

Elektrische Energieeffizienz und Lastmanagement als Beitrag zum „Null-Emissions-Gebäude“

G. Geißegger, M. Puchegger,
Fachhochschulstudiengänge Burgenland GmbH, A

ABSTRACT:

Efficient use of electricity is an important goal in the ongoing research project "Build2Zero - Integrated concepts for implementation of zero-emission buildings".

The project's task "Electrical energy efficiency" is divided into two subtasks: developing a tool that predicts the annual electricity demand for an office building in the preplanning phase is the first subtask. The focus of this tool is on three priority areas: lighting, auxiliary power (pumps, fans, ...) and infrastructure (eg PCs, printers, ...). On the basis of these three priorities, the expected annual power requirement is calculated and can be used to support efficiency strategies in the preplanning phase.

The second subtask was the prediction of electric load behaviour of office buildings during the planning phase. Therefore each electrical application which is typically used in office buildings, was analysed with regard to its load curve. By aggregation of the individual load curves, different load curves for building systems could be created. Furthermore, the potential for optimization and the necessary conditions for electrical load management in the office building sector were studied in order to supplement the topic of electrical energy efficiency. Based on the presumption of fluctuating electricity tariffs depending on the exchange price at EXAA (2011), energy costs can be reduced noticeably by using active Demand Side Management.

1. EINLEITUNG

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Build2Zero – Ganzheitliche Konzepte zur Umsetzung von Null-Emissions-Gebäuden“ wird unter anderem auch das Thema „Elektrische Energieeffizienz“ als Teilgebiet bearbeitet. Dabei wurde ein Bewertungstool entwickelt, mit dem in der Vorplanungsphase der jährliche Strombedarf für ein Bürogebäude eruiert werden kann. Die dabei betrachteten Schwerpunkte sind Beleuchtung, Peripherie (Hilfsenergien) für die Energieverteilung und Infrastruktur (z.B. PC, Drucker). Auf Basis dieser Schwerpunkte wird der zu erwartende jährliche Strombedarf errechnet und kann somit als Entscheidungsgrundlage in der Vorprojektphase dienen.

Zusätzlich wurden auch das Lastverhalten sowie die Optimierungspotenziale bzw. die erforderlichen Randbedingungen eines elektrischen Lastmanagements im Bürogebäudesektor ausgearbeitet, um das Themenfeld der „Elektrischen Energieeffizienz“ zu komplettieren.

2. BEWERTUNGSTOOL „ELEKTRISCHE ENERGIEEFFIZIENZ“

Anforderungsprofil an das Bewertungstool ist die sofortige Berechnung und Darstellung des jährlichen Strombedarfs durch die vom Benutzer festgelegten Eingabeparameter. Die Berechnungsalgorithmen zu den drei Schwerpunkten des Tools beruhen primär auf Normen, Richtlinien und Studien (vgl. Literaturverzeichnis). Der gesamte jährliche elektrische Energiebedarf für ein Objekt ergibt sich aus der Addition der Teilsummen von Peripherie, Beleuchtung und Infrastruktur (vgl. Gleichung 1).

$$E_G = E_P + E_B + E_I \quad (1)$$

- E_G Gesamter jährlicher Strombedarf [kWh/a]
- E_P Jährlicher Strombedarf für Peripherie [kWh/a]
- E_B Jährlicher Strombedarf für Beleuchtung [kWh/a]
- E_I Jährlicher Strombedarf für Infrastruktur [kWh/a]

2.1 BELEUCHTUNG

Lichtanlagen für die Innenbeleuchtung (industrielle, gewerbliche oder öffentliche Anlagen) basieren zu ca. 80% auf Leuchtstofflampen. Durch den Einsatz bzw. durch die Kombination von elektrischen Vorschaltgeräten, Dimmungssystemen bzw. tageslicht- und personenabhängiger Regelung können Einsparungen zwischen 7% bis 80% lukriert werden (OSRAM, 2011)

