

Mehr als ein Drittel der in Europa verbrauchten Endenergie entfällt auf den Gebäudesektor. Da in diesem Bereich enormes Einsparpotential besteht, wurden durch die EU-Direktive<sup>1</sup> alle Länder dazu aufgefordert Energie in diesem Sektor einzusparen. Die Energieeinsparung bei Gebäuden stellt somit eine zentrale Säule des Klimaschutzes dar.

# WIE VIEL ENERGIE VERBRAUCHEN NEUE UNTERRICHTS- UND BÜROGEBÄUDE IN LUXEMBURG?\_

Prof. Dr.-Ing. S.Maas, Ass.-Prof. Dr.-Ing. F.Scholzen, Dr.-Ing. Andreas THEWES, Ass.-Prof. Dr.-Ing. Danièle Waldmann

## 1 Einleitung

In Luxemburg hat sich in den vergangenen Jahren der nationale Energieverbrauch ebenfalls verstärkt zum Gebäudesektor hin verändert. Während 1990 noch 71 % des gesamten Energieverbrauches auf den Industriesektor zurückzuführen waren und nur 20 % auf die Gebäude, hat sich dies bis zum Jahr 2009 deutlich verändert. Demzufolge entfallen nur noch 30 % auf den Industriesektor, 25 % auf Verkehr (nach Abzug der Treibstoffexporte) und 45 % auf den Verbrauch des Tertiären Sektors<sup>3</sup>, welcher sowohl die privaten und die öffentlichen Haushalte, als auch Dienstleistungsgebäude beinhaltet.

Die Richtlinie 2010/31/EG<sup>2</sup> fordert von den Mitgliedstaaten die nationalen Normen weiterhin zu verschärfen und Pläne zu erstellen, um die Anzahl an Niedrigstenergiegebäuden weiter zu erhöhen. Um die Energieströme in Gebäuden besser zu verstehen, Sparmaßnahmen zu erarbeiten und mögliche Bewertungen über das Energieeinsparpotential für Gebäude durchführen zu können, sind jedoch aussagekräftige Verbrauchsdatenanalysen notwendig, die leider oftmals noch nicht in verlässlicher Qualität vorliegen.

In der Richtlinie wird zudem empfohlen für die Berechnung eine Unterteilung aller Gebäude in angemessene Kategorien vorzunehmen, welche von Einfamilienhäusern (EFH), über Bürogebäude und Unterrichtsgebäude bis hin zu Krankenhäusern, Hotels und Sportanlagen reicht.

In einer ersten Studie der Universität Luxemburg<sup>4</sup> wurden bereits neuere EFH in Luxemburg hinsichtlich ihres realen Energieverbrauches untersucht und ausgewertet.

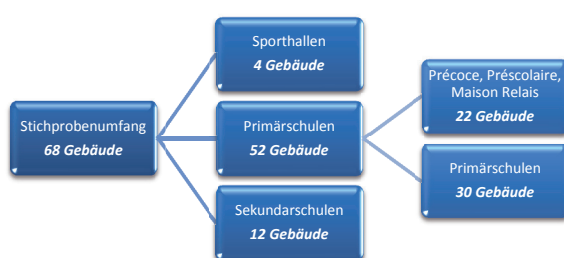


Abb 1\_ Anzahl von erfassten Unterrichtsgebäuden in Luxemburg

Bei der hier vorliegenden Feldstudie konnten 47 Büro- und 63 Unterrichtsgebäude in Luxemburg energetisch erfasst werden, wobei Strom-, Wärme-, sowie teilweise auch der Kälteverbrauch getrennt vorlagen. Eine statistische Auswertung und Analyse der neueren Gebäude nach den unterschiedlichen Energieträgern (Wärme, Strom), sowie nach energie-relevanten Einflussgrößen, wie Technisierungsgrad, Fensterflächenanteil oder Bauweise zeigen die Probleme bei den neuen Bauweisen auf.

## 2 Auswertung der erfassten Gebäudedaten

### 2.1 Beschreibung der erfassten Stichprobe

Die im Folgenden untersuchte Stichprobe beinhaltet Unterrichts- und Bürogebäude, welche hauptsächlich nach 1996 errichtet wurden. Diese Grenze wurde gewählt, weil zu diesem Zeitpunkt eine U Wert-basierte Wärmeschutzverordnung in Luxemburg in Kraft getreten ist und bis zur Umsetzung der neuen Energieeffizienz-Richtlinie für Nichtwohngebäude<sup>5</sup> zum 01.01.2011 ihre Gültigkeit hatte. Die erfassten Gebäude besitzen eine beheizte Bruttofläche von ca. 650.000 m<sup>2</sup>. In Abhängigkeit der Nutzungsart wurden die Gebäude in Gruppen unterteilt. Bei den Unterrichtsgebäuden sind dies Précoce, Préscolaire und Maison Relais (Kindertagesstätte), Primärschulen, Sekundarschulen und Sporthallen (s. Abbildung 1).

Zur Prüfung des gesamten Neubaubestandes wurde die Gruppenanzahl auf Landes- und Gemeindeebene reduziert. In Luxemburg existieren 49 Sekundarschulen, allerdings gibt diese Zahl keine Auskunft über die Gesamtheit der bestehenden Gebäude. Werden Schulen, welche nach 1996 erbaut oder komplett saniert wurden, als neu bezeichnet, so traf dies in Luxemburg zum damaligen Zeitpunkt auf 16 Sekundarschulen zu. Von diesen lagen in der Stichprobe 12 Schulen vor, was 75% entspricht. Somit kann von einer aussagekräftigen Datenbank bezüglich der Sekundarschulen gesprochen werden.

