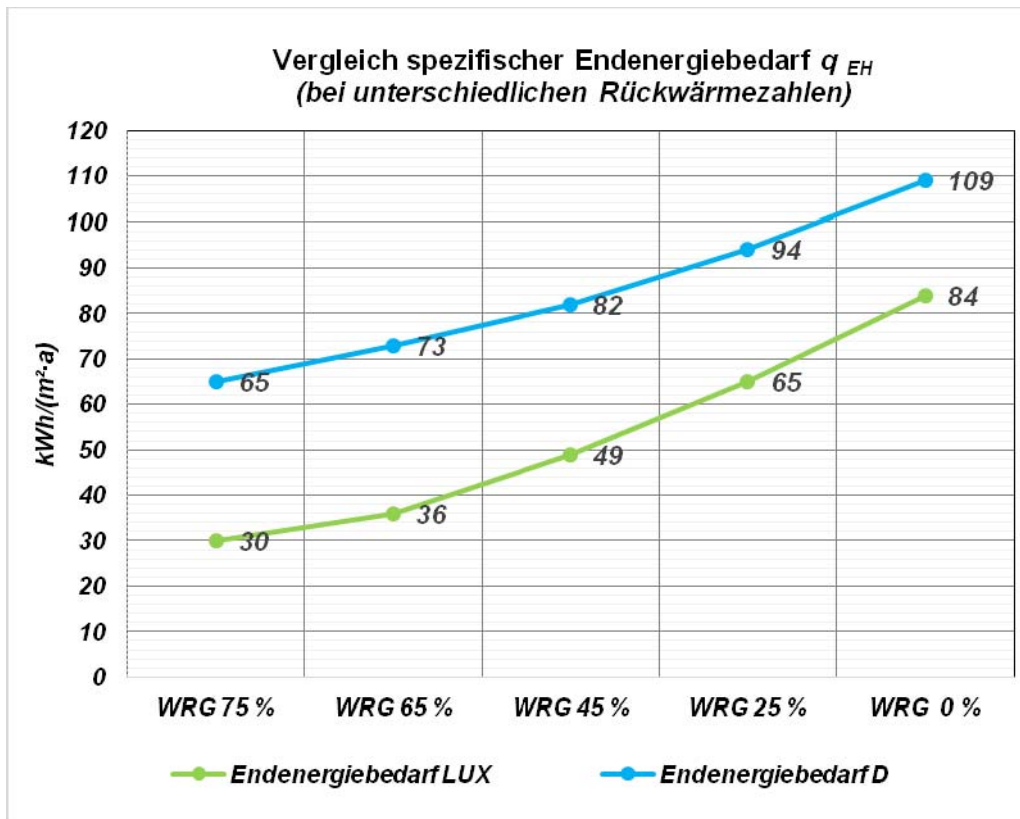


Bild 4 – Vergleich des spezifischen Endenergiebedarfs (Heizen) bei unterschiedlichen Rückwärmehzahlen

Bei einer Rückwärmehzahl der WRG von z.B. 65 % wird nach Bild 4 für Deutschland ein spezifischer Endenergiebedarf von 70 kWh/(m²·a) berechnet, bei Luxemburg dagegen von 36 kWh/(m²·a). Der Verlauf der grünen Linie verdeutlicht, dass die Energieeinsparung durch die WRG-Anlagen nach Luxemburgischen Berechnungen höher ausgewiesen wird als in Deutschland.

Die **Fachliteratur** weist für ähnliche Bürogebäude folgende **Vergleichswerte des Endenergieverbrauchs** für den Fall HEIZEN aus:

- |   |            |                    |
|---|------------|--------------------|
| • Richtlinie VDI 3807 Blatt 2, Tab. 4   | Mittelwert | 60-92 kWh/(m²·a)   |
| • Energieeffizienz neuer Schul- und Bürogebäude <sup>10</sup> als Bürogebäude mit teilweiser Klimatisierung | Mittelwert | 70 kWh/(m²·a)      |
| • Energieeffizienz neuer Schul- und Bürogebäude <sup>11</sup> als Bürogebäude mit Klimatisierung            | Mittelwert | 172 kWh/(m²·a)     |
| • BMVBS; Bekanntmachung Vergleichswerte <sup>12</sup>   | Mittelwert | 85 -105 kWh/(m²·a) |
| • Einsparpotential der energetischen Sanierung <sup>13</sup>  | Mittelwert | 212 kWh/(m²·a)     |
| • ages Verbrauchskennwerte 2005 <sup>14</sup>   | Mittelwert | 106 kWh/(m²·a)     |

Die berechneten Ergebnisse liegen mit einem Durchschnittswert von 60 kWh/(m²·a) im unteren Bereich der Vergleichswerte der Fachliteratur und noch 20% unter dem tatsächlichen durchschnittlichen Verbrauch mit 75 kWh/(m²·a).

<sup>10</sup> Vgl. Thewes, A., Abbildung 74, Seite 103. [5]

<sup>11</sup> Vgl. Thewes, A., Abbildung 74, Seite 103. [5]

<sup>12</sup> Vgl. BMVBS, Tab. 2.1 und Tab. 2.2. [7]

<sup>13</sup> Vgl. Hoos, Th., Abbildung 35, Seite 72. [4]

<sup>14</sup> Vgl. Verbrauchskennwerte 2005, Tab. 35, Seite 53. [8]

## 6.2 Berechnung des spezifischen Endenergiebedarfs $q_{E (STROM)}$

Die Berechnungsergebnisse über den Strombedarf sind in Bild 5 als flächenbezogene Mittelwerte der 9 Gebäude im Vergleich zum realen Verbrauch dargestellt. Der vorliegende Stromverbrauch der Gebäude berücksichtigt zunächst nur den Allgemeinstrom für Lüftung, Kälte, Hilfsenergie aller Flächen. Der Stromverbrauch beinhaltet auch die Beleuchtung der Gemeinflächen wie Flure, Treppenhäuser etc. Der restliche Stromverbrauch (Büroausstattung, Bürobeleuchtung) wird direkt und einzeln von den Nutzern (Mietern) abgerechnet und liegt leider nicht vor. Renter et al. [15] schätzen den Strombedarf der Ausstattung mit ca.  $33 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$  und den der Beleuchtung der Nutzerflächen (Büros) mit ca.  $10 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ <sup>15</sup> ab. Die vorliegenden Verbrauchswerte sind daher in Bild 5 um  $10 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$  erhöht, während die Büroausstattung unberücksichtigt bleibt, weil sie entsprechend den EU-Direktiven und nationalen Normen nicht berücksichtigt wird.

