

# Der Energieverbrauch von Einfamilienhäusern in Luxemburg

Stefan Maas<sup>1</sup>, Danièle Waldmann<sup>1</sup>, Arno Zürbes<sup>1</sup>, Jean-Jacques Scheuren<sup>1</sup>, Herrmann Heinrich<sup>2</sup>

*Eine Studie an der Universität Luxemburg untersucht den Energieverbrauch von privaten Einfamilienhäusern aus den Jahren von 1997-2007*

Die luxemburgische Wärmeschutzverordnung von 1995, die im Grunde nur den k- oder U-Wert begrenzt, muss infolge der EU-Direktive 2002/91/EG über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden novelliert werden. Das Wirtschaftsministerium hat im August 2006 einen Entwurf für die Neufassung publiziert [9], welcher wohl ab 01.01.2008 verbindlich wird. Daher stellt sich aktuell die Frage, wo Luxemburg im Vergleich mit seinen Nachbarn steht und wohin die neue Verordnung führen wird. Genau dies hat die Ingenieurgruppe der Universität Luxemburg in den letzten Jahren untersucht [1], was im Folgenden zusammengefasst wird.

## Die Datenerfassung

Alle untersuchten Häuser wurden in eine der folgenden Gruppen eingeteilt: Passivhäuser (PH), Niedrigenergiehäuser (NEH), Reihenhäuser (RH), Fertighäuser (FH) und alle restlichen in die Gruppe der traditionellen Einfamilienhäuser (EFH). Als PH und NEH wurden nur solche Häuser bezeichnet, die den luxemburgischen Förderrichtlinien 2001 entsprachen, d.h. einen max. Heizwärmebedarf nach EN832 von 15 bzw. 60 kWh/(m<sup>2</sup>a) auswiesen und sich einem nachträglichen Blowerdoor- und Thermographietest unterzogen. Insgesamt wurden knapp 100 Einfamilienhäuser aus der Bauperiode von 1997 bis 2007 detailliert analysiert, d.h. der Energieverbrauch wurde anhand vorliegender Rechnungen für einen definierten Zeitraum erfasst. Sofern Warmwasser im Verbrauch mit eingeschlossen war, wurde ein witterungsunabhängiger Anteil dafür mit folgenden Kenndaten aus dem Verbrauch herausgerechnet: 40 l/Person und Tag mit einer Temperaturdifferenz von 40°C und einem Jahresnutzungsgrad nach SIA 380/1 von 0.7 für die Warmwasserversorgung. Falls eine thermische Solaranlage vorhanden war, wurde dafür ein mittlerer jährlicher solarer Deckungsgrad von 65% angenommen. Der verbleibende Restverbrauch wurde als witterungsabhängig eingestuft und mit Hilfe der Heizgradtage nach VDI 3807 auf ein mittleres luxemburgisches Standardjahr von  $HGT_{15} = 2266$  Kd umgerechnet. Für die Klimabereinigung wurde bei Niedrigenergiehäusern die Heizgrenztemperatur mit 12°C und bei Passivhäusern mit 10°C angenommen. Als Energiebezugsfläche wurde die Bruttogrundfläche nach VDI 3807 gewählt und anhand von Bauplänen kontrolliert. Die Bruttogrundfläche (kurz BGF) beinhaltet alle Mauern und Konstruktionsflächen und kann bei Einfamilienhäusern etwa wie folgt umgerechnet werden:  $BGF \times 0.8 \approx$  Nettogrundfläche.

---

<sup>1</sup> Université du Luxembourg, Faculté des Sciences, Technologie et Communication, UR'Ingénierie'

<sup>2</sup> Universität Kaiserslautern, Fachbereich Bauingenieurwesen (ARUBI), Fachgebiet Bauphysik

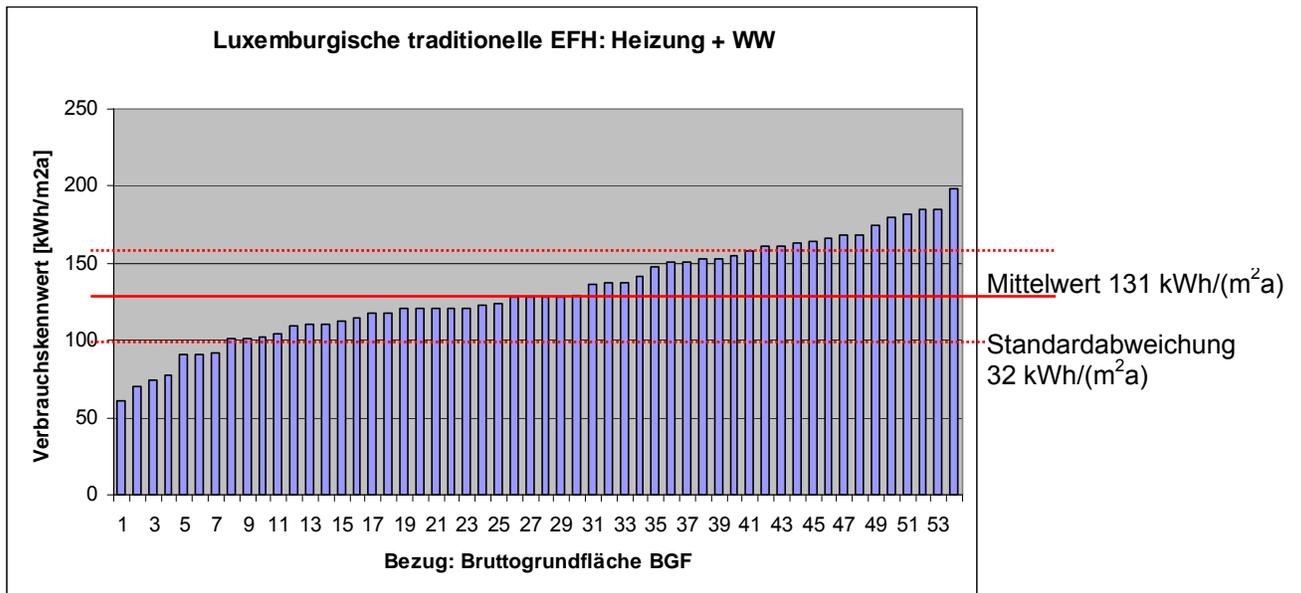
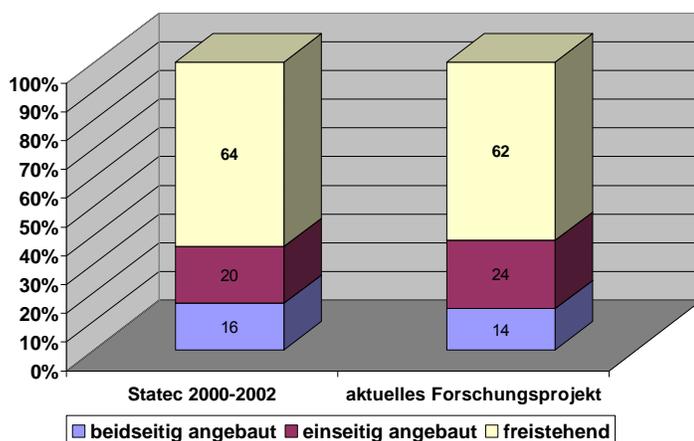