Die Primärschulen, die Précoce und die Préscolaire wurden als eine weitere große Gruppe angesehen, da sie bezüglich des Nutzerverhaltens ähnlich sind. Die Gesamtanzahl an Gebäuden wurde in einer Studie für das Jahr 2008/2009<sup>6</sup> mit 452 beziffert. Davon waren seinerzeit 91 Gebäude als

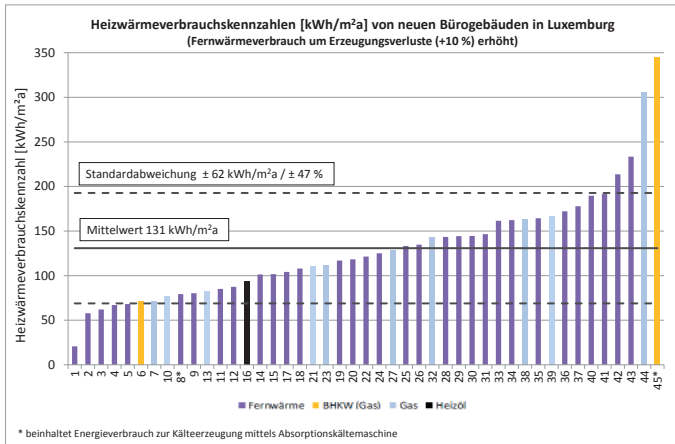


Abb 2\_ Heizwärmeverbrauchskennzahlen (inkl. Trinkwarmwasser) von neuen Unterrichtsgebäuden in Luxemburg

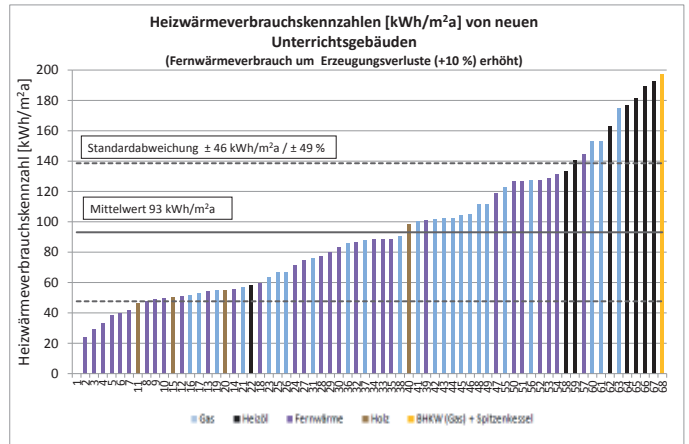


Abb 3\_ Heizwärmeverbrauchskennzahlen (inkl. Trinkwarmwasser) von neuen Bürogebäuden in Luxemburg

Neubauten bekannt, was durch Kontaktieren aller Gemeinden herausgearbeitet werden konnte. Zu 52 dieser 91, als bekannt geltenden, Neubauten liegen die realen Verbrauchswerte vor, was circa 55% der Grundgesamtheit entspricht. Die Stichprobe kann ebenfalls als aussagekräftig angesehen werden.

Hinsichtlich der Bürogebäude wurde die Prüfung des Stichprobenumfangs über die Bruttogrundfläche durchgeführt, da keine verlässlichen Angaben zu den Gebäudezahlen zu finden waren. Von 2000 bis 2010 wurden in Luxemburg ungefähr 1.342.000 m<sup>2</sup> neue Büroflächen geschaffen<sup>7</sup>. Die erfassten Gebäude besitzen eine beheizte Nettofläche von circa 230.000 m<sup>2</sup> was 17 % der zuvor genannten Grundgesamtheit entspricht.

**2.2 Festlegung der Bezugsgrößen**

Um Verbrauchswerte mehrerer Objekte vergleichbar zu machen, müssen gemeinsame Bezugssysteme definiert werden. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde die beheizte Bruttofläche als einheitlicher Flächenbezug gewählt. Die konditionierte Bruttofläche ist als die allseitig umschlossene und überdeckte Grundfläche, einschließlich der Konstruktionsflächen definiert<sup>5</sup>.

Ein weiteres zu definierendes Bezugssystem sind die klimatischen Randbedingungen. Für den Wärmeverbrauch wurde eine Klimabereinigung auf das mittlere luxemburgische Klima durchgeführt. Hierzu wurde der witterungsabhängige Wärmeverbrauch über die Heizgradtage  $HGT_{20/15}^A$  bereinigt:

$$E_{Vhb} = E_{hb} \times \frac{HGT_{(20/15m)}}{HGT_{(20/15)}}$$

wobei:

- $E_{Vhb}$  witterungsbereinigter Endenergieverbrauch Heizwärme eines Gebäudes
- $E_{hb}$  unbereinigter Endenergieverbrauch Heizwärme eines Gebäudes
- $HGT_{20/15m}$  Heizgradtage des langjährigen luxemburgischen Mittels<sup>22</sup>
- $HGT_{20/15}$  Heizgradtage des relevanten Jahres

Der erfasste Kälteverbrauch der Bürogebäude wurde ebenfalls bereinigt, obwohl das luxemburgische Règlement<sup>5</sup>

darauf hinweist, dass der Energieverbrauch zur Kälteerzeugung dem witterungsunabhängigen Anteil zuzuordnen ist. Im Rahmen dieser Feldstudie wurden die Verbrauchswerte in Abhängigkeit der Kühlgradtage<sup>B</sup>, bezogen auf eine Grenztemperatur von 16 °C, bereinigt.