Die Grundlage für die Bewertung des jährlichen Energieverbrauchs ist das Wirkungsgradverfahren aus der DIN V 18599-4:2007-02 (vgl. Gleichung 2). Die dabei zu bewertenden Räume werden in vier Kategorien unterteilt: Einzelbüro, Gruppenbüro, Großraumbüro und Verkehrsflächen. (DIN V 18599-4, 2007)

$$P = \frac{k_A \cdot E_m}{WF \cdot \eta_{\text{Raum}} \cdot \eta_{\text{Lampe}} \cdot \eta_{\text{Leuchte}}} \quad (2)$$

- P auf die Raumgrundfläche bezogene elektrische Bewertungsleistung für die Kunstlichtbeleuchtung eines Berechnungsbereichs [W/m^2]
- k_A Minderungsfaktor zur Berücksichtigung des Bereichs der Sehaufgaben [-]
- E_m Wartungswert der Beleuchtungsstärke [lx]
- WF Wartungsfaktor, der die Alterungsprozesse bis zur nächsten Anlagenwartung berücksichtigt [-]
- η_{Raum} Raumwirkungsgrad [-]
- η_{Lampe} Systemlichtausbeute des eingesetzten Leuchtmittels [lm/W]
- η_{Leuchte} Betriebswirkungsgrad der eingesetzten Leuchte [-]

Für die Berechnung des jährlichen Strombedarfs (vgl. Gleichung 3) wird nun die eruierte Bewertungsleistung zuerst mit der Bezugsfläche multipliziert und danach mit der jährlichen Bereitschaftszeit der Beleuchtungsanlage und dem dimensionslosen Vollbetriebszeitfaktor. (Hennings et al, 2000)

$$E_B = P \cdot b_a \cdot f_v \quad (3)$$

- E_B Jährlicher Strombedarf der Beleuchtungsanlage [kWh/a]
 b_a Jährliche Bereitschaftszeit der Beleuchtungsanlage [h/a]
 f_v Vollbetriebszeitfaktor [-]

2.2 PERIPHERIE

Im Peripherieabschnitt des Tools werden die Hilfsenergien für die Heizung, Kühlung und Lüftung bewertet. Die Berechnungsalgorithmen für die einzelnen Bereiche werden hauptsächlich aus den ÖNORMEN H 5056 (2010), H 5057 (2010) bzw. H 5058 (2010) entlehnt. Zuerst wird der elektrische Hilfsenergiebedarf für jedes Gebiet separat ermittelt und anschließend addiert. Die daraus gebildete Summe (vgl. Gleichung 4) ist der jährliche Strombedarf für die Peripherie.

$$E_P = E_H + E_L + E_K \quad (4)$$

- E_P Jährlicher Strombedarf für die Peripherie [kWh/a]
 E_H Jährlicher Strombedarf für die Heizung (Hilfsenergie) [kWh/a]
 E_L Jährlicher Strombedarf für die Lüftung (Hilfsenergie) [kWh/a]
 E_K Jährlicher Strombedarf für die Kälte (Hilfsenergie) [kWh/a]

Bei der Heizung wird der Hilfsenergieaufwand z.B. für Pumpen (Umwälzpumpen, Ladepumpen, etc.), Fördereinrichtungen, Kessel, Wärmepumpen und thermische Solaranlagen erfasst. (ÖNORM H 5056, 2010)

Für die Lüftung wird der elektrische Energiebedarf für die Luftförderung bzw. für das Vorheizregister berechnet. (ÖNORM H 5057, 2010)

Im Bereich der Kälte werden vorrangig der Strombedarf für das Rückkühlsystem (Kompressions- bzw. Absorptionskälteanlagen), die Pumpen und die Sekundärventilatoren (Umluftventilatoren) ermittelt. (ÖNORM H 5058, 2010)