Die Verbrauchswerte des Stroms sind bei den meisten Gebäuden etwas geringer als die berechneten Bedarfswerte. Außer für Belgien sind die berechneten Werte recht nahe an den wirklichen Verbrauchswerten.

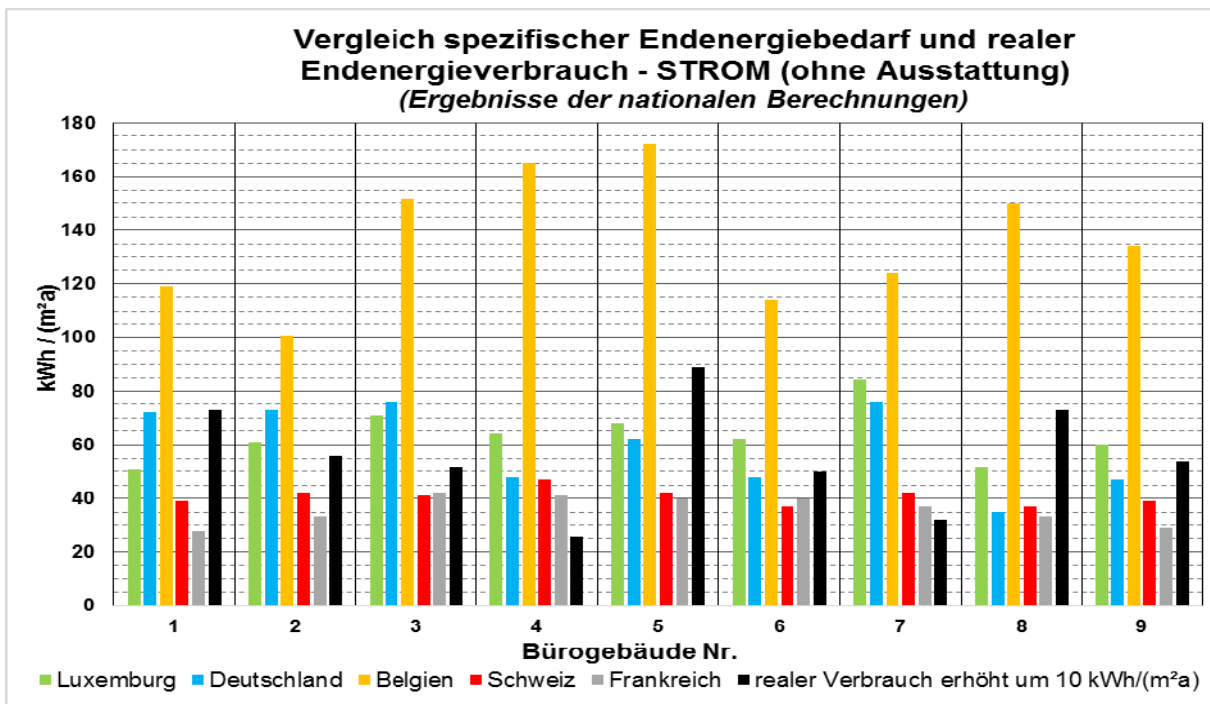


Bild 5 – Vergleich des spezifischen elektrischen Endenergiebedarfs und –verbrauchs bezogen auf die Nettogrundfläche (NGF) mit um  $10 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$  erhöhten Stromverbrauch

Nach französischer Norm sind in den Bedarfsberechnungen des Stroms die tatsächlichen Komponenten Kennwerte anzusetzen. Da für die Lüftung und Kühlung keine Angaben vorliegen, sind die französischen Strombedarfswerte außer der Beleuchtung nur geschätzte Werte und werden daher nicht weiter berücksichtigt.

<sup>15</sup> Die Flächen der Bürogebäude bestehen im Durchschnitt zu ca. 35 % aus Gemeinflächen und zu ca. 65 % aus Nutzerflächen. Der berechnete spezifische Strombedarf der Beleuchtung mit ca.  $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$  verteilt sich zu ca.  $5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$  auf die Gemeinflächen und zu ca.  $10 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$  auf die Nutzerflächen.

### 6.2.1 Spezifischer Endenergiebedarf der Beleuchtung

Bild 6 zeigt den Strombedarf der Beleuchtung nach den nationalen Vorschriften und zwar als Mittelwert über alle Gebäude. Der spezifische Strombedarf der Beleuchtung von LUX/D/CH weicht nur wenig voneinander ab, der von Frankreich etwas und die Werte von Belgien dagegen sehr.

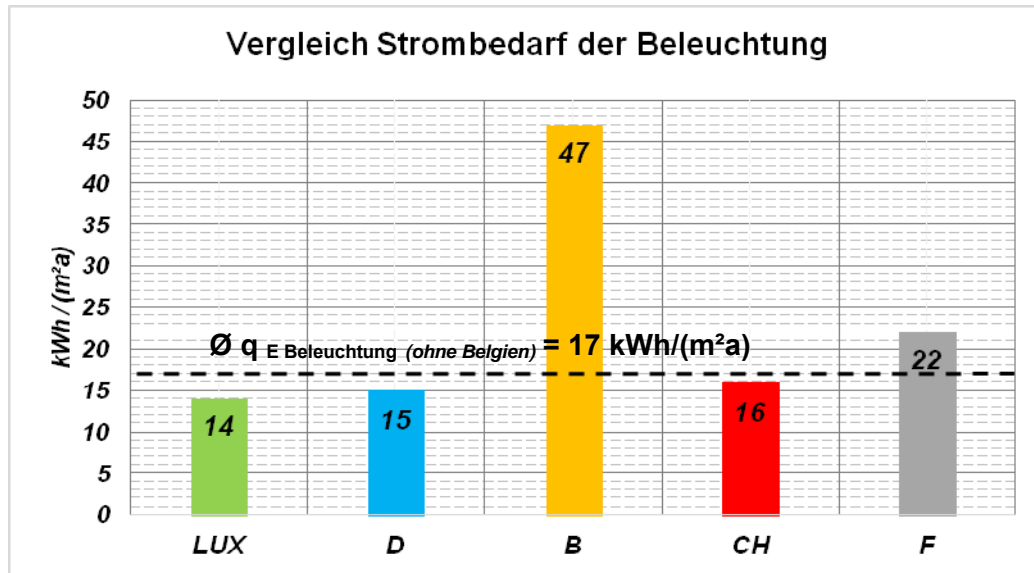


Bild 6 – Vergleich des spezifischen elektrischen Endenergiebedarfs der Beleuchtung