Bild 1: Verbrauchskennwert der traditionellen luxemburgischen Einfamilienhäuser

Für die Gruppe der traditionellen Einfamilienhäuser (EFH) konnte für den Verbrauch von Heizung + Warmwasser ein Mittelwert von 131 kWh/(m²a) mit einer Standardabweichung von 32 kWh/(m²a) ermittelt werden. Im vorstehenden Bild 1 sind die bezogenen Verbrauchskennwerte der 54 Häuser dargestellt.

### Repräsentativität und Hochrechnung

Es ist zu prüfen, ob die Anbausituation der Einfamilienhäuser der untersuchten Stichprobe eine repräsentative Auswahl darstellt. Beim luxemburgischen Amt für Statistik («Service central de la statistique et des études économiques, [www.statec.lu](http://www.statec.lu)) wurden für die Jahre 2000-2002 Zahlen über die Anbausituation veröffentlicht, die in guter Übereinstimmung mit der untersuchten Stichprobe stehen, wie in Bild 2 zu sehen ist.



### Bild 2: Aufteilung in freistehende, einseitig bzw. beidseitig angebaute Gebäude

Um von der Stichprobe auf ganz Luxemburg schließen zu können, müssen die statischen Eigenschaften der zugehörigen Verteilungsfunktion beschrieben werden. Im folgenden Bild 3 wird die reale gemessene Verteilung entsprechend Bild 1 mit einer Normalverteilung mit einem Mittelwert von 131 kWh/(m<sup>2</sup>a) und einer von Standardabweichung 32 kWh/(m<sup>2</sup>a)) verglichen.

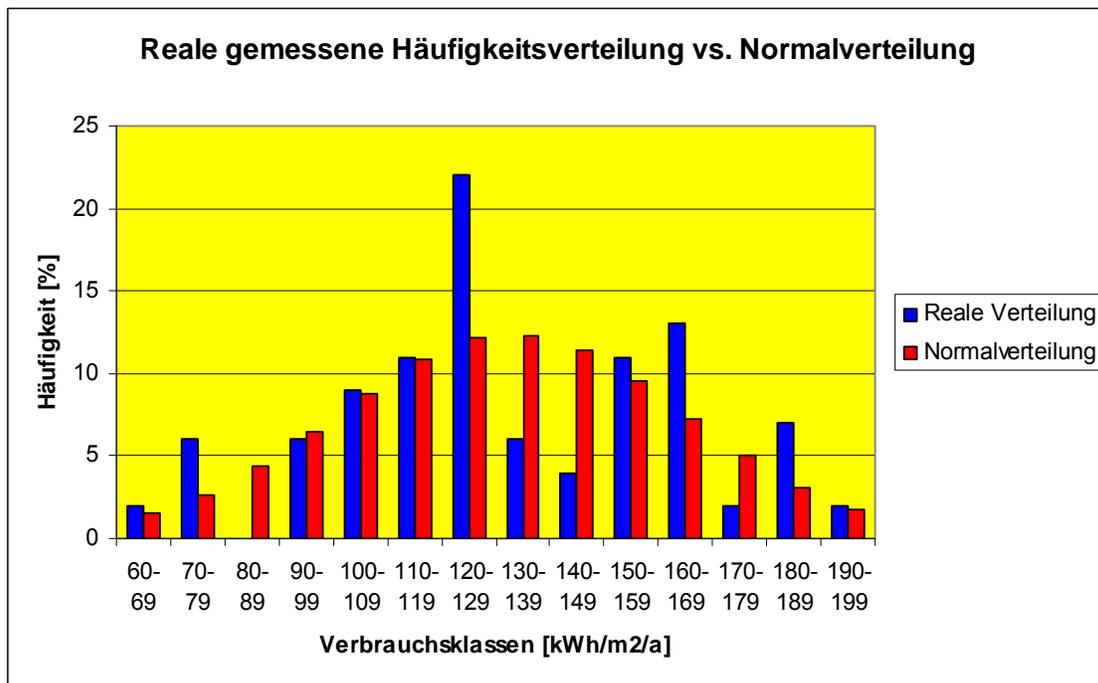


Bild 3: Die reale Häufigkeitsverteilung im Vergleich mit der Normalverteilung

Man erkennt in diesem Bild, dass die Normalverteilung ungefähr mit der realen gemessenen Verteilung übereinstimmt. Bei einer normalverteilten Zufallsvariable lässt sich leicht ermitteln, dass bei  $n=54$  mit 95%iger Wahrscheinlichkeit der wahre Mittelwert um nicht mehr als 10 kWh/(m<sup>2</sup>a) von dem errechneten Mittelwert von 131 kWh/(m<sup>2</sup>a) abweicht. Den wahren Mittelwert zu ermitteln würde bedeuten, alle ca. 10 000 Häuser dieser Bauperiode zu untersuchen, was praktisch unmöglich ist. *Man darf also mit ganz großer Wahrscheinlichkeit davon ausgehen, dass der wahre Mittelwert zwischen 120 und 140 kWh/(m<sup>2</sup>a) liegt!*