$$E_{Vsb} = E_{Vsm} \times \frac{KGT_{(16/16m)}}{KGT_{(16/16)}}$$

wobei:

- $E_{Vsb}$  witterungsbereinigter Endenergieverbrauch zum Kühlen eines Gebäudes
- $E_{Vsm}$  gemessener, unbereinigter Endenergieverbrauch zum Kühlen eines Gebäudes
- $KGT_{16/16m}$  Kühlgradtage des langjährigen luxemburgischen Mittels [22]
- $KGT_{16/16}$  Kühlgradtage des relevanten Jahres

**2.3 Wärmeverbrauch**

Als erste Größe wurde der gemessene Wärmeverbrauch ausgewertet, welche auch den Energieverbrauch für Trinkwarmwasser enthält. Der Heizwärmeverbrauch verliert in Bezug auf den Gesamtenergieverbrauch jedoch zusehends an Bedeutung. Abbildung 2 + 3 zeigt von den Unterrichts- und Büroobjekten die Wärmeverbrauchskennzahlen bezogen auf die Bruttofläche. Die farbliche Unterscheidung kennzeichnet zusätzlich den Energieträger, welcher in dem Gebäude zum Heizen verwendet wird. Der Mittelwert der Unterrichtsgebäude errechnete sich zu 93 kWh/(m<sup>2</sup>a) und liegt somit deutlich unterhalb der Bürogebäuden mit 131 kWh/(m<sup>2</sup>a) [4]. Bei der Auswertung wurde beachtet, dass einige der Gebäude mit Fernwärme versorgt werden und somit in den Wärmebilanzen dieser Gebäude keine Erzeugungs- und Bereitstellungsverluste berücksichtigt sind. Zum besseren Vergleich mit Gebäuden, welche eine Gas- oder Ölheizung nutzen, wurden die Fernwärmeverbrauchskennzahlen um 10% erhöht. Dieser Wert entspricht einer Anlagenbewertung nach DIN 4701-10 [8] sowie der gemessenen Größenordnung bei einer internen Studie zu bestehenden Niedertemperaturkesseln durch die Universität Luxemburg.

A\_  $HGT_{20/15m}$  des langjährigen luxemburgischen Mittels (1995 – 2009) = 3560 Kd/a  
 B\_  $KGT_{16/16m}$  des langjährigen luxemburgischen Mittels (1997 – 2009) = 325 Kd/a

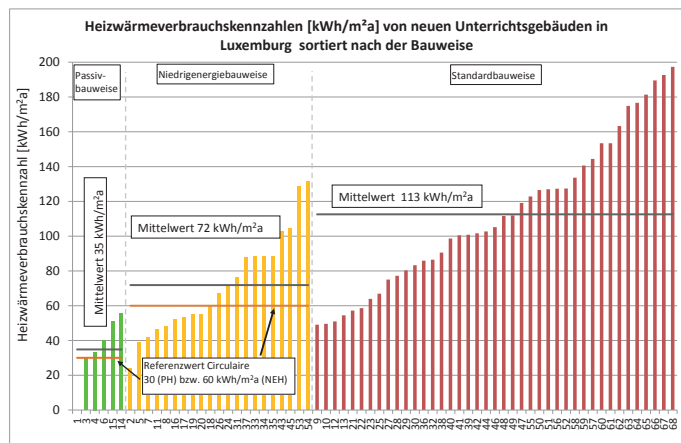


Abb 4\_ Heizwärmeverbrauchskenzahlen von neuen Unterrichtsgebäuden in Luxemburg sortiert nach der Bauweise

Die errechnete Standardabweichung ist mit  $\pm 49\%$  sehr groß und lässt sich mit den verschiedenen zusammengefassten Gebäudearten und auch Nutzungsbereichen erklären. In der Liste der Unterrichtsgebäude sind beispielsweise kleine Kindergärten, als auch große Lycées mit eigener Kantine, Sporthalle und Ateliers vorhanden.

Die Spannweite der Kennwerte in Abbildung 2 ist folglich ebenfalls sehr groß von 24 bis 197 kWh/(m<sup>2</sup>a). Der geringste Verbrauch liegt in einem Niedrigenergiegebäude vor, welches sich durch seine sehr hohe Luftdichtigkeit und niedrige U-Werte auszeichnet. In diesem Gebäude sind ansonsten keine den Wärmeverbrauch beeinflussende Sonderbereiche, wie eine Sporthalle oder eine Großküche angeschlossen.

Ein untersuchtes Gebäudemerkmal, welches scheinbar ein Indiz für den Heizwärmeverbrauch darstellt, ist das Baualter. Fast alle Schulen, die nach 2005 errichtet wurden, verbrauchen unter 100 kWh/m<sup>2</sup>a und meist unter 50 kWh/(m<sup>2</sup>a) Wärme. Der Hintergrund für den sinkenden Heizwärmeverbrauch nach 2005, war das in Kraft treten einer neuen Förderrichtlinie „Fonds pour la protection de l'Environnement“<sup>9</sup>. Durch den Fonds konnten Gemeinden Fördergelder beantragen, wenn öffentliche Gebäude in Passiv- oder Niedrigenergiebauweise errichtet wurden. Die vorliegende Stichprobe enthält 40% Niedrigenergie- (21 Gebäude) bzw. Passivschulen (6 Gebäude). Die Auswertung der Energiekennwerte nach den unterschiedlichen Bauweisen verdeutlicht, dass der Effekt bezüglich der verbrauchten Heizwärme sehr positiv ausfällt. Der Mittelwert Wärme sinkt von Schulen in Standardbauweise zur Niedrigenergiebauweise um 36% und zur Passivschule um weitere 52% (s. Abbildung 4). Werden die gemessenen Verbrauchswerte jedoch mit denen in der Planungsphase errechneten Daten verglichen, ist feststellbar, dass nur bei knapp 50 % der Gebäude die Grenzwerte gemäß der Richtlinie eingehalten werden (s. Abbildung 4), was jedoch Voraussetzung für eine entsprechende Klassifizierung war. Dies zeigt, dass die errechneten Werte in der Realität aufgrund von Planungs- oder Ausführungsabweichungen, fehlerhaften Berechnungen oder den Einfluss des Nutzers nur schwer einzuhalten sind.