Der hohe Strombedarf der Beleuchtung bei Belgien erklärt sich durch die lange tägliche Nutzungszeit von 17,9 Stunden (siehe Tabelle 2) und einem spezifischen Leistungswert der Beleuchtung von 20 W/m<sup>2</sup> <sup>16</sup>, die beide laut belgischer Verordnung anzusetzen sind. Wird in der belgischen Berechnung Betriebszeit und Leistungswert der Beleuchtung nach den Ansätzen von LUX/D<sup>17</sup> angesetzt, ermittelt sich der Strombedarf der Beleuchtung in Belgien vergleichsweise zu 13,4 kWh/(m<sup>2</sup>·a). Damit ist die Abweichung des Strombedarfs der Beleuchtung nur noch gering z. B. zu Luxemburg mit 14 kWh/(m<sup>2</sup>·a).

Frankreich setzt einheitlich für die gesamte Energiebezugsfläche einen spezifischen Leistungswert der Beleuchtung von 12 W/m<sup>2</sup> <sup>18</sup> an. Die tägliche Betriebszeit beträgt lediglich 9 Stunden. Wird die Betriebszeit und der Leistungswert der Beleuchtung nach den Ansätzen von LUX/D<sup>19</sup> berücksichtigt, ermittelt sich der Strombedarf der Beleuchtung in Frankreich vergleichsweise zu 27 kWh/(m<sup>2</sup>·a). Damit liegt der Strombedarf der Beleuchtung erheblich über den Werten von LUX/D/CH. Insgesamt fällt nur die belgische Verordnung klar aus dem Rahmen und liegt deutlich zu hoch.

### 6.2.2 Spezifischer Endenergiebedarf der Lüftung

Der Strombedarf von Lüftungsanlagen wird im Wesentlichen durch den geförderten Luftvolumenstrom abhängig von der Raumnutzungsart und den spezifischen Leistungswert

<sup>16</sup> Luxemburg und Deutschland setzen vergleichsweise den spezifischen Strombedarf der Beleuchtung mit 13,2 W/m<sup>2</sup> bei direkt/indirekter Beleuchtung an.

<sup>17</sup> Tägliche Betriebszeit der Beleuchtung 11 Std./Tag und spezifischer Leistungswert der Beleuchtung 13,2 W/m<sup>2</sup>.

<sup>18</sup> Nach RT2005.

<sup>19</sup> Tägliche Betriebszeit der Beleuchtung 11 Std./Tag und spezifischer Leistungswert der Beleuchtung 13,2 W/m<sup>2</sup>.

der Ventilatoren  $P_{SFP}$ . Die „Specific Fan Power“ gibt an, wie viel Energie zum Transport von  $1 \text{ m}^3$  Luft insgesamt gebraucht wird. Neben den Elektromotoren und den Ventilatoren, wird dieser Wert vor allem durch die Kanalquerschnitte, den Widerstandsbeiwerten für die Wärmetauscher und die Filter bestimmt.

In Tabelle 2 sind die normativ zu berücksichtigenden nationalen Leistungswerte der Ventilatoren  $P_{SFP}$  abgebildet. Mit den Werten von  $3,25 \text{ kW/m}^3$  (LUX/D<sup>20,21</sup>),  $3,06 \text{ kW/m}^3$  (B<sup>22</sup>),  $1,98 \text{ kW/m}^3$  (CH<sup>23</sup>) variieren sie erheblich.

Bild 7 zeigt die nationalen Berechnungsergebnisse des spezifischen Endenergiebedarfs der Lüftungsanlagen. Die Ergebnisse der Staaten LUX/D/CH weichen nur gering voneinander ab, die belgischen Ergebnisse dagegen erheblich nach unten. Man könnte z.B. vermuten, dass in Belgien angenommen wird, dass durch den hohen Außenluftvolumenstrom nach Bild 3 nur noch wenig Luft mechanisch durch die Lüftungsanlage gefördert werden muss. Der  $P_{SFP}$  ist mit  $3,06 \text{ kW/m}^3$  eher ungünstig angenommen und kann daher nicht die Ursache für den niedrigen Strombedarf sein.

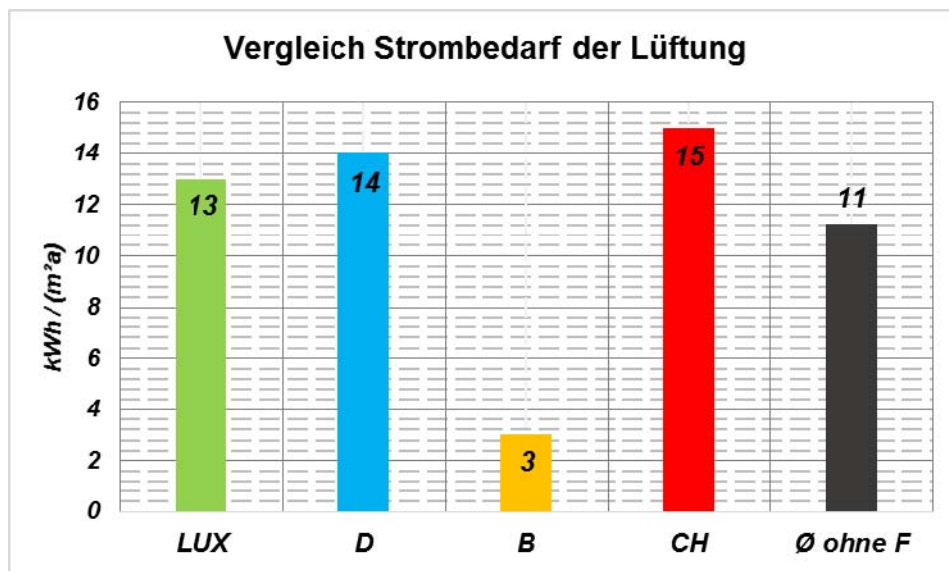


Bild 7 – Vergleich des spezifischen elektrischen Endenergiebedarfs der Lüftung

Die Abweichungen des spezifischen Endenergiebedarfs der Lüftung bei den Staaten Luxemburg und Deutschland sind sehr gering, da beide Staaten die Berechnungen auf Basis der DIN V 18599 durchführen. Die Ansätze des Luftvolumenstroms und der spezifischen Ventilatorleistung sind daher identisch.