*Aus dem bisher Gesagten folgt, dass die durchgeführte Studie für Luxemburg für den Zeitraum von 1997 bis 2007 als repräsentativ angesehen werden kann.*

### Vergleich mit dem Ausland

Will man diesen luxemburgischen Verbrauchswert nun mit ausländischen Werten in Relation bringen, so muss man Studien mit eindeutiger Klimareferenz, sowie Bezugsfläche und -alter finden, damit ein fairer Vergleich stattfinden kann. Für Deutschland, Österreich und die Schweiz ist dies gelungen, wie in [2], [3], [4] und

[5] nachgelesen werden kann. Die Wohnfläche in der deutschen und österreichischen Studie wurde dabei mit 0.8xBruttogrundfläche umgerechnet und die Klimabereinigung, d.h. die Umrechnung auf das luxemburgische Klima erfolgte mit den Heizgradtagen nach VDI 3807 ( $HGT_{15}=2266$  Kd in Luxemburg [6]) oder mit der Gradtagszahl ( $GT_{20/12}= 3271$  Kd für Luxemburg [6]) je nach Referenz in der jeweiligen Studie.

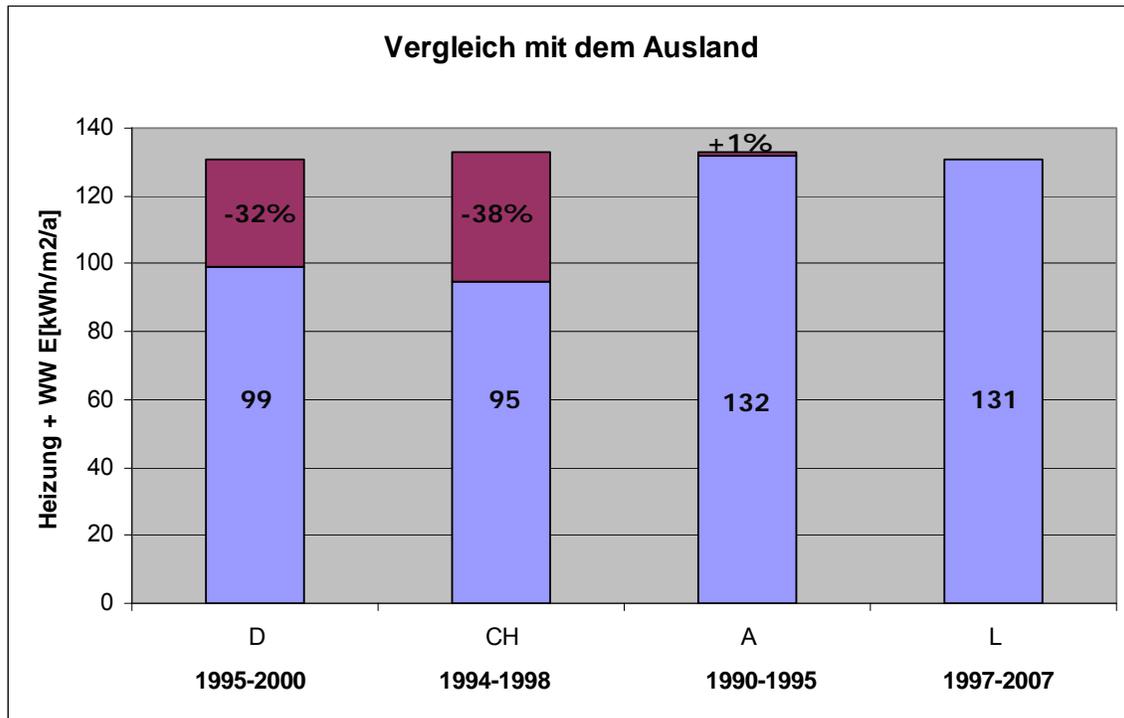
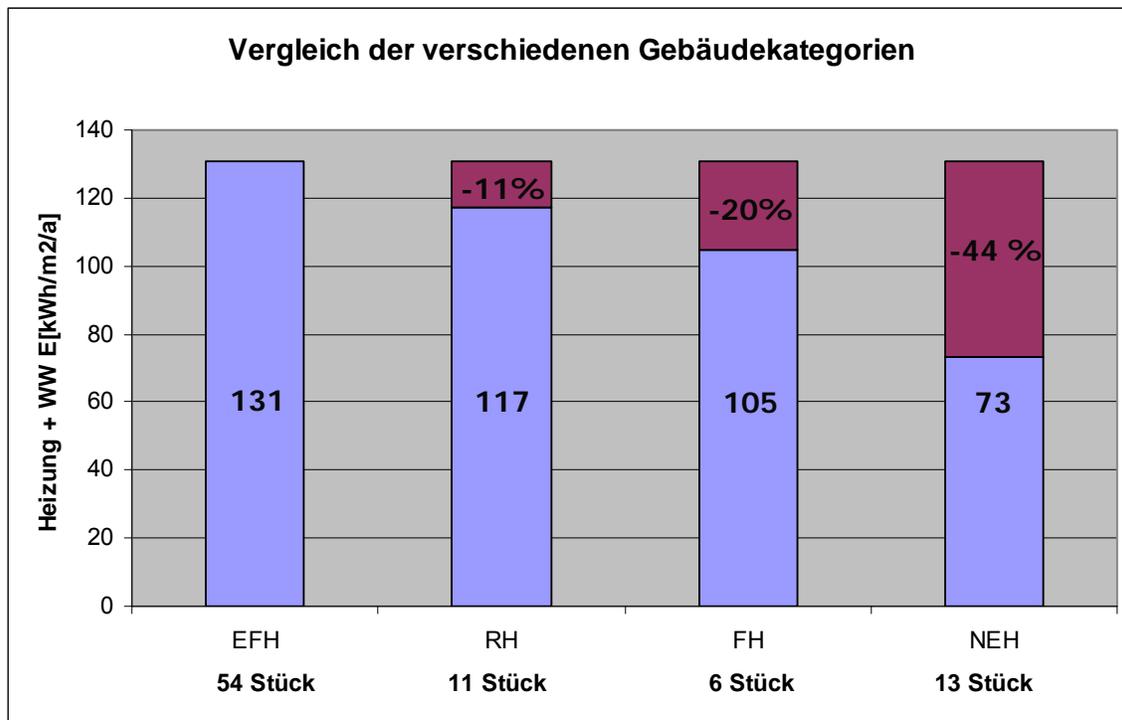


