

# Energieeffiziente Büros und Produktionsstätten – Ergebnisse und Erfahrungen aus Monitoring-Projekten

## Einleitung

Nichtwohngebäude sind seit der Verabschiedung der europäischen Richtlinie zur Energieeffizienz von Gebäuden (EBPD) stärker im Fokus von energieeffizienten Konzepten. Im Rahmen des Förderprogramms „Energieoptimiertes Bauen – EnBau“ und „Energetische Sanierung des Gebäudebestands – EnSan“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie werden seit 1998 Nichtwohngebäude über eine zweijährige messtechnische Kampagne evaluiert um Stärken und Schwächen der unterschiedlichen Konzepte aufzuzeigen. Ziel aller Demonstrationsbauten ist die Verbindung einer hohen Arbeitsplatzqualität mit niedrigem Energieverbrauch.

## Energieverbrauch und Arbeitsplatzqualität

In Bürogebäuden dominieren in einer Jahreskostenbetrachtung die Gehälter der Mitarbeiter, während die unmittelbaren Energiekosten meist deutlich unter 1 % ausmachen [1]. Andererseits sind die Energiekosten oft der größte Einzelposten in den Nebenkosten, der so genannten „zweiten Miete“. Diese summiert sich im Falle eines voll klimatisierten Gebäudes in 50 Betriebsjahren auf etwa die Hälfte der Investitionskosten für das Gebäude. Wegen der hohen Bedeutung der Personalausgaben stehen optimale Bedingungen am Arbeitsplatz im Mittelpunkt einer Gebäudeplanung. Hohe Arbeitsplatzqualität trägt zur Zufriedenheit und Motivation der Mitarbeiter bei. Nur mit Gebäuden hoher Nutzungsqualität lassen sich auf einem hart umkämpften Markt langfristig sichere Renditen erzielen. Maßnahmen zur Energieeinsparung sind vor allem in solchen Bereichen erfolgreich,

Sebastian Herkel  
 Fraunhofer ISE  
 sebastian.herkel@ise.fraunhofer.de

Jan Kaiser  
 Fraunhofer IBP  
 jan.kaiser@ibp.fraunhofer.de

Dr. Henk Kaan  
 Energy Research Centre of the Netherlands, ECN  
 kaan@ecn.nl

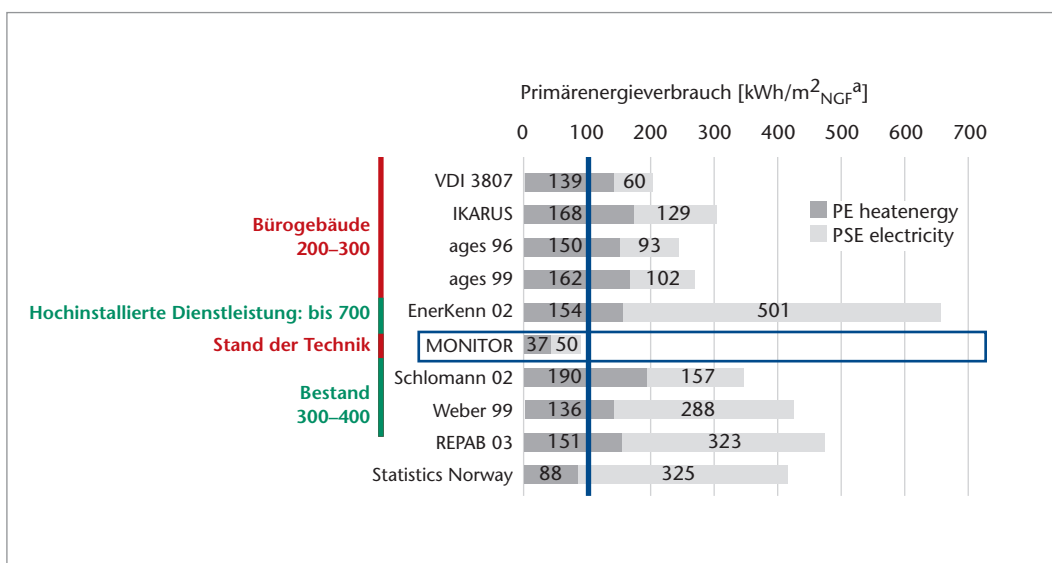


Abbildung 1  
 Ergebnisse verschiedener Untersuchungen aus dem Förderprogramm EnBau verglichen mit Verbrauchswerten für Bürogebäude aus dem Bestand [1]

Quelle: Fraunhofer ISE/ECN

**Abbildung 2**  
Das Zentrum für Umweltbewusstes Bauen in Kassel (links), PV-Fassade des ECN Gebäudes 31 (Mitte) und Wintergarten mit PV des ECN Gebäudes 42 (rechts)



Quelle: Fraunhofer ISE/ECN

in denen sich gleichzeitig positive Auswirkungen für die Nutzungsqualität ergeben.