Die Schweiz legt bei den Berechnungen der RLT-Anlagen mit Konditionierung der Luft eine günstige spezifische Ventilatorleistung von  $1,98 \text{ kW/m}^3$  zu Grunde. Das sich ergebende Luftvolumen aus dem Produkt Außenluftvolumenstrom und jährlicher Betriebszeit ist im Vergleich zur LUX/D sogar um 48 % höher.

<sup>20</sup> Vgl. EnEV 2014, jedoch sind ebenfalls die Vorgaben der DIN V 18599 zu beachten. [11] [16]

<sup>21</sup> Vgl. DIN V 18599:7, Tabelle 26. [16]

<sup>22</sup> Vgl. belgischer Erlass, Anlage A2. [13]

<sup>23</sup> Vgl. SIA 380/4. [18]

### 6.2.3 Spezifischer Endenergiebedarf der Kühlung

Der Endenergiebedarf der Kühlung setzt sich aus den Komponenten RLT-Kühlung (Energiebedarf des Kühlregisters in den RLT-Anlagen) und Raumkühlung (Energiebedarf für Kühlanlagen im Raum, z.B. Kühldecken, Bauteilaktivierung, usw.) zusammen. In Bild 8 sind die nationalen Ergebnisse des spezifischen Endenergiebedarfs der Kühlung dargestellt.

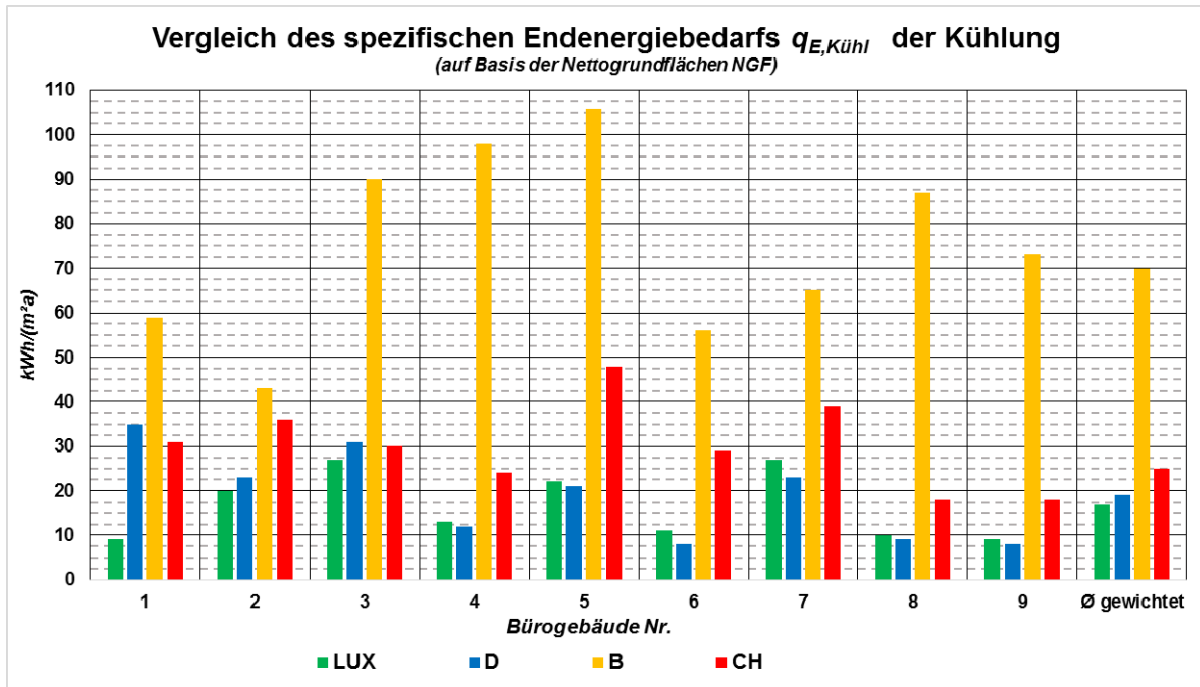


Bild 8 – Vergleich des spezifischen Endenergiebedarfs (Strombedarf) der Kühlung

Die nationalen Ergebnisse weichen erheblich zwischen den einzelnen Gebäuden ab. Beim flächengewichteten Mittelwert über alle 9 Gebäude (rechte Säulen) dagegen weichen die nationalen Ergebnisse der Staaten LUX/D/CH nur gering voneinander ab, Belgien dagegen wieder erheblich. Der spezifische Endenergiebedarf der Kühlung beträgt bei Belgien beim Mittelwert fast das Dreifache des Mittelwertes der Staaten LUX / D /CH.

Bei den Staaten LUX / D beträgt die berechnete Relation des absoluten Nutzenergiebedarfs (Raumkälte) der Kühlung zum absoluten Endenergiebedarf (Strom) ca. 3,1. Die Berechnungen basieren auf der Annahme, dass als Kälteerzeuger luftgekühlte Kolbenverdichter eingesetzt werden. Für derartige Geräte weist die DIN V 18599 eine Leistungszahl von ca. EER = 3,3 aus.<sup>24</sup>

Auffällig hoch ist der Strombedarf der Kühlung bei Belgien. Die Kühlung muss nach belgischer Verordnung ganzjährig und ab einer Außenlufttemperatur von +16 °C angesetzt werden. Somit beträgt die jährliche Betriebszeit der Kühlung ca. 2.628 Betriebsstunden, was 30% eines Jahres entspricht oder etwas über 7 Stunden täglich das ganze Jahr hindurch. Dies mag im Sommer noch zutreffen, wohl aber nicht im Winter. Im Durchschnitt aller Bürogebäude ist der jährliche Endenergiebedarf der Kühlung bei Belgien um ca. das 4,1-fache höher als bei den anderen Staaten. Wird vergleichsweise die jährliche Betriebszeit von 2.628 Betriebsstunden durch den Faktor 4,1 dividiert, ergibt sich eine Betriebszeit von ca. 641 Stunden. Dies entspricht ungefähr der Betriebszeit in Deutschland mit ca. 5 Monaten bei täglich ca. 6 Stunden Betriebszeit. Der hohe Strombedarf der Kühlung bei Belgien wird somit überwiegend durch die ganzjährige Betriebszeit verursacht.