Bild 4: Vergleich der Verbrauchsmittelwerte mit prozentualer Abweichung für traditionelle Einfamilienhäuser zw. Deutschland, Schweiz, Österreich und Luxemburg mit Angabe des ausgewerteten Bauzeitraumes.

Demnach verbrauchen die Österreicher etwa genau soviel wie die Luxemburger, wobei die untersuchten Häuser aber etwas älter sind. Die schweizerischen und die deutschen EFH dagegen sind rund ein Drittel besser als die luxemburgischen Häuser, was wahrscheinlich auf die jeweils geltenden Verordnungen zurückgeführt werden kann.

### Vergleich der Gebäudekategorien in Luxemburg

Vergleicht man nun den Verbrauch verschiedener Kategorien bei den luxemburgischen Gebäuden untereinander (Bild 5), so ist eine deutliche Abnahme in Richtung der geförderten Niedrigenergiehäuser (NEH) zu erkennen. Bezogen auf die geringe Anzahl von 6 Fertighäusern (FH) soll nicht behauptet werden, dass die 6 Stück repräsentativ in Luxemburg für dieser Kategorie sind, einfach weil die Stichprobe zu klein und die Ausführungsunterschiede sehr groß sein können.

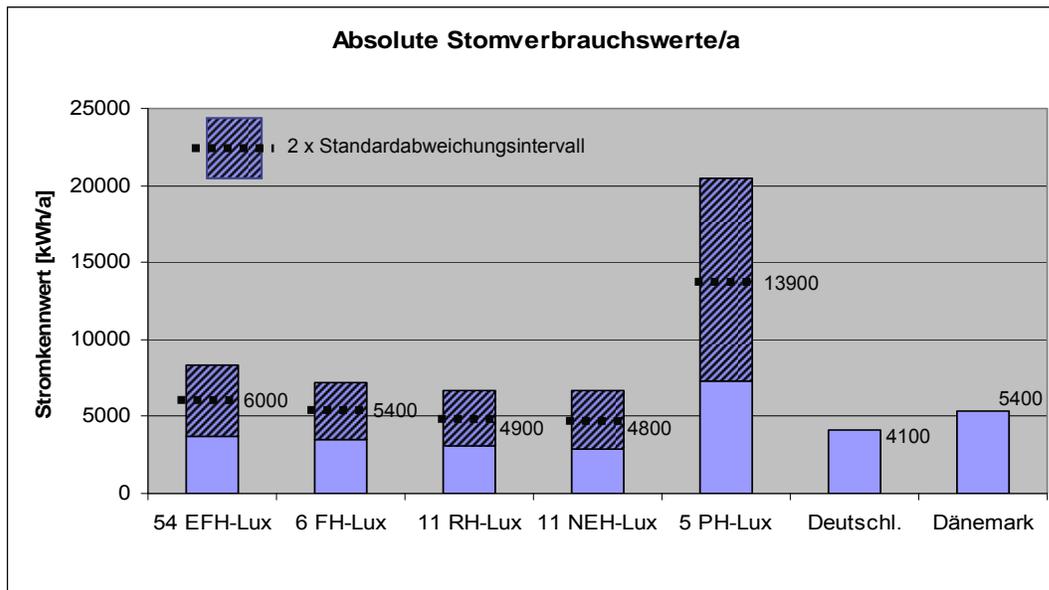


*Bild 5: Absoluter und relativer Vergleich der traditionellen Einfamilienhäuser (EFH) mit den Reihenhäusern (RH) der Fertighäusern (FH) und den Niedrigenergiehäusern (NEH)*

Leider waren von den rund 1000 pro Jahr neu genehmigten Einfamilienhäusern in Luxemburg nur 2% geförderte Niedrigenergiehäuser und nur 0.5% waren Passivhäuser, so dass diese Gruppen wenig Einfluss auf den Landesdurchschnitt haben. Auch Reihenhäuser sind wenig verbreitet in Luxemburg, so dass es mit statistischen Aussagen schwer ist. Es ist dennoch offensichtlich, dass sich eine deutliche Verbrauchsreduktion in diesen Kategorien eingestellt hat, was als Erfolg bezeichnet werden kann. Die NEH beweisen, dass mit geringem Mehraufwand eine drastische Reduktion möglich ist.