Knapp ein Viertel des deutschen Gebäudebestands fiel 1995 in die Kategorie des Nichtwohnungsbaus. Während im Wohnungsbau die Bereitstellung von Wärme für die Raumheizung und Warmwasser mit 92 % dominiert, kommt in den Bürogebäuden dem elektrischen Energieverbrauch eine wesentlich größere Bedeutung zu. Die dominierenden Einflussfaktoren auf den Stromverbrauch sind der Umfang und Energieeffizienz der technischen Gebäudeausrüstung (TGA) für Beleuchtung, Lüftung und Klimatisierung sowie der Büroausstattung [1] [2],

*Abbildung 1.*

## Konzepte: Kühlung mit Low-Ex Systemen und Solare Energieversorgung

Ein wichtiger Bestandteil im Energiekonzept von Bürogebäuden ist die energieeffiziente Bereitstellung eines angenehmen Raumklimas im Sommer. Um auf eine aktive Kühlung verzichten zu können, werden bereits in der Planungsphase solare und interne Wärmelasten durch wirksamen Sonnenschutz bzw. verbesserte Tageslichtnutzung, Beleuchtungsautomatisierung und konsequente Gerätewahl (z. B. Flachbildschirme) reduziert. Die reduzierten Wärmelasten können weitgehend durch die Lüftung oder über thermisch aktive Bauteilsysteme (TABs) abgeführt werden. Bei hinreichend niedrigen, nächtlichen Außentemperaturen kann die Wärme mit der kühlen Nachtluft abgeführt werden. Als besonders leistungsfähige Wärmesenken kommen das Erdreich oder das Grundwasser in Frage.

Folgende Technologien werden in Demonstrationsgebäuden eingesetzt:

- Freie und mechanische Nachtlüftung
- Erdwärmetauscher (luftdurchströmte Rohre im Erdreich)
- Betonkernaktivierung in Kombination mit Erdsonden
- Grundwasserkühlung mit Schluckbrunnen.

Die Technologien sind bereits in die Baupraxis eingeführt, können zu wettbewerbsfähigen Kosten (Investition und Betriebskosten) realisiert werden und gewährleisten – bei richtiger Planung und Betriebsführung – ein gutes Raumklima ohne aktive Klimatisierung.

Allerdings kommen diese Konzepte mit niedrigem Exergieaufwand („Low-Ex“) insbesondere bei Nutzung der kühlen Nachtluft an Grenzen, wenn besonders hohe Anforderungen an die Raumtemperatur gestellt werden oder hohe Wärmelasten abgeführt werden müssen. Daher müssen in der Planung die Grenzen der passiven Kühlung für z. B. wechselnde Nutzungsanforderungen bestimmt und beachtet werden. Exemplarisch werden hier die Konzepte von drei Projekten vorgestellt: das Zentrum für Umweltbewusstes Bauen in Kassel und zwei Bürogebäude der ECN in Den Haag.

### Zentrum für Umweltbewusstes Bauen

Das Bürogebäude in Kassel vereint auf einer Nettogrundfläche von 1.347 m<sup>2</sup> einen hoch wärmegeprägten, solar optimal ausgerichteten Baukörper mit einer energieeffizienten Anlagentechnik. Mit Hilfe einer bedarfsgeregelten Lüftungsanlage, einem Bauteilheiz- und -kühlsystem, sowie einer tageslichtgeführten Beleuchtungsregelung ist es gelungen, die Anforderungen aus dem Förderprogramm deutlich zu übertreffen [5]. Hierbei beträgt der über vier Jahre gemessene durchschnittliche End-

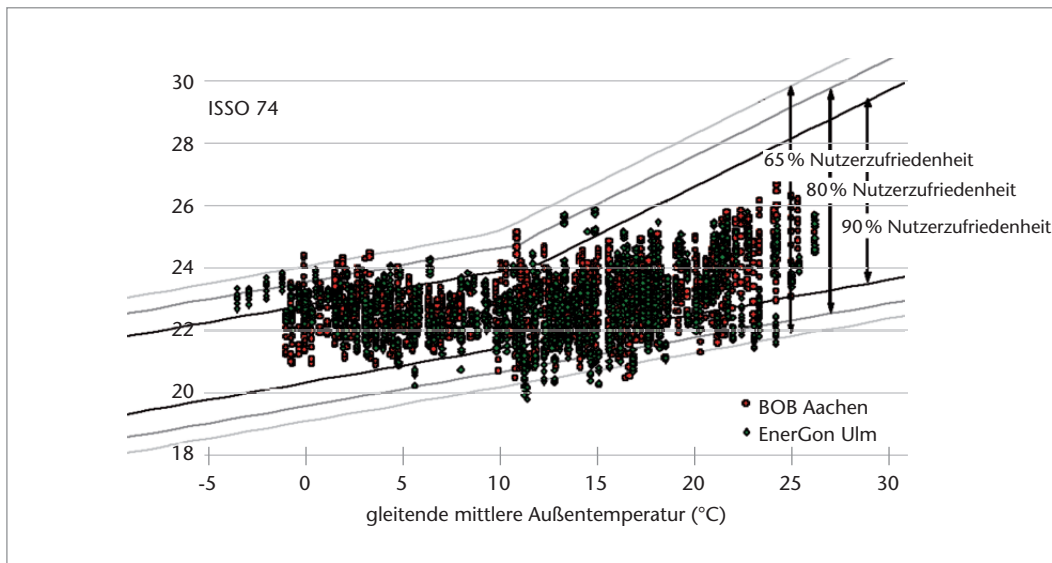


Abbildung 3

Thermischer Komfort exemplarisch für die Gebäude Energon Ulm (grün) und BOB Aachen (rot): Dargestellt ist die gemessene mittlere Raumtemperatur der Büros während der Anwesenheitszeit der Nutzer (8:00 bis 18:00) in Abhängigkeit der gleitenden Mittels der Außentemperatur (Richtlinie ISSO 74). Gemäß den Behaglichkeitskriterien sind 65% der Nutzer immer mit der Raumtemperatur zufrieden. Alle Daten für das Jahr 2005, Quellen sind die Hochschulen Ulm und Köln.

Quelle: Fraunhofer ISE/ECN

energieverbrauch für die Beheizung, Kühlung, Lüftung und Beleuchtung nur 39,4 kWh/(m<sup>2</sup>a). Das entspricht einem Primärenergieverbrauch von 48,4 kWh/(m<sup>2</sup>a).

Als Besonderheit können die Büroräume in den Sommermonaten über einen Wasserkreislauf in der Fundamentplatte passiv gekühlt werden. Der Einsatz einer Sohlplattenkühlung<sup>1</sup> ist insbesondere dann sinnvoll, wenn durch weitere Maßnahmen die internen und externen Lasten beschränkt werden können. Mit dem Einsatz eines außenliegenden Sonnenschutzes, sowie einer stromsparenden Geräteausstattung ist dies insoweit gelungen, dass zu jeder Zeit behagliche raumklimatische Verhältnisse hergestellt werden konnten. Das Lüftungskonzept, welches im Winterbetrieb eine mechanische Lüftung und im Sommer die Fensterlüftung vorsieht, hat sich während der gemessenen Betriebsjahre bewährt. Der Stromverbrauch der Anlage konnte durch den Einsatz von VOC-Sensoren in Kombination mit drehzahlgeregelten Ventilatoren deutlich gesenkt werden.

### ECN-Gebäude

Das ECN-Gebäude 31 wurde 1963 gebaut und 1996–1998 unter Leitung von ECN- und BEAR-

<sup>1</sup> Die Sohlplattenkühlung nutzt die Energiespeicherfähigkeit des Erdreiches zur Kühlung. Hierfür sind in der Bodenplatte des Gebäudes wasserführende Rohrschlangen verlegt. Das durch die Sohlplatte abgekühlte Wasser wird dann über ein System zur Kälteverteilung in den Räumen zur Gebäudekühlung genutzt.