<sup>24</sup> Vgl. Tabelle 28, DIN V 18599-7. [16]

Die Berechnungen der Schweiz basieren auf den Vorgaben des Artikel 1.19 der MuKE 2008.<sup>25</sup> Hiernach darf der Strombedarf der Kühlanlagen inklusive der gesamten zugehörigen Technik maximal 7 W/m<sup>2</sup> bei Neubauten bzw. 12 W/m<sup>2</sup> bei bestehenden Gebäuden betragen.<sup>26</sup>

#### 6.2.4 Spezifischer Endenergiebedarf (STROM) gesamt

Der berechnete Endenergiebedarf des Stroms für Beleuchtung (Bild 6), Lüftung (Bild 7) und Kühlung (Bild 8) ist in Bild 9 zusammengefasst.

Die nationalen Berechnungsergebnisse beinhalten den Strombedarf der Beleuchtung, Lüftung, Kühlung und Hilfsenergie. Für die Ausstattung wird ein spezifischer Energiebedarf von 33 kWh/(m<sup>2</sup>·a) angenommen und hinzu addiert, um den Gesamtstromverbrauch abzuschätzen.<sup>27</sup>

Beim Stromverbrauch werden 10 kWh/(m<sup>2</sup>·a)<sup>28</sup> für die Beleuchtung der Büros angesetzt und es wurden im Mittel 57 kWh/(m<sup>2</sup>·a) für den Allgemeinstrom gemessen, was Lüftung, Kälte und Hilfsenergien berücksichtigt. Schließlich wird noch der Strombedarf für die Büroausstattung mit 33 kWh/(m<sup>2</sup>·a) geschätzt, womit man in Summe für den Gesamtverbrauch ca. 100 kWh/(m<sup>2</sup>·a)<sup>29</sup> erhält.

---

<sup>25</sup> Vgl. MuKE 2008. [14]

<sup>26</sup> Die Betriebszeit wird nach der Norm SIA 380/1 bzw. 380/4 mit 30 % der Volllaststunden der Lüftungsanlagen definiert – die Dauer der Volllaststunden sind in Norm SIA 2024 in Abhängigkeit vom Nutzungsprofil festgelegt.

<sup>27</sup> Nach Berechnungen von Render et al. [15]

<sup>28</sup> Die Flächen der Bürogebäude besten im Durchschnitt zu 35 % aus Gemeinflächen und zu 65 % aus Nutzerflächen. Der berechnete spezifische Strombedarf der Beleuchtung mit ca. 15 kWh/(m<sup>2</sup>·a) verteilt sich zu ca. 5 kWh/(m<sup>2</sup>·a) auf die Gemeinflächen und zu ca. 10 kWh/(m<sup>2</sup>·a) auf die Nutzerflächen.

<sup>29</sup> Die Flächen der Bürogebäude besten im Durchschnitt zu 35 % aus Gemeinflächen und zu 65 % aus Nutzerflächen. Der berechnete spezifische Strombedarf der Beleuchtung mit ca. 15 kWh/(m<sup>2</sup>·a) verteilt sich zu ca. 5 kWh/(m<sup>2</sup>·a) auf die Gemeinflächen und zu ca. 10 kWh/(m<sup>2</sup>·a) auf die Nutzerflächen.



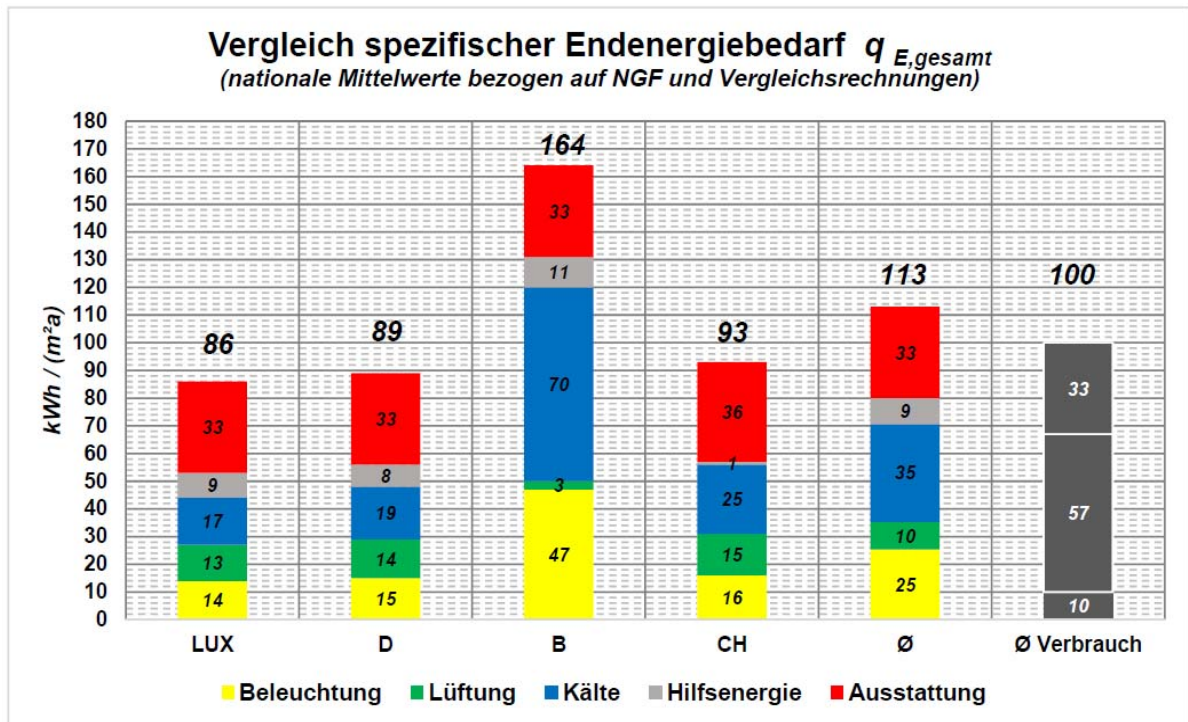


Bild 9 – Vergleich des spezifischen Strombedarfs (Ergebnisse nationaler Berechnungen) und des Stromverbrauchs<sup>30</sup>