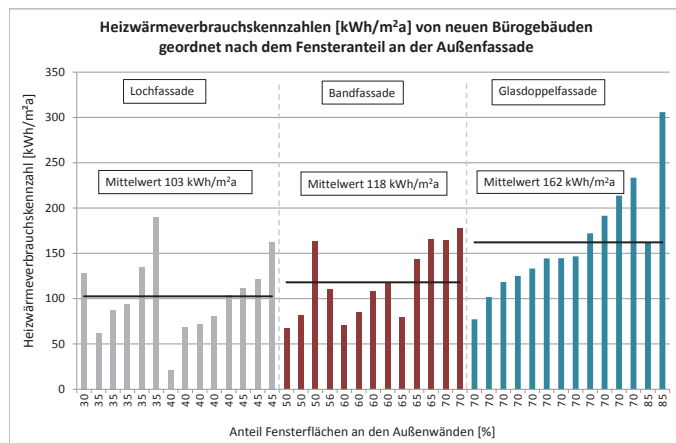


Abb 5\_ Heizwärmeverbrauchskenzahlen von neuen Bürogebäuden in Luxemburg geordnet nach dem Fensteranteil an der Außenfassade

Bei den Bürogebäuden liegt der durchschnittliche Wärmeverbrauch (131 kWh/m<sup>2</sup>a) aufgrund der längeren Nutzungszeiten und den speziellen Bauweisen (hoher Glasanteil) oberhalb des Verbrauches der Schulen und ist trotz der hohen zur Verfügung stehenden internen Lasten im Bereich der Einfamilienhäuser einzuordnen. Der Glasanteil an der Fassade wird oftmals kontrovers diskutiert. Die steigenden solaren Erträge sollen dazu beitragen den Wärmeverbrauch zu senken und den Tageslichteinfall zu verbessern. Die Transmissionsverluste sollen folglich aufgrund der niedrigen U-Werte bei 3-fach Verglasungen so gering sein, dass sie durch die solaren Erträge mehr als kompensiert werden. Bei den ausgewerteten Gebäuden in Luxemburg wurde jedoch das Gegenteil festgestellt. Somit ist kein positiver Effekt der im Trend liegenden Glasdoppelfassaden erkennbar, sondern mit steigendem Glasanteil steigt auch der Wärmeverbrauch an (s. Abbildung 5). Dies wurde bereits von Gertis [10] vermutet und durch die vorliegende Stichprobe bestätigt. Dies ist damit in Verbindung zu verbringen, dass diese Objekte mit einem Glas ausgestattet sind, welches sich durch einen niedrigen Energiedurchlassgrad (g-Wert) auszeichnet, um der sommerlichen Überhitzungsgefahr halbwegs vorzubeugen. Dadurch reduzieren sich jedoch zusätzlich die solaren Erträge im Winter und der mögliche Vorteil hinsichtlich des Heizwärmeverbrauchs ist statistisch nicht mehr erkennbar. Ebenfalls sind nicht immer 3-fach Verglasungen mit sehr niedrigem U-Wert verbaut.

## 2.4 Stromverbrauch

Zu 64 Unterrichtsgebäuden konnte der Stromverbrauch separat erfasst werden. Der arithmetische Mittelwert liegt mit 32 kWh/(m<sup>2</sup>a) deutlich unter dem des thermischen Verbrauches der gleichen Gebäudegruppe. Die sich ergebende Standardabweichung ist mit  $\pm 47\%$  allerdings sehr groß, was mit den unterschiedlichen Ausstattungen der Gebäude zusammenhängt. Das Gebäude mit dem niedrigsten Verbrauch (6 kWh/(m<sup>2</sup>a)) ist eine reine Primärschule ohne Sondernutzungsbereiche. Die installierte Lüftungsanlage läuft in der Passivschule nur kurzzeitig außerhalb der Unterrichtszeit, um die Luftqualität zu verbessern. Zudem ist eine sehr effiziente Beleuchtung mit Präsenzmeldern und Tageslichtsensoren installiert. Die beiden Gebäude mit

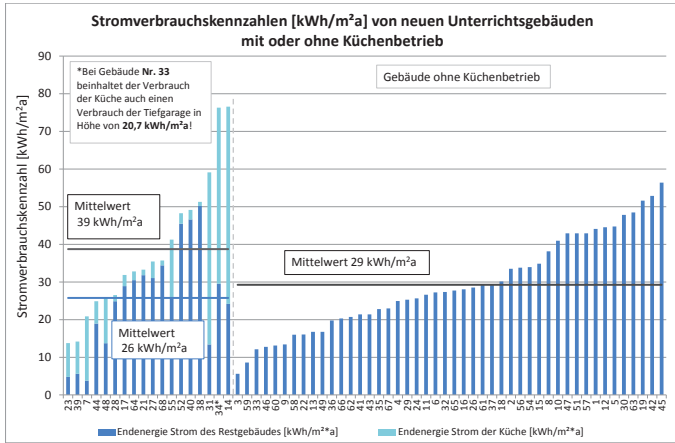


Abb 6\_ Stromverbrauchskennzahlen von neuen Unterrichtsgebäuden in Luxemburg mit und ohne Küchenbetrieb