Architekten renoviert. Das Gebäude hat eine südorientierte Fassade und litt unter starker Übererhitzung. Im Zuge der Renovierung wurde ein statischer Sonnenschutz mit integrierten PV-Modulen installiert sowie das Dach mit einer PV-Anlage ausgestattet. Die Wärmelast wurde dadurch substantiell reduziert, so dass auf eine Kühlanlage verzichtet werden kann. Der Anteil an Solarzellen des Sonnenschutzes wurde so optimiert, dass eine ausreichende Tageslichtversorgung in den zur Fassade orientierten Büroräumen gewährleistet ist. Die Funktionalität der Fassade wurde vorher in einem Fassadentest messtechnisch nachgewiesen und die Simulationen validiert [6] [7].

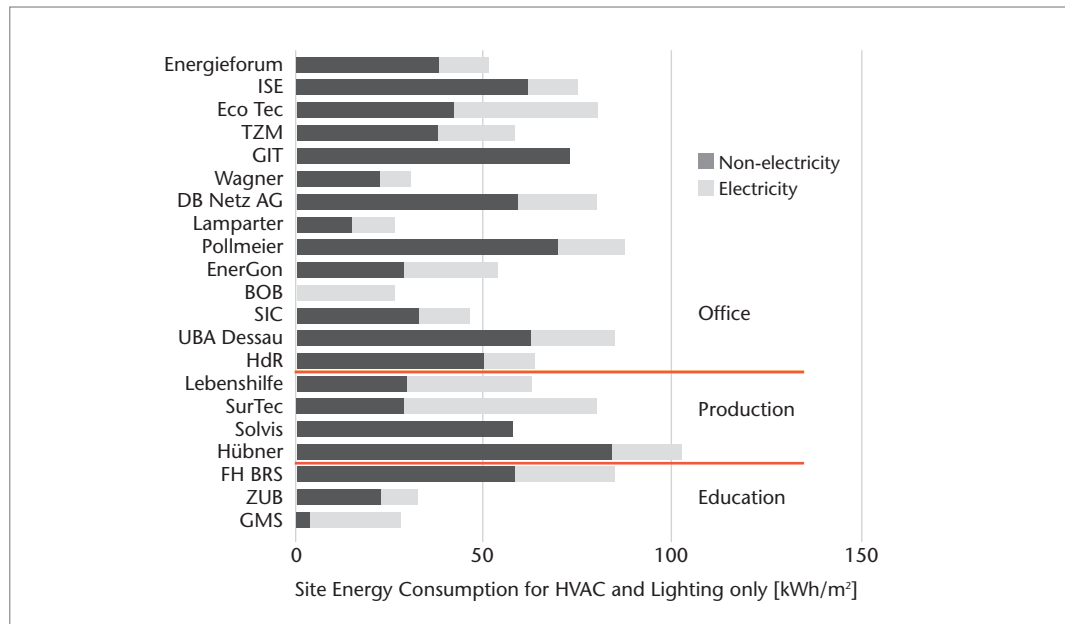
Der erste Bauabschnitt des ECN-Gebäudes 42 wurde 2000 gebaut (Abschnitt 2 und 3 sind in Vorbereitung). Das ebenfalls von BEAR-Architekten entworfene Gebäude war zu diesem Zeitpunkt das energieeffizienteste Gebäude der Niederlande. Ein Wintergarten mit integrierter PV-Verglasung dient auch hier als Schutz gegen zu hohe solare Lasten. Aufgrund des nur 500 m von der Nordsee entfernten Standortes ist die passive Kühlung mit Nachtlüftung sehr effektiv (die nächtlichen Tiefstwerte der Außentemperatur im Sommer überschreiten selten 16 °C). Damit funktioniert auch dieses Gebäude ohne mechanische Kühlung. Beide Beispiele haben gezeigt, dass gut entworfene Gebäude bei gleichzeitig hoher Energieeffizienz ein komfortables Innenklima haben können.