Der berechnete spezifische Endenergiebedarf der Staaten LUX/D/CH variiert nur sehr gering untereinander. Die Ergebnisse von Belgien weichen jedoch erheblich vor allem durch den hohen Strombedarf der Beleuchtung und Kühlung ab.

Der geschätzte Stromverbrauch ist mit ca. 100 kWh/(m<sup>2</sup>·a) nur geringfügig höher als der berechnete Strombedarf, wenn die Ausstattung berücksichtigt wird.

Die **Fachliteratur** weist für ähnliche Bürogebäude folgende **Vergleichswerte des elektrischen Endenergieverbrauchs** aus:

- |   |            |                                    |
|---|------------|------------------------------------|
| • Richtlinie VDI 3807 Blatt 2, Tab. 5 <sup>31</sup>   | Mittelwert | 13 – 20 kWh / (m <sup>2</sup> ·a)  |
| • Energieeffizienz neuer Schul- und Bürogebäude <sup>32</sup> als Bürogebäude mit teilweiser Klimatisierung | Mittelwert | 81 kWh / (m <sup>2</sup> ·a)       |
| • Energieeffizienz neuer Schul- und Bürogebäude <sup>33</sup> als Bürogebäude mit Klimatisierung            | Mittelwert | 257 kWh / (m <sup>2</sup> ·a)      |
| • BMVBS; Bekanntmachung Vergleichswerte <sup>34</sup>   | Mittelwert | 40 - 105 kWh / (m <sup>2</sup> ·a) |
| • Einsparpotential der energetischen Sanierung <sup>35</sup>  | Mittelwert | 75 kWh / (m <sup>2</sup> ·a)       |
| • ages Verbrauchskennwerte 2005 <sup>36</sup>   | Mittelwert | 40 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)         |

<sup>30</sup> Der Strombedarf der Ausstattung wird mit 33 kWh/(m<sup>2</sup>·a) angesetzt. Der Endenergieverbrauch wird um 10 kWh/(m<sup>2</sup>·a) für die Beleuchtung in den Nutzerflächen und um den Betrag der Ausstattung erhöht.

<sup>31</sup> Vgl. Tabelle 5 der Richtlinie VDI 3807 Blatt 2.

<sup>32</sup> Thewes, A., Abbildung 75, Seite 104. [5]

<sup>33</sup> Thewes, A., Abbildung 75, Seite 104. [5]

<sup>34</sup> BMVBS, Tab. 2.1 und Tab. 2.2. [7]

<sup>35</sup> Hoos, Th. Abbildung 37, Seite 74. [4]

<sup>36</sup> Vgl. Verbrauchskennwerte 2005, Tab. 36, Seite 54. [8]



Der berechnete Strombedarf mit einem Durchschnittswert von  $89 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ <sup>37</sup> liegt im oberen Bereich der Fachliteratur. Der geschätzte Endenergieverbrauch (Strom) liegt mit einem Durchschnittswert von ca.  $100 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  ebenfalls im oberen Bereich der Kennwerte der Fachliteratur.

## 7. Berechnung des Primärenergiebedarfs

Nach EU-Richtlinie 2010/31/EU ist als Ergebnis der Berechnung zur Gebäudeenergieeffizienz die Primärenergie des Gebäudes für HLK-Technik und Beleuchtung (d.h. ohne Ausstattung) auszuweisen. Dies erfolgt durch Multiplikation der Ergebnisse des berechneten Endenergiebedarfs mit einem national definierten Primärenergiefaktor  $f_P$ , der in Tabelle 2 angegeben ist.

Bild 10 zeigt den Vergleich des berechneten Primärenergiebedarfs und Primärenergieverbrauchs auf Grundlage der Primärenergiefaktoren nach EN 15603 bzw. nationalen Normen.