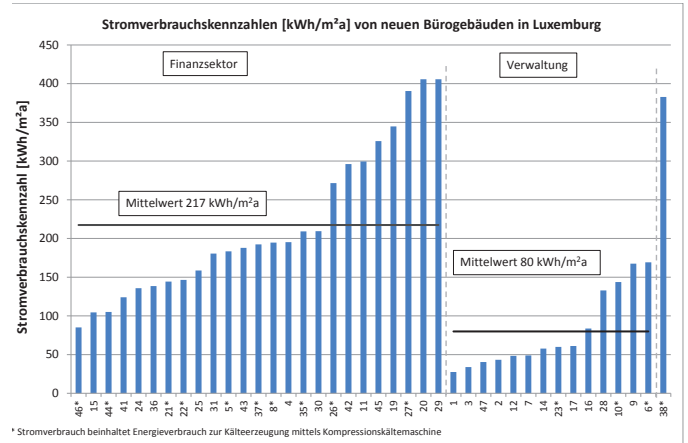


Abb 7\_ Stromverbrauchskennzahlen von neuen Bürogebäuden in Luxemburg

Verbrauchswerten über 70 kWh/(m²a) sind Primärschulen mit integrierter Maison Relais. Die hohen Verbrauchswerte ergeben sich hauptsächlich durch den täglichen, mehrstündigen Einsatz von stromverbrauchenden Küchengeräten deren genauer Verbrauch durch fehlende Zähler jedoch nicht messtechnisch erfasst werden konnte. Gleiches gilt für Schulen mit zugehöriger und nicht getrennt erfasster Sporthalle. Bei einer Britischen Studie zu Schulgebäuden wurde herausgefunden, dass der Energieverbrauch in Schulen mit Cateringbetrieb um 7 – 10 % höher liegt. Um bis zu 20 % kann sich der Energieverbrauch sogar erhöhen, wenn Sporthallen in das Gebäude integriert sind<sup>11</sup>. Besonders der Stromverbrauch variiert stärker in Abhängigkeit davon, ob eine Großküche in das Gebäude integriert ist. Eine rechnerische Abschätzung sowohl auf der Basis der installierten Leistungen als auch der Anzahl zubereiteter Gerichte ergab im Mittel über alle untersuchten Gebäude einen durch die Küche bedingten Mehrstromverbrauch von circa 10 kWh/m²a. (s. Abbildung 6).

Bei den Bürogebäuden gestaltete sich der Stromverbrauch sehr auffällig. Die größten Energieverbraucher werden alle mit Strom betrieben. Dies sind zum Beispiel Lüftungsanlagen, Rechenzentren, Büroausstattung, Beleuchtung und falls vorhanden häufig auch die Kältemaschinen. Für 40 Gebäude der Stichprobe konnten die Stromverbrauchskennzahlen separat erfasst werden. Im Gegensatz zu den errechneten Mittelwerten der Einfamilienhäuser oder Unterrichtsgebäude liegt der arithmetische Mittelwert des Stromverbrauches von Bürogebäuden mit 173 kWh/m²a höher als der mittlere thermische Verbrauch der gleichen Gebäudegruppe. Somit ist erstmals bei einer Gebäudegruppe der Stromverbrauch deutlich maßgebend, wenn über notwendige Einspar- und Sanierungsmaßnahmen diskutiert wird. Die große gemessene Standardabweichung von ± 64% hängt mit den unterschiedlichen Technisierungsgraden oder auch mit der Installation von großen Rechenzentren in Gebäuden des Finanzsektors zusammen (s. Abbildung 8). Auf Grund dessen liegen die geringsten Verbrauchskennwerte in Gebäuden vor, welche lediglich durch einfache Büroarbeitsplätze belegt sind, in denen der Großteil des Stromverbrauches hauptsächlich durch PCs, Drucker und Beleuchtung zustande kommt. Besonders im Bereich des Finanzsektors sind aller-

dings durch hohe elektrische Grundlasten große interne Lasten vorhanden. Ebenso besitzen diese Gebäude meist große Glasfassaden, welche zu hohen solaren Erträgen im Sommer führen. Eine aktive Kühlung wird dadurch unumgänglich was einen zusätzlichen Stromverbrauch verursacht und in Summe zu überdurchschnittlichen Verbrauchskennwerten führt (s. Abbildung 7 + 8).