### **Der Stromverbrauch**

Betrachtet man den Stromverbrauch zunächst absolut pro Haushalt so erhält man folgendes Bild 6:



*Bild 6: Absoluter Stromverbrauch der einzelnen Gebäudekategorien in Luxemburg mit doppeltem Standardabweichungsintervall und Vergleichswerte aus Deutschland und Dänemark*

Die absoluten Werte nehmen von 6000 kWh/a bei traditionellen EFH auf 4800 kWh/a bei den NEH ab, während die Passivhäuser pro Haushalt 13900 kWh/a verbrauchen, wohl weil hier direkt oder indirekt mit Strom geheizt wird. Die Vergleichswerte aus Deutschland und Dänemark liegen bei 4100 bzw. 5400 kWh/a, was im Schnitt doch günstiger ist. Folglich haben die Luxemburger auch beim absoluten Strom einen gewissen Mehrverbrauch, der sich auf eine etwas größere Wohnfläche der Häuser in Luxemburg zurückführen lässt. Bildet man nämlich die Verbrauchswerte pro m<sup>2</sup> Bruttogrundfläche so erhält man Werte in Luxemburg um die 25 für EFH, FH und RH, um 20 bei den NEH und 36 kWh/(m<sup>2</sup>a) bei den PH. Auch im Ausland liegt der spezifische BGF-bezogene Stromverbrauch um die 25 kWh/(m<sup>2</sup>a) oder sogar etwas höher, so dass bei den relativen Werten kaum ein Unterschied besteht. Ob dieser Bezug auf die Fläche aus ökologischer Sicht sinnvoll ist, darf diskutiert werden, denn oft wird auch der Bezug pro Einwohner gewählt. Da es hier vorrangig um die energetische Qualität der Wohnhäuser geht, wird dieser Bezug beibehalten und auch für die Primärenergie verwendet.

### **Der Nutzereinfluss**

Sehr häufig wird der Nutzereinfluss kontrovers diskutiert; um diesen zu untersuchen eignen sich Reihenhaussiedlungen, wo die Gebäude identisch und nur die Nutzer unterschiedlich sind. Aus der Literatur [7], [8] wurden insgesamt

15 solcher Reihenhaussiedlungen statistisch untersucht, d.h. es wurde zunächst Mittelwert und Standardabweichung berechnet.

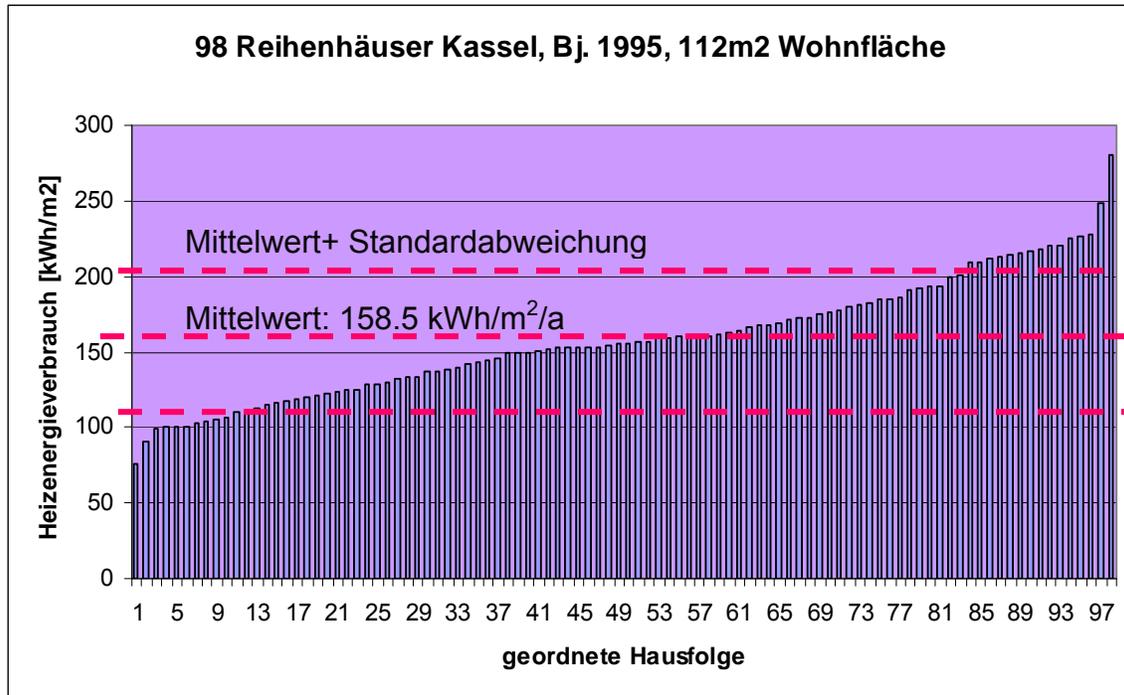


Bild 7: Ein typisches Beispiel des Heizwärmeverbrauches einer Reihenhaussiedlung mit eingezeichnetem Mittelwert  $158.5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  und dem Standardabweichungsintervall um den Mittelwert.

Es stellte sich bei der Untersuchung dieser 15 Reihenhaussiedlungen heraus, dass die Standardabweichung  $\sigma$  etwa  $1/3$  des Mittelwertes beträgt und dass etwa  $2/3$  aller Haushalte im doppelten Standardabweichungsintervall  $\pm\sigma$  um den Mittelwert liegen und sogar 98% im Intervall  $\pm 2\sigma$ . Man kann also folgern, dass im Allgemeinen, d.h. mit  $2/3$  Wahrscheinlichkeit, der Nutzer den Verbrauch um 35% beeinflussen kann, und dass Abweichungen über 70% praktisch unmöglich mit dem Nutzerverhalten erklärbar sind. Damit ist eine statistische Eingrenzung des Nutzers möglich, was im Folgenden auch auf die Abweichungen zwischen Berechnung und Messung übertragen wird.

### Vergleich zwischen Berechnung und wirklichem Verbrauch

Der Heizwärmebedarf von 20 Häusern aus der Gruppe der traditionellen Einfamilienhäuser (EFH) wurden nach der EN 832 mit luxemburgischen Klimadaten und Rauminnentemperatur von  $20^\circ\text{C}$  berechnet, wobei eine Luftwechselrate von  $n=0.7 \text{ h}^{-1}$ , ein globaler Wärmebrückenzuschlag auf die gesamte Außenfläche von  $\Delta U=0.05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  angenommen wurde und die internen Gewinne mit  $2.5 \text{ W}/\text{m}^2$  veranschlagt waren. Die Anlagenverluste wurden gemäß DIN V4701-10 berücksichtigt, so dass die Endenergie berechnet werden

konnte. Im nachfolgenden Bild 9 ist das Verhältnis aus Messung und Berechnung aufgetragen.