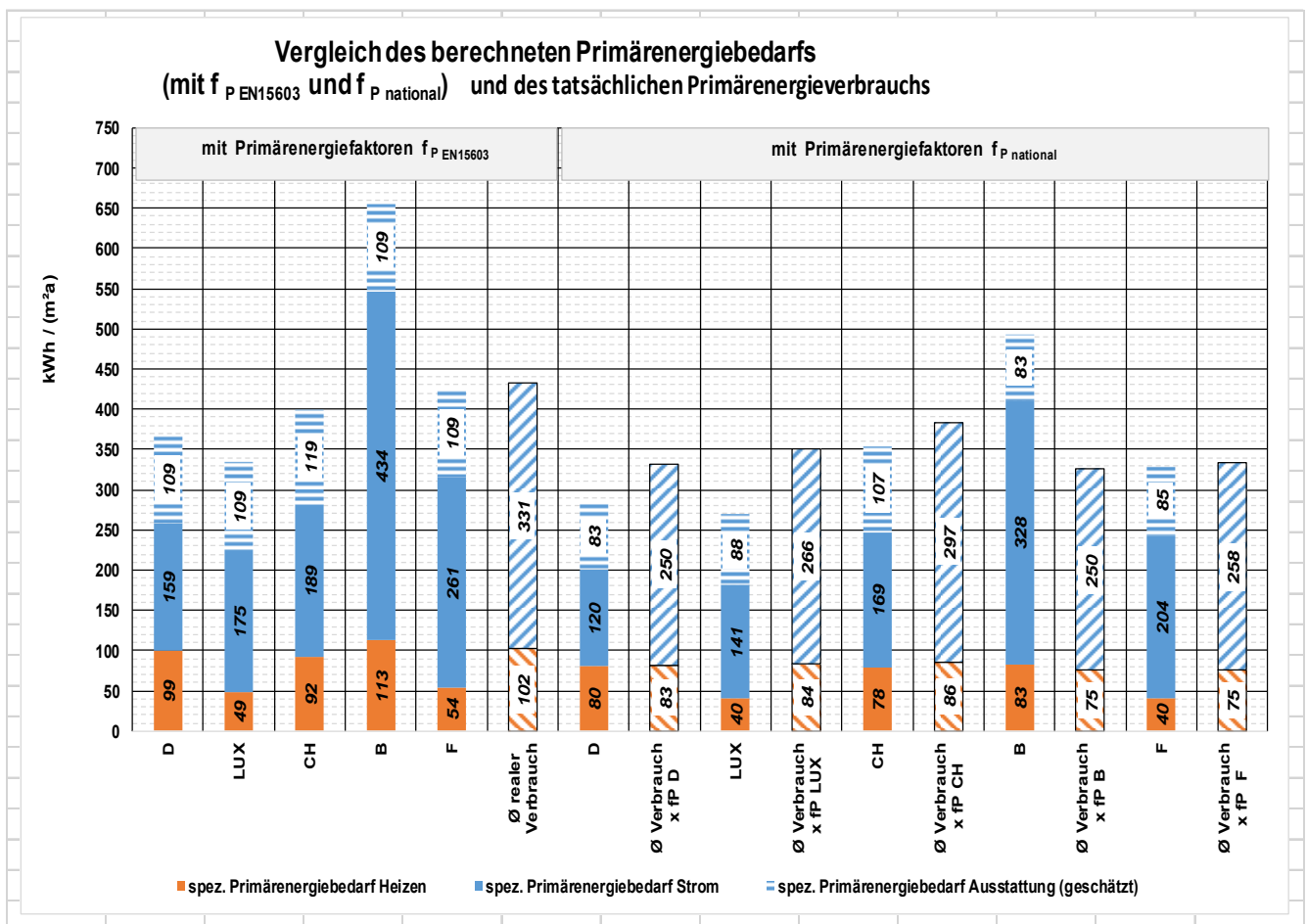


Bild 10 – Spezifischer Primärenergiebedarf und –verbrauch bezogen auf die NGF (Primärenergiefaktoren  $f_P$  nach EN 15603 und nach nationaler Definition)

Zur Vergleichbarkeit der französischen Berechnungssystematik wird der durchschnittliche Strombedarf gemäß Bild 9 mit  $79 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  angesetzt.

<sup>37</sup> Inklusive Ausstattung. Der Durchschnittswert wurde ohne Belgien berechnet.

Wird der Primärenergiebedarf mit den Primärenergiefaktoren nach DIN EN ISO 15603 berechnet, ist dieser bei den Staaten LUX/D/B/F um ca. 30 % höher als bei Ansatz der nationalen Primärenergiefaktoren, bei der Schweiz ca. 15 %.

Bei Ansatz der nationalen Primärenergiefaktoren dominiert der Stromenergiebedarf mit ca. 60 – 80 % den berechneten Primärenergiebedarf der Staaten D / B / CH, wenn die Ausstattung unberücksichtigt bleibt. Durch den niedrigen Heizendenergiebedarf der Staaten LUX und F erhöht sich der Anteil des Stromenergiebedarfs am berechneten Primärenergiebedarf noch weiter.

In den Bedarfsberechnungen bleibt nach den nationalen Vorgaben die Ausstattung unberücksichtigt. Deren Anteil am Strombedarf beträgt nach Bild 9 jedoch im Mittel ca. 37 %. Wird die Ausstattung berücksichtigt, erhöht sich der Anteil des Stromenergiebedarfs am Primärenergiebedarf auf ca. 70 – 90 %.

Der Primärenergieverbrauch wird zu ca. 75 % vom Stromverbrauch bestimmt. Die Ergebnisse der nationalen Berechnungsansätze des Primärenergiebedarfs weichen bei Ansatz des Strombedarfs für die Ausstattung außer Belgien nur gering untereinander ab.

Damit ist ganz klar, dass beim Strom angesetzt werden muss, will man das ehrgeizige Ziel der Nearly-Zero-Energy-Buildings realisieren, insbesondere wenn man die heutigen Absolutwerte von ca. 300 bis 500 kWh/(m<sup>2</sup>·a) sieht. Darüber hinaus sei auch die Frage erlaubt, warum nationale andere Primärenergiefaktoren als die der DIN EN 15603 [3] angesetzt werden dürfen.

## **8. Zusammenfassung und Perspektive**

Die EU hat mit der Richtlinie 2010/31/EU sowie der Norm EN ISO 13790 allen Mitgliedsstaaten weitgehende Vorgaben bezüglich der Berechnungen für die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden vorgegeben. Gleichzeitig wird den Mitgliedsstaaten die Möglichkeit zur Wahl eines der vorgeschlagenen Berechnungsverfahren sowie zu nationalen Anpassungen der Berechnungsverfahren eröffnet.

Die Ergebnisse der Berechnungen der Gesamtenergieeffizienz zeigen am Beispiel von 9 realen Gebäuden, dass die Bilanzierungsergebnisse auf Grund national differierender Berechnungsansätze und Konventionen leider bei weitem nicht direkt vergleichbar sind.

Bild 1 verdeutlicht die Abweichungen der Ergebnisse des Heizenergiebedarfs der nationalen Berechnungen untereinander sowie zum Heizenergieverbrauch. Wird der Parameter „Energiebezugsfläche“ bei allen nationalen Bedarfsberechnungen der Heizenergie einheitlich angesetzt, zeigt sich gemäß Bild 2, dass im nationalen Vergleich der berechnete Heiz-Endenergiebedarf erheblich um Faktoren differiert. Der flächengewichtete Mittelwert des Heiz-Endenergiebedarfs aller Staaten liegt mit 60 kWh/(m<sup>2</sup>·a) ca. 25 % unter dem realen Verbrauch. Die Unterschiede der nationalen Ergebnisse des Heiz-Endenergiebedarfs beruhen vor allem auf differierenden Ansätzen des Mindest-Außenluftvolumenstroms, der als extrem sensibler Eingabeparameter identifiziert wurde.