2.3 INFRASTRUKTUR

Das Thema Infrastruktur teilt sich in die drei Unterbereiche Arbeitsplatz, zentrale EDV und sonstige Geräte. Als Geräte des Arbeitsplatzes wurden Computer (PCs bzw. Notebooks), Monitore und Telefone festgelegt. Deren Leistungsaufnahmen in den einzelnen Betriebsmodi (Aktiv, Standby, Off) sind im Tool einzugeben. Alternativ dazu können im Programm hinterlegte Durchschnittswerte aus der Datenbank von „Energy Star (2011)“ übernommen werden. Der Jahresverbrauch ergibt sich durch Integration der Leistungen im jeweiligen Betriebsmodus über die Zeit.

Die zentrale EDV wird durch bildgebende Geräte (Drucker, Scanner, Fax, Kopierer), Beamer und Server bestimmt. Die Berechnung des Verbrauchs bildgebender Geräte wird gemäß dem Beschluss 2009/347/EG (2009) durchgeführt. Für die Beamer ist die Leistungsaufnahme im Betrieb und im Standby-Betrieb ausschlaggebend und wird durch Angabe der Betriebsstunden auf das Jahr hochgerechnet. Der Verbrauch der Server wird nach Energy Star (2009) errechnet. Der Verbrauch für größere Server wird abhängig von der Anzahl der Sockel aus den Durchschnittswerten der in der Datenbank von „Energy Star (2011)“ gelisteten Geräte gebildet. Vom User ist dabei stets die durchschnittliche Serverauslastung anzugeben. Ist diese nicht bekannt, wird eine 50%ige Auslastung als Defaultwert verwendet.

Als sonstige Geräte sind Aufzüge, Mikrowellengeräte, Elektroherde, Kaffeemaschinen, Geschirrspüler, Kühlgeräte und Wasserkocher im Tool berücksichtigt. Die Berechnung von deren Verbräuchen erfolgt hauptsächlich aufgrund von Vorgaben bei der Vergabe von Effizienzlabeleds. Bei Kenntnis der Einstufung der jeweiligen Geräte lässt sich der Jahresverbrauch anhand einiger zusätzlicher Angaben errechnen.

Der jährliche Strombedarf für die gesamte Infrastruktur ergibt sich aus der Summe der Verbräuche der drei Unterbereiche (vgl. Formel 5).

$$E_I = E_{AP} + E_{ZEDV} + E_{SV} \quad (5)$$

E_I Jährlicher Strombedarf für die Infrastruktur [kWh/a]

E_{AP} Jährlicher Strombedarf der Arbeitsplätze [kWh/a]

E_{ZEDV} Jährlicher Strombedarf der zentralen EDV [kWh/a]

E_{SV} Jährlicher Strombedarf der sonstigen Verbraucher [kWh/a]

3. ELEKTRISCHES LASTMANAGEMENT

Als zweiter Punkt wurde innerhalb von Build2Zero das elektrische Lastverhalten sowie das Potential für aktives Lastmanagement in Bürogebäuden untersucht. Das Lastmanagement soll die elektrische Leistungsaufnahme, soweit möglich, in Zeiten niedriger Strompreise verschieben, ohne den Komfort für den Nutzer negativ zu beeinflussen.