### 2.5 Primärenergieverbrauch

Der Primärenergieverbrauch wird in Abhängigkeit von Faktoren bestimmt, welche in jedem Land leicht unterschiedlich sind. Die Primärenergiefaktoren für Luxemburg sind in dem Règlement Grand-Ducal<sup>5</sup> festgeschrieben. In Abhängigkeit vom Energieträger für den Wärmeverbrauch (z.B. Holz) ergeben sich demnach zum Teil stark abweichende Faktoren, welche somit manche Gebäude primärenergetisch verbessern können. Für die folgenden Auswertungen wurden daher Einheitsfaktoren verwendet ( $e_{p,Wärme}=1,1$ ;  $e_{p,Strom}=2,66$ ), um die Qualität der Gebäude unabhängig von den eingesetzten Energieträgern zu vergleichen. Die analysierten Unterrichtsgebäude zeigen eine extrem breite Spannweite von ausgezeichnet zu bewertenden 47 kWh/(m²a) bis hin zu hohen 320 kWh/(m²a) (s. Abbildung 9). Hierbei wird deutlich, welche Auswirkung der hohe Stromverbrauch auf den Gesamtprimärenergieverbrauch hat. Besonders bei Gebäuden mit erhöhtem Stromverbrauch, wie bei den Nummern 14 und 34 (Passiv- beziehungsweise Niedrigenergiebauweise, mit Maison Relais, Primärenergieverbrauch >250 kWh/m²a), macht sich dies bemerkbar. Generell ist heutzutage bei neuen Unterrichtsgebäuden ein Gesamtprimärenergieverbrauch von unter 100 kWh/m²a durchaus realistisch und erstrebenswert, was auch die Grenze für Green Buildings darstellt<sup>12</sup>. Insofern lässt sich enttäuscht feststellen, dass viele, der in den letzten Jahren in Luxemburg errichteten Schulen, einen Primärwärmeverbrauch von über 100 kWh/(m²a) erreichen. Lediglich zwei der untersuchten Gebäude unterschreiten diesen Grenzwert. Allerdings unterschreiten 33% aller untersuchten neuen Unterrichtsgebäude einen Primärenergieverbrauch von 150 kWh/(m²a), was positiv zu bewerten ist.

Bei den Bürogebäuden wurden ernüchternd hohe Primärenergieverbrauchskennzahlen gemessen (s. Abbildung 10).

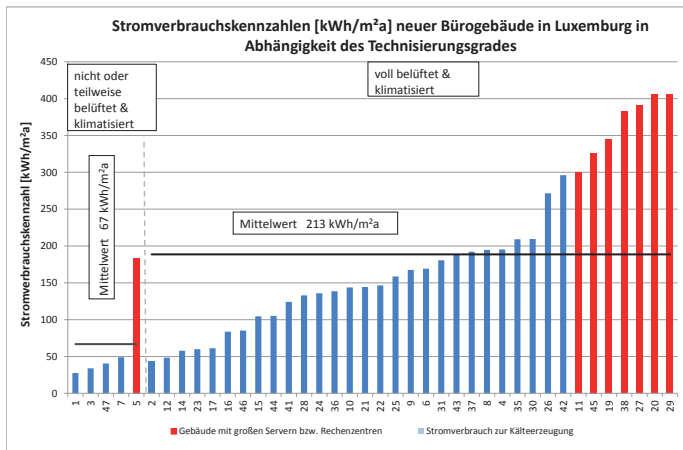


Abb 8\_ Stromverbrauchskennzahlen von neuen Bürogebäuden in Luxemburg in Abhängigkeit des Technisierungsgrades

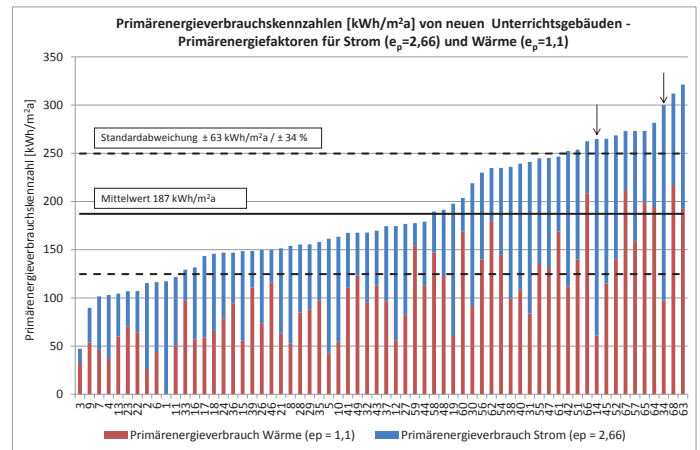


Abb 9\_ Primärenergieverbrauchskennzahlen von neuen Unterrichtsgebäuden - Primärenergiefaktoren für Strom ( $e_p=2,66$ ) und Wärme ( $e_p=1,1$ )

Hierbei sind die Auswirkungen des hohen Stromverbrauchs auf den Gesamtprimärenergieverbrauch deutlich erkennbar. Häufig übersteigt auch der Kühlenergieverbrauch den Heizwärmeverbrauch auf primärenergetischer Ebene, was die Aussage bekräftigt, dass bei neuen Bürogebäuden das Heizen energetisch eher eine untergeordnete Rolle spielt. Das Hauptaugenmerk muss letztendlich auf das Verringern von internen und solaren Lasten und das Vermeiden einer Vollklimatisierung gelegt werden, wie aus Abbildung 8 ganz deutlich hervor geht.

### Zusammenfassung

Im Gebäudesektor sind die Schul- und Bürogebäude neben den Wohngebäuden einer der Hauptenergieverbraucher in Luxemburg. Hierbei stellt jedoch nicht mehr, wie häufig bei Altbauten, der Wärmeverbrauch das Hauptproblem dar, da durch dichtere Bauweisen und besser isolierte Fassaden der Wärmebedarf heutzutage damit gesenkt werden kann. Gleichfalls besteht nach wie vor Wärmeeinsparpotential durch das Gebäudedesign, wie die extreme Spannweite der erfassten Kennzahlen zeigt. Dagegen ist der Stromverbrauch durch die Technisierung von neuen Niedrigenergie- und Passivgebäuden oder die umfangreiche technische Ausstattung der Bürogebäude angestiegen und kompensiert dadurch das mögliche Einsparpotential durch effiziente Beleuchtung oder eine effizientere Bauweise.

Die Passiv und Niedrigenergiegebäude sparen teilweise deutlich an Wärme (bis zu 70%) gegenüber der Standardbauweise ein. Durch den erhöhten Stromverbrauch bei diesen Bauweisen wird dies wieder großteils kompensiert und die gemessene mittlere Primärenergieeinsparung beträgt lediglich 17 – 37%. Allgemein wurde sogar festgestellt, dass die neueren luxemburgischen Schulen aufgrund des steigenden Stromverbrauchs mehr Primärenergie verbrauchen als ältere ausländische Objekte (s. Abbildung 11).

Bei den Bürogebäuden verbraucht besonders der Finanzsektor, welcher 50% der gesamten luxemburgischen Bürofläche belegt, weit mehr Energie, als einfache Verwaltungsgebäude. Hierbei stellt nicht der Wärmeverbrauch das Hauptproblem dar, sondern der Stromverbrauch ist in den letzten Jahren trotz energiesparender Beleuchtung und Bürogeräte aufgrund gestiegener Komfortansprüche (Lüf-

tung und Kühlung) und einem erhöhten Technisierungsgrad an Informationstechnologie (PCs, Beamer, Rechenzentren) deutlich gewachsen. Der Finanzsektor mit einem durchschnittlichen Stromverbrauch von über 210 kWh/m<sup>2</sup>a übertraf hierbei noch die erwarteten Zahlen. Primärenergieverbrauchswerte von über 1.300 kWh/m<sup>2</sup>a und ein Mittelwert aller Gebäude aus diesem Sektor von 800 kWh/m<sup>2</sup>a sind indiskutabel und zeigen, dass das Gebäudedesign, die Haustechnik und Green IT zusammengeführt werden müssen. Die Herausforderung für den Gebäudeplaner besteht darin energieverbrauchende aktive Kühlung zu vermeiden und trotzdem einen hohen Grad an thermischem Komfort zu gewährleisten. Beste Gesamtprimärenergieverbrauchswerte von unter 100 kWh/m<sup>2</sup>a beweisen, dass es möglich ist, energiesparende Bürogebäude zu errichten. Hierzu dürfen jedoch während der Planungsphase keine Fehler beim integralen Gebäudedesign begangen werden und der Facility Manager und die Nutzer müssen bezüglich Energiesparmaßnahmen im Vorfeld ausreichend informiert sein.

Die abschließende Tabelle zeigt zusammenfassend einen Überblick über die wichtigsten Verbrauchsdaten von neueren Gebäuden in Luxemburg aus den bereits untersuchten drei Gruppen<sup>C</sup>.

### Anmerkung

Die Ergebnisse dieser Veröffentlichung sind Teile der Dissertation von Dr.-Ing. Andreas Thewes und sind während seiner Arbeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Luxemburg entstanden. Die gesamte Dissertation ist bei dem Shaker Verlag erhältlich unter ISBN 978-3-8440-0417-5.

Dr.-Ing. Andreas Thewes  
www.paulwurth.com

Prof. Dr.-Ing. Stefan Maas  
Ass.-Prof. Dr.-Ing. Frank Scholzen  
Ass.-Prof. Dr.-Ing. Danièle Waldmann  
www.uni.lu

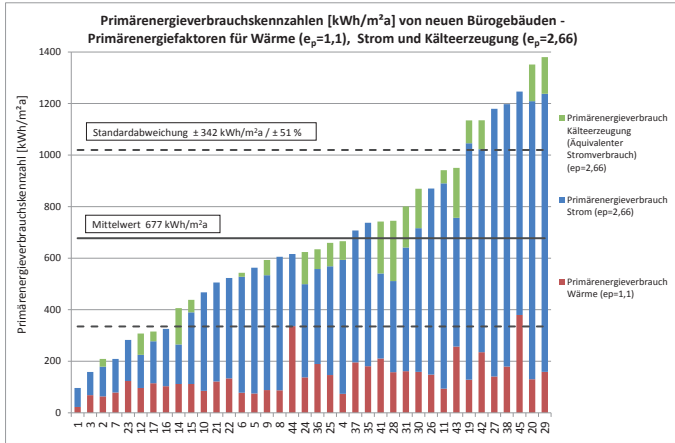


Abb 10\_ Primärenergieverbrauchskennzahlen von neuen Bürogebäuden - Primärenergiefaktoren für Wärme (ep=1,1), Strom und Kälteerzeugung (ep=2,66)

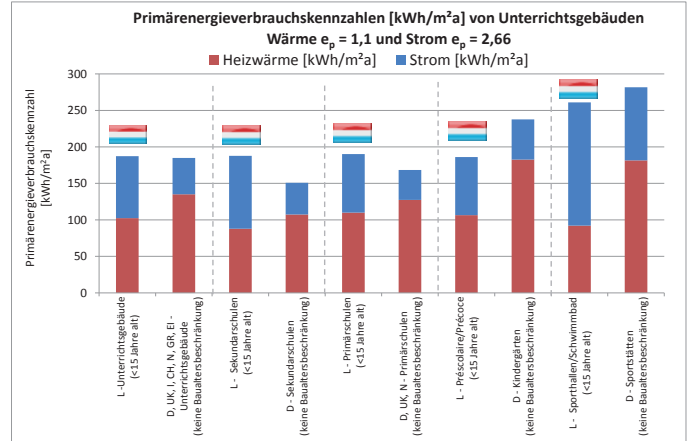


Abb 11\_ Primärenergieverbrauchskennzahlen von Unterrichtsgebäuden - Wärme ep=1,1 und Strom ep=2,66 [13] – [21]

Gebäudegruppe		Anzahl der Gebäude	Mittelwert Wärme [kWh/m2a]	Mittelwert Strom <sup>D</sup> [kWh/m2a]	Primärenergie <sup>E</sup> [kWh/m2a] Wärme (ep=1,1) Strom (ep=2,66)	Einsparpotential gegenüber Standard
Einfamilienhäuser	Standard	54	130 ± 32	25	210	
	Niedrigenergie	13	75	20	135	<b>35%</b>
	Passiv	5	0	35	93	<b>55%</b>
Unterrichtsgebäude	Standard	41	115 ± 43	30 ± 13	205	
	Niedrigenergie	21	70 ± 29	35 ± 16	170	<b>17%</b>
	Passiv	6	35 ± 20	35 ± 24	135	<b>35%</b>
Bürogebäude	Verwaltung	19	100 ± 42	95 ± 62	365	
	Besten 10 % - V	2	39	31	125	<b>75%</b>
	Finanzsektor	25	150 ± 67	240 ± 104	800	
	Besten 10 % - F	3	71	104	355	<b>55%</b>

Tabelle 1\_ Luxemburgische Benchmarks von Gebäuden unterschiedlicher Kategorien, welche nach 1996 errichtet wurden

C\_ Gerundete Werte  
D\_ Stromverbrauch zum Kühlen enthalten  
E\_ Gerundete mittlere Verbrauchskennzahlen

Literaturverzeichnis

- Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16. December 2002 on the energy performance of buildings.
- Directive 2010/31/EC of the European Parliament and of the Council of 19. May 2010 on the energy performance of buildings.
- Zweiter Nationaler Energieeffizienzplan Luxemburg im Rahmen der EU-Richtlinie über „Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen“ (2006/32/EG), Le Gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg, Direction de l'Énergie, Luxembourg, September 2011.
- Maas, S., Waldmann, D., Zürbes, A., Scheuren, J.-J., Heinrich, H., Der Energieverbrauch von Einfamilienhäusern in Luxemburg, Gesundheitssingenieur, Volume 129 (2008), Issue 4, pp. 178-183.
- Règlement Grand-Ducal du 01.10.2010 concernant la performance énergétique des bâtiments fonctionnels, Luxembourg, 2010.
- Ministère de l'Éducation nationale et de la Formation professionnelle, Service des Statistiques et analyses, Les chiffres clés de l'éducation nationale, Statistiques et indicateurs 2008-2009, www.men.public.lu, Luxembourg, May 2010
- Property Partners Research, Quartalsbericht 1 – 2010.
- DIN 4701-10:2003-08: Energy efficiency of heating and ventilation systems in buildings – part 10 : Heating, domestic hot water supply, ventilation, Berlin, 2003
- Circulaire (No. 2489) aux administrations communales, aux syndicats de communes et aux établissements publics placés sous la surveillance des communes – Fonds pour la Protection de l'Environnement, 2005
- Gertis, K.: Sind neuere Fassadenentwicklungen bauphysikalisch sinnvoll? Teil 2: Glas-Doppelfassaden, Bauphysik 21 (1999), Heft 2, Seite 54-66.
- Building Research Energy Conservation Support Unit, Saving energy in schools, Energy consumption Guide 73, Watford, UK, 1998.
- Bauer, M., Möslé, P., Schwarz, M., Green Building - Guidebook for Sustainable Architecture, Springer Verlag, Heidelberg, 2010.
- Verbrauchskennwerte 2005, Energie- und Wasserverbrauchskennwerte in der Bundesrepublik Deutschland, Forschungsbericht der ages GmbH, 1. Edition, Münster, 2007.
- Kluttig, H., Dirscherl, A., Erhorn, H., Energieverbräuche von Bildungsgebäuden in Deutschland, Fraunhofer Institut für Bauphysik, Stuttgart, 2001.
- Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Benchmarks für die Energieeffizienz von Nichtwohngebäuden, BBSR-Online-Publikation, Nr. 09/2009.
- Jones, P. G., Turner, R. N., Browne, D. W. J., Illingworth, P. J., Energy benchmarks for public sector in Northern Ireland, Proceedings CIBSE conference, Dublin, 2000.
- Corngati, S. P., Corrado, V., Filippi, M., A method for heating consumption assessment in existing buildings: a field survey concerning 120 Italian schools, Energy and buildings 40 (2008), pp. 801-809.
- Bundesamt für Energie, Schweizerische Eidgenossenschaft, Grenzkosten bei forcierten Energie-Effizienz-Massnahmen und optimierter Gebäudetechnik bei Wirtschaftsbauten, Bern, November 2006. (in German)
- Bergh, P.M., Abrahamson, A.S., Energy consumption in the service sector.2000, Statistics Norway – Department of Industry Statistics, Oslo, 2003.
- Hernandez, P., Burke, K., Owen Lewis, J., Development of energy performance benchmarks and building energy ratings for non-domestic buildings: An example for Irish primary schools, Energy and buildings 40 (2008), pp. 249-254.
- Santamouris, M., Mihalakakou, G., Patargias, P., Gaitani, N., Sfakianaki, K., Papaglastra, M., Pavlou, C., Doukas, P., Primikiri, E., Geros, V., Assimakopoulos, M.N., Mitoula, R., Zerefos, S., Using intelligent clustering techniques to classify the energy performance of school buildings, Energy and buildings 39 (2007), pp. 45 – 51.
- Tagesmitteltemperaturen und Heizgradtage von Luxemburg, veröffentlicht durch Chambre des Métiers, http://www.chambre-des-metiers.lu