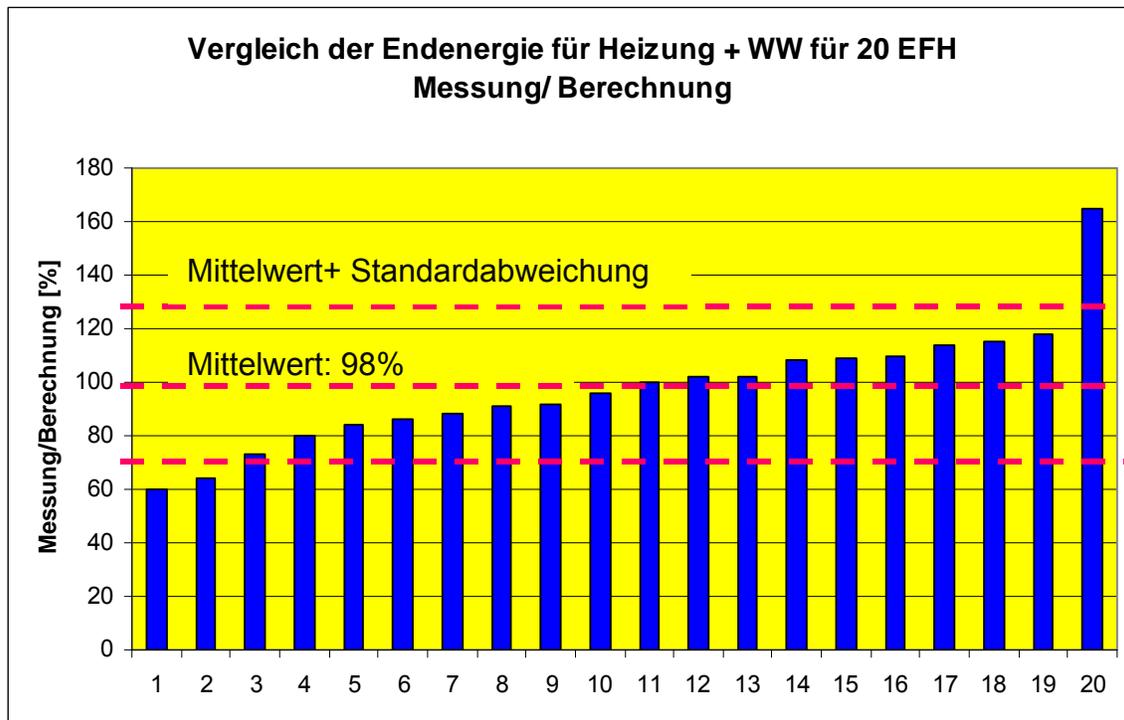


Bild 8: Quotient aus gemessenem und berechnetem Verbrauch für 20 Häuser

Die statistischen Eigenschaften der Verteilung aus Bild 8 gleichen sehr denen der Reihenhäuser aus Bild 7, d.h. die vorgefundenen Abweichungen gehen weitestgehend auf den Nutzer zurück und sind nicht Fehler in der Berechnung. Selbst die exakteste Berechnung kann am einzelnen Objekt Abweichungen im Rahmen von Bild 7 ausweisen, da das menschliche Verhalten nur statistisch erfassbar ist.

Sind aber andererseits die statistischen Abweichungen zwischen wirklichem Verbrauch und Berechnung nicht im Bereich des Bildes 7, darf von Fehlern und Unexaktheiten in der Berechnung ausgegangen werden, was sehr leicht möglich ist, wenn nicht sorgfältig gearbeitet wird. Einige Berechnungsparameter sind sehr sensitiv, d.h. das Berechnungsergebnis wird sehr stark beeinflusst, obwohl der Parameter nur geringfügig geändert ist. Zudem werden bei der praktischen Bauausführung auch gelegentlich Änderungen vorgenommen, die nicht dokumentiert werden.

Bild 8 bestätigt zudem, dass die luxemburgische Wärmeschutzverordnung von 1995 im Allgemeinen respektiert wurde, weil in keiner Berechnung die zulässigen k- oder U-Werte dieser Norm überschritten wurden.

## Rückrechnung auf Primärenergie

Diese wurde berechnet mit einem Erhöhungsfaktor von 2.67 für Strom und 1.1 für Heizöl und Erdgas, so wie dies der neue Entwurf der luxemburgischen Wärmeschutzverordnung vorsieht.