3.1 MODELLIERUNG DER LASTGÄNGE

Die Lastgänge einzelner Verbraucher wurden dafür anhand von Gebäudesimulationen und theoretischer Zusammenhänge, die aus der Literatur ermittelt wurden, modelliert. Als Beispiel für die Peripherie sei hier der Recknagel (2009) genannt. Durch das Zusammenführen separater Verbraucherlastgänge konnten somit verschiedene Lastszenarien der einzelnen Kategorien (Infrastruktur, Beleuchtung, Peripherie) erstellt werden. Unter Berücksichtigung von Wechselwirkungen zwischen den Verbrauchern wurden dann verschiedene Modelle für das gesamte Gebäude geschaffen. Dabei wurde festgestellt, dass die überwiegende elektrische Last während der Nutzungszeit (08:00 bis 16:30) des Gebäudes entsteht. Abb. 1 zeigt den elektrischen Lastverlauf eines Gebäudes an einem Wintertag. Variante A stellt dabei ein Gebäude dar, bei dem die Heizenergie nicht elektrisch bereitgestellt wird, Variante B ein Gebäude mit Luftwärmepumpe. Dargestellt ist auch der Tagesverlauf des Strompreises an der Österreichischen Strombörse EXAA (EXAA, 2011).

Es ist zu sehen, dass die Zeiten hoher Leistungsaufnahme bei beiden Varianten durchwegs zu Zeiten hoher Strompreise anfallen. Dies hat bei den derzeitigen Stromtarif - Modellen noch keine Auswirkungen auf die Betriebskosten eines Bürogebäudes. Für eine Energiever-

sorgung über Smart Grids deutet jedoch vieles darauf hin, dass diese Preisunterschiede in Zukunft auch an die Kunden weiter gegeben werden.

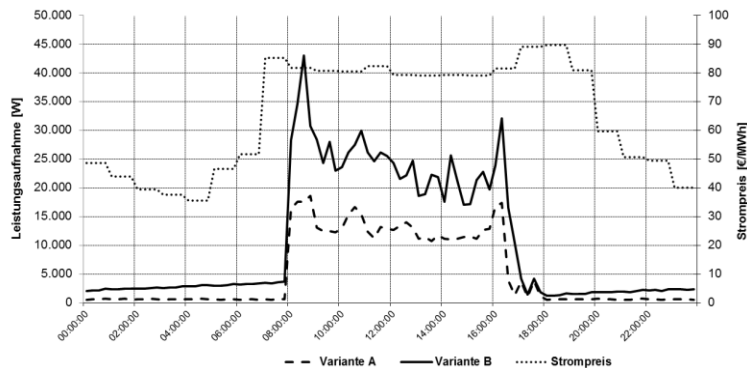


Abb. 1: Nicht optimierter elektrischer Lastverlauf eines Standardbürogebäudes und Strompreis – Verlauf für einen typischen Wintertag

3.2 OPTIMIERUNG DER LASTGÄNGE

Ausgehend von Lastgängen aus Abb. 1 wurde nun versucht, Verbraucher mit Lastverschiebungspotential zu identifizieren und ein neues Modell mit den optimierten Lastverläufen zu erstellen. Durch Ausnutzung der Lastverschiebungspotentiale ergeben sich die neuen Lastgänge in Abb. 2.

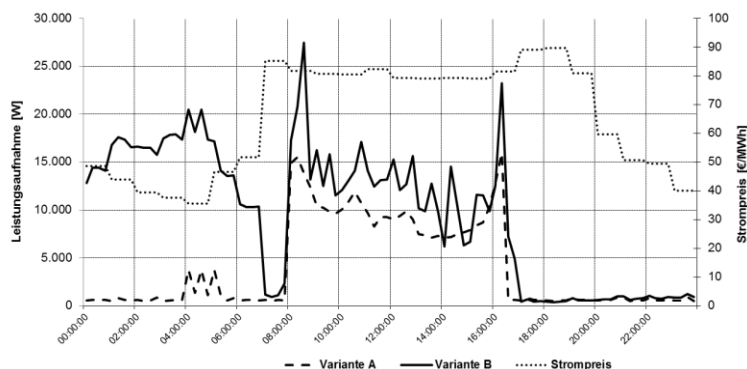


Abb. 2: Optimierter elektrischer Lastverlauf eines Standardbürogebäudes und Strompreis – Verlauf für einen typischen Wintertag