Die Ergebnisse der nationalen Berechnungen des Strombedarfs variieren gebäude- und staatenweise sehr stark untereinander. Die Berechnungen des Strombedarfs für Beleuchtung (Bild 6), Lüftung (Bild 7) und Kühlung (Bild 8) zeigen über die Mittelwerte der 9 Gebäude jedoch recht gute Übereinstimmung (außer für Belgien) untereinander und auch mit dem realen Verbrauch.

Die belgischen Berechnungsansätze liefern für die Beleuchtung und Kühlung sehr hohe Ergebnisse des Strombedarfs. Ursachen sind bei der Beleuchtung die täglich anzusetzende Nutzungszeit von 17,9 Stunden und bei der Kühlung eine ganzjährige Kühldauer. Der Strombedarf der Lüftung wird dagegen zu gering angenommen.

Die Berechnungen des Primärenergiebedarfs gemäß Bild 10 veranschaulichen den hohen absolut dominanten Anteil des Stroms am Primärenergiebedarf. Passive Kühlkonzepte, energieeffiziente Lüftung und Beleuchtung müssen daher weitergehend erforscht und nach vorne gebracht werden. Unter Berücksichtigung eines Bedarfs der Ausstattung von 33 kWh/(m<sup>2</sup>·a) liegt der Anteil des Stroms bei ca. 70 - 90% des Primärenergiebedarfs. Auch dieser Anteil ist keineswegs von Gott vorgegeben. So ist beispielsweise effiziente Informatik mit Nutzung der Abwärme durchaus möglich und sehr sinnvoll. Im nationalen Vergleich der Staaten bestehen beim Primärenergiebedarf und –verbrauch nur geringe Differenzen, wobei wiederum nur Belgien etwas auffällt.

Die Richtlinie 2010/31/EU verfolgt das Ziel, eine Berechnung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden durchzuführen, um langfristig den Energieverbrauch senken zu können. Das Ziel ist nur erreichbar, wenn alle Energieverbraucher eines Gebäudes berücksichtigt werden. Die Berechnungen des Primärenergiebedarfs der Staaten LUX / D / B / F vernachlässigen den Primärenergiebedarf für z.B. Ausstattungen, Aufzugsanlagen und Außenbeleuchtungen. Der berechnete End- und Primärenergiebedarf eines Gebäudes kann unter diesen Voraussetzungen nicht den tatsächlichen End- und Primärenergieverbrauch abbilden. Das Ziel der EU, den Energieverbrauch zu kontrollieren und in Energiepässen zu dokumentieren, kann daher nur erreicht werden, wenn die Gebäude mit ausreichenden Energiemessinstrumenten ausgestattet sind.

Ein verpflichtendes tiefer gehendes Monitoring, vor allem beim Stromverbrauch der Neubauten mit vernünftiger Aufschlüsselung in einzelne Verbrauchsbereiche, erscheint den Autoren absolut notwendig und wäre bei neuen Gebäuden oder bei Sanierungen und Modernisierungen ohne nennenswerte Mehrkosten machbar. In Luxemburg besteht z.B. die Pflicht die realen Verbrauchswerte nach spätestens 3 Jahren den berechneten Prognosen gegenüberzustellen, wodurch das Planungsteam in die Verantwortung genommen werden soll. Nur so lässt sich die gute Idee der Energiepässe langfristig und glaubwürdig für die Nutzer und Verbraucher erhalten und in energieeffiziente Gebäude umsetzen.

## 9. Literatur

- [1] Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden
- [2] DIN EN ISO 13790 – Energieeffizienz von Gebäuden – Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung; Deutsche Fassung EN ISO 13790:2008
- [3] DIN EN ISO 15603 – Energieeffizienz von Gebäuden – Gesamtenergiebedarf und Festlegung der Energiekennwerte; Deutsche Fassung EN 15603:2008
- [4] Hoos, Thorsten; Einsparpotential und ökonomische Analyse der energetischen Sanierung staatlicher Gebäude in Luxemburg; Dissertation Universität Luxemburg, Shaker Verlag Aachen, 2013
- [5] Thewes, Andreas; Energieeffizienz neuer Schul- und Bürogebäude in Luxemburg basierend auf Verbrauchsdaten und Simulationen; Dissertation Universität Luxemburg; Shaker Verlag Aachen, 2011

- [6] Richtlinie VDI 3807, Blatt 2 (Entwurf vom November 2012); Verbrauchskennwerte für Gebäude
- [7] BMVBS, Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand vom 07. April 2015
- [8] Verbrauchskennwerte 2005, Forschungsbericht der ages GmbH, Münster, 1.Auflage, Februar 2007
- [9] Règlement grand ducal, A-N° 173 vom 01. Oktober 2010 (Luxemburg)
- [10] Règlement grand ducal vom 28. Januar 2015 (Luxemburg)
- [11] Energieeinsparverordnung EnEV 2014 vom 21.11.2013 (Deutschland)
- [12] Règlement Thermique RT 2012 vom 26.10.2012 (Frankreich)
- [13] Erlass der wallonischen Regierung vom 15.05.2014 (Belgien)
- [14] Mustervorschrift der Kantone im Energiebereich (MuKE), Fassung 2008, vom 04.04.2008 (Schweiz)
- [15] Render, Wolfgang; Maas, Stefan; Scholzen, Frank; Ein Vergleich der nationalen Berechnungsvorschriften zur Gesamtenergieeffizienz und deren Realverbrauch von 14 Bürogebäuden ohne Lüftung oder Kühlung in Luxemburg, Deutschland, Belgien, der Schweiz und in Frankreich; Bauphysik 38 (2016), Heft 3, Aufsatz 201610017
- [16] DIN V 18599 – 1 bis 10 - Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung; Teil 1 bis 10, Berlin, 2011
- [17] Merzkirch Alexander, Energieeffizienz, Nutzerkomfort und Kostenanalyse von Lüftungsanlagen in Wohngebäuden: Feldtests von neuen Anlagen und Vorstellung bedarfsgeführter Prototypen, Dissertation Universität Luxemburg, Shaker Verlag Aachen, Juni 2015
- [18] SIA 380/4:2006 – Elektrische Energie im Hochbau, Ausgabe 2006, Zürich, 2006