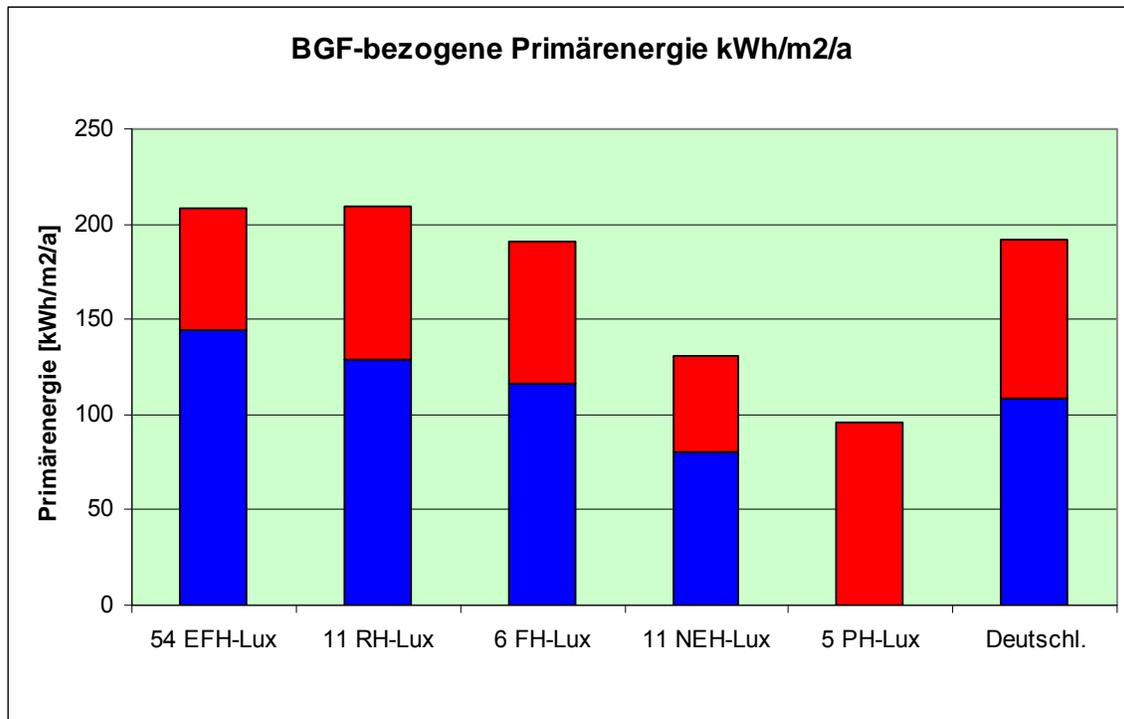


Bild 9: Primärenergieverbrauch bezogen auf die Bruttogrundfläche; blau sind die Anteile aus der Heizung (Erdöl oder Erdgas mit Faktor 1.1) und rot die Anteile aus dem elektrischen Verbrauch (mit Faktor 2.67).

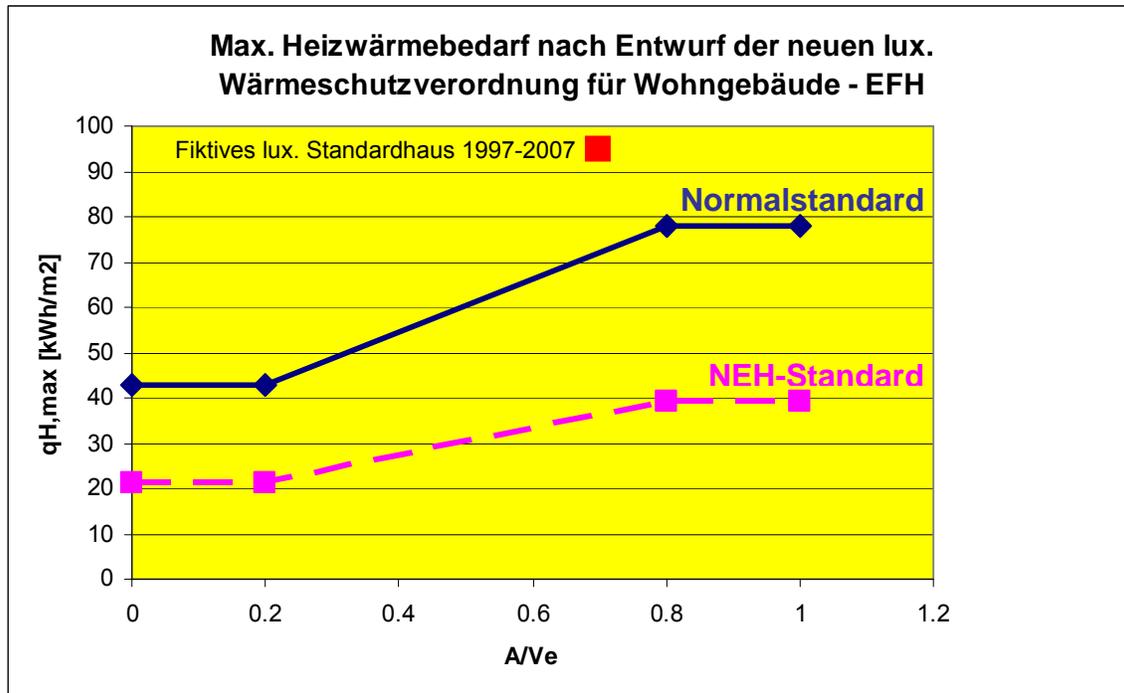
Die so berechneten Primärenergiekennwerte liegen um  $200 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  bei „normalen“ Wohnhäusern (EFH, RH, FH) und unterscheiden sich kaum von den deutschen Werten, weil der Mehrverbrauch beim Heizen durch den etwas günstigeren spezifischen Stromverbrauch infolge der größeren Wohnfläche kompensiert wird. Eine deutliche Reduktion auf rund  $130 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  ist bei den Niedrigenergiehäusern zu erkennen und bei den Passivhäusern geht er auf knapp  $100 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  zurück, wo die Elektrizität der einzige Energieträger war. Man erkennt auch hier das offenbar gut funktionierende NEH-Konzept, wo mit relativ bescheidenen technischen Mitteln eine gut sichtbare Verbrauchsreduktion erreicht ist. Passivhäuser verbrauchen rund die Hälfte von „normalen“ Häusern, was gelegentlich übersehen wird, wenn nur die Reduktion des Heizwärmebedarfes diskutiert wird. Andererseits halten alle untersuchten PH, den üblichen Primärenergiegrenzwert von  $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  ein, wenn man als Bezugsfläche die Nettogrundfläche  $\approx$  Wohnfläche  $\approx 0.8 \times \text{BGF}$  wählt.