## Monitoringergebnisse: Sommerliches Temperaturverhalten und Energiekennzahlen

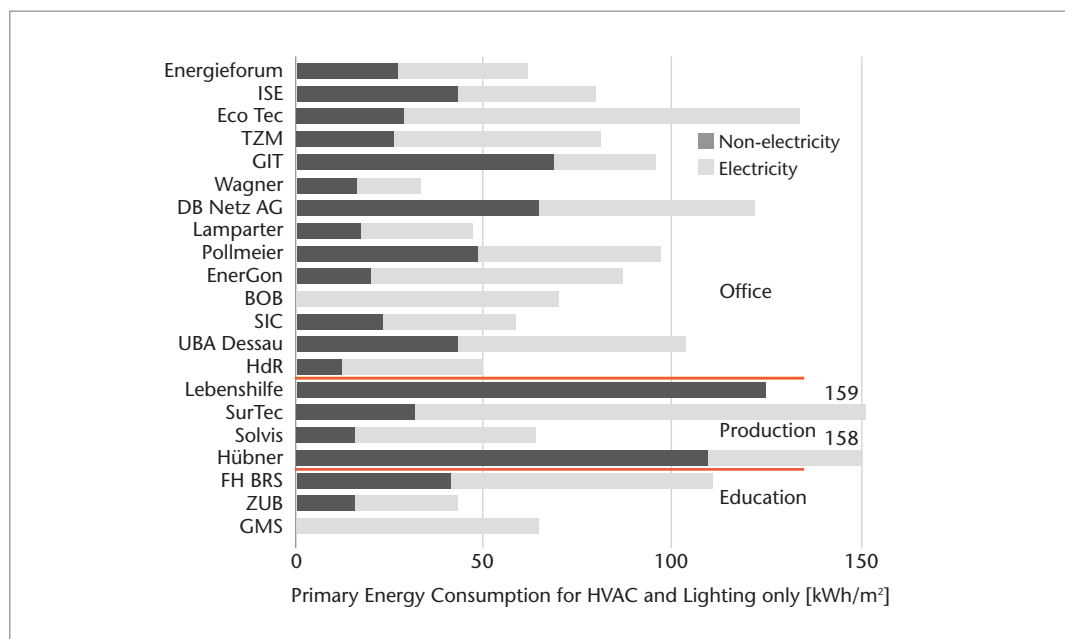
Bezüglich des sommerlichen Temperaturverhaltens muss sich das Gebäudekonzept zur passiven Kühlung an den Temperaturen in den Büros bei hohen Außentemperaturen orientieren. Die mehrjährigen Messkampagnen der Raumtemperaturen wurden für verschiedene Konzepte zur Gewährleistung des sommerlichen Raumklimas analysiert.

Für Gebäude mit passiver Kühlung mittels Nachtlüftung zeigt sich, dass in typischen Sommern wie zum Beispiel im Jahr 2002 die Maximaltemperaturen in den Büros zwischen 27 °C und 28 °C lagen. Ebenso wie für klimatisierte Gebäude war der extrem warme Sommer 2003 – mit z. B. 23 Tagen mit Tagesmittelwerten > 26°C in Freiburg – eine Herausforderung für passiv gekühlte Gebäude mit Nachtlüftung. Es zeigt sich, dass nur ein Teil der Gebäude die Komfortkriterien der DIN EN 15251:2007-08 erfüllt. Dies ist insbesondere auf die hohe Sensitivität dieses Konzepts auf das Nutzerverhalten

**Abbildung 4**  
Endenergiefaktoren (oben) und daraus abgeleitete Primärenergiekennzahlen (unten). Primärenergiefaktoren basieren auf DIN 18599 [8]. Die Verbrauchswerte beziehen sich auf die gesamte TGA für Heizen, Lüften, Kühlen und Beleuchten. Datenquelle ist jeweils die mit dem Messprogramm beauftragte Hochschule.



Quelle: Fraunhofer ISE/ECN



(Sonnenschutz und Fensteröffnung) zurückzuführen [1,4]. Gebäude mit Erdsonden, Grundwasser oder Erdreich gekoppelten Bodenplatten als Wärmesenke zeigen eine gute Performance auch in warmen Perioden, *Abbildung 3* [4]. Zu beachten ist hier vor allem eine saisonal ausgeglichene Energiebilanz der Senke/Quelle, so dass es nicht zu einer langfristigen Veränderung des Temperaturniveaus der Wärmesenke kommt.

Insgesamt umfasst das Förderprogramm ENOB derzeit 51 Gebäude, davon 24 Bestandsgebäude (EnSan) und 27 Neubauten (EnBau).

*Abbildung 4* fasst die Ergebnisse der Neubausprojekte sowie die 2008 zur Verfügung stehenden Jahresmessdaten grafisch zusammen. Primärenergiefaktoren und Stromgutschriften basieren auf DIN 18599, lokale Stromproduktion mit PV ist hier nicht mit dargestellt [8