Es ist tagsüber, zu Zeiten hoher Strompreise, eine deutlich verringerte Leistungsaufnahme zu beobachten. Zudem fallen die Lastspitzen deutlich geringer aus. Bei der Variante B, bei der die Heizung elektrisch betrieben wird, entsteht nachts, bei günstigen Strompreisen, durch eine gezielte Vorheizstrategie eine neue Lastspitze. Dadurch erhöht sich der Energiebedarf für die Beheizung. Berechnet man allerdings die jährlichen Kosten anhand des Börsenstrompreises zur jeweiligen Tageszeit, so ergeben sich trotz eines höheren Strombedarfs Kosteneinsparungen gegenüber der Standardvariante. Für die Gebäudevariante mit 60% Fensterflächenanteil und einem U-Wert von $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ steigt der Heizenergiebedarf beispielsweise um 45 %, während die Kosten um 10 % sinken. Ein ähnliches Verhalten lässt sich für die Kühlung im Sommer beobachten. Bei der gleichen Gebäudevariante steigt der Energieverbrauch hier um 19 %, die Kosten sinken jedoch um 13 %.

4. SCHLUSSFOLGERUNG

Durch die Abschätzung des elektrischen Strombedarfs für ein Dienstleistungsgebäude in der Vorplanungsphase, können einerseits frühzeitig Strategien für die Senkung des elektrischen Energiebedarfs entwickelt werden, andererseits können erste Überlegungen getroffen werden, mit welchen erneuerbaren Energiesystemen (z.B. PV, Kleinwindanlagen) der anfallende Strombedarf vor Ort gedeckt werden kann, um den Anspruch eines Nullemissionsgebäudes möglichst nahe zu kommen. Ein wichtiger Faktor für die Integration solcher Systeme ist das Wissen über die elektrischen Lastgänge des Gebäudes. Weiters kann durch die Aufschlüsselung der Lastgänge auch ein Lastmanagement implementiert werden, mit welchem die Energieverbräuche und besonders die Energiekosten gesenkt werden können.

LITERATUR

- 2009/347/EG (2009): Beschluss der Kommission über die Koordinierung von Kennzeichnungsprogrammen für Strom sparende Bürogeräte, Brüssel
- DIN V 18599-4 (2005) - Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 4: Nutz- und Energiebedarf für Beleuchtung, Berlin, Ausgabe: 2005-07
- Energy Star (2009): Energy Star Version 1.0 Program Requirements for Computer Servers, Umweltschutzbehörde und Energiedepartment der Vereinigten Staaten, Washington, USA
- Energy Star (2011) Find Energy Star Products, http://www.energystar.gov/index.cfm?fuseaction=find_a_product.showProductGroup&pgw_code=CO, Internetzugriff am 27.09.2011
- EXAA (2011): EXAA Spotpreise 2011, http://www.exaa.at/market/historical/austria_germany/, Internetzugriff am 20.09.2011
- Hennings, D.; Hinz, E.; Steinmüller, B.; Großklos, M. (2000) Leitfaden elektrische Energie im Hochbau, Darmstadt
- ÖNORM H 5056 (2010) - Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden/ Heiztechnik-Energiebedarf, Wien, Ausgabe: 2010-01-01
- ÖNORM H 5057 (2010) - Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden: Raumlüftungstechnik-Energiebedarf für Wohn- und Nichtwohngebäuden, Wien, Ausgabe: 2010-01-01
- ÖNORM H 5058 (2010) - Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden: Kühlttechnik-Energiebedarf, Wien, Ausgabe: 2010-01-01
- OSRAM (2010) Vier Schritte, Energie zu sparen [Online] http://www.osram.de/osram_de/Professionals/EVG/Archiv/Archiv_Alles_ueber_EVG/Vorteile_EVG/Energie-Einsparung/Vier_Schritte_Energie_zu_sparen/index.html, Internetzugriff am 20.09.2011
- Recknagel, H. (2009): Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik 2009/2010, 74. Auflage, Oldenbourg Industrieverlag, München