### **Zertifizierung nach Verbrauch oder Berechnung**

Der neue Entwurf der luxemburgischen Wärmeschutzverordnung vom August 2006 [9] sieht vor, dass zu dem rechnerisch ermittelten Endenergiewert spätestens nach 4 Jahren ein Verbrauchswert hinzugefügt werden muss, was im Sinne der Qualitätssicherung aufgrund der genannten Sensitivität auch unerlässlich scheint. Nach Ansicht der Autoren sollten dann auch die Abweichungen zwischen Realität und Berechnung statistisch aufgearbeitet und dokumentiert werden und mit den bekannten Abweichungen aus Reihenhausstudien verglichen werden. Wenn sowohl die ausstellenden Ingenieurbüros als auch die ausführenden Baufirmen sorgfältig gearbeitet haben, und die eingeführte Methodik stimmt, werden auch die Abweichungen im genannten statistischen Rahmen bleiben. Nur wenn Verbrauch und Berechnung im Energiepass aufgeführt sind, lassen sich Missdeutungen weitgehend reduzieren, weil die Berechnung leicht Fehler/Ungenauigkeiten mit großen Auswirkungen enthalten und der Verbrauchswert aufgrund ausgefallener Nutzungsbedingungen nicht die energetische Gebäudebewertung widerspiegeln kann.

### **Die neue luxemburgische Verordnung**

Ausgehend von den in Bild 1 gezeigten Daten für traditionelle Einfamilienhäuser kann nun ein fiktives luxemburgisches Durchschnittshaus für den Bauzeitraum 1997-2007 erstellt werden. Es hat ein A/V-Verhältnis von 0.7 und wird mit Öl oder Gas beheizt. Der Heizwärmebedarf beträgt rund 94 kWh/(m<sup>2</sup>a) bezogen auf die Bruttogrundfläche, so dass sich etwa der Endenergiebedarf von 131 kWh/(m<sup>2</sup>a) mit Hilfe der Anlagenverluste (DIN V4701-10) errechnet, was dem in Bild 1 genannten Mittelwert entspricht. Der neue Entwurf der luxemburgischen Verordnung begrenzt nun bei diesem A/V-Verhältnis den Bedarf auf 90 kWh/(m<sup>2</sup>a) bezogen auf die Nettogrundfläche, welche bei Einfamilienhäusern wie bereits gesagt etwa 80% der Bruttogrundfläche entspricht. Daher ergibt sich nach der neuen luxemburgischen Wärmeschutzverordnung ein maximaler Heizwärmebedarf von etwa  $90 \times 0.8 \approx 72$  kWh/(m<sup>2</sup>a) bezogen auf die Bruttogrundfläche.



*Bild 10: Max. Heizwärmebedarf nach neuer luxemburgischen Verordnung umgerechnet auf die Bruttogrundfläche im Vergleich mit dem heutigen Durchschnitt (rotes Viereck).*

Die neue Verordnung wird also den Heizwärmebedarf auf rund  $72/94 = 77\%$  reduzieren, so dass der Endenergiebedarf im Mittel wohl noch über  $100 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  liegen wird und damit der Rückstand gegenüber Deutschland und der Schweiz nach Bild 4 wohl nicht ganz behoben werden kann.

## Zusammenfassung

Es wurden sehr sorgfältig Daten zum Endenergieverbrauch von neu gebauten Einfamilienhäusern in Luxemburg ermittelt, deren Repräsentativität dargelegt werden kann. Nach einer Klimabereinigung können diese mit ausländischen Werten verglichen werden, wobei sich ein Mehrverbrauch von 30 bis 40% gegenüber Deutschland und der Schweiz ergibt, der mit der neuen luxemburgischen Verordnung voraussichtlich nur knapp aufgeholt werden kann. Betrachtet man die Primärenergie, so fällt dieser Rückstand geringer aus, weil die Häuser in Luxemburg im Schnitt größer sind und damit der Stromverbrauch bezogen auf die Fläche geringer ausfällt, was für die Absolutwerte nicht richtig ist. Der Nutzereinfluss wird in der Regel 35% nicht übersteigen und in diesem Rahmen passen auch die Berechnungen sehr gut zu den gemessenen Werten. Die auf stationären Energiebilanzen basierende Berechnung ist also auf jeden Fall sinnvoll und ausreichend genau und wird jetzt auch in Luxemburg aufgrund der Forderungen der EU-Direktive eingeführt.

## Literatur

- [1] Abschlussbericht zum Forschungsprojekt (unveröffentlicht): „Ermittlung des tatsächlichen spezifischen Wärmeenergieverbrauches von neueren Gebäuden in Luxemburg und Ausarbeitung von Empfehlungen zu dessen Reduktion“, No.: R1F103T02, A. Sunnen, S. Maas, D. Waldmann, A. Zürbes, J.J. Scheuren, H. Heinrich
- [2] Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung u.a.: Energieverbrauch der privaten Haushalte und des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD), Deutschland, April 2004, Download unter <http://www.isi.fhg.de/>
- [3] Bundesamt für Energie: Erklärung der kantonalen Unterschiede von Energiekennzahlen bei Neubauten, Schweiz, Juli 2003, Download unter <http://www.bfe.admin.ch/>, Datenbank, „Allg. Publikation“
- [4] Bundesamt für Energie: Erhebung der durchschnittlichen Energiekennzahlen für Neubauten in 13 Kantonen, Schweiz, August 2000, Download unter <http://www.bfe.admin.ch/>, Datenbank „Energieforschung“, Publikationsnr. 200028
- [5] Biermayr P., Einflussparameter auf den Energieverbrauch der Haushalte, Dissertation, TU-Wien, Fakultät für Elektrotechnik, 1998, Institut für Energiewirtschaft - Technische Universität Wien, <http://energytech.at/architektur/expertinnen/results/id1492.html>

- [6] Veröffentlichung der luxemburgischen Gradtagszahl  $GT_{20/15}$  [www.chambre-des-metiers.lu](http://www.chambre-des-metiers.lu) (→ Technologies - Production → Jours et degrés-jours de chauffe)
- [7] W. Feist, Das Niedrigenergiehaus, , C.F. Müller Verlag, Heidelberg, 5. Auflage 1998
- [8] Werner Eicke-Hennig, Gut gedämmte Gebäude: Der Einfluss des Nutzerverhaltens, Architektenbrief, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt
- [9] <http://www.gouvernement.lu/> → Salle de presse → Article d'actualité → Les projets du gouvernement en matière d'énergie 22-08-2006 → Projet de règlement grand-ducal concernant la performance énergétique des bâtiments d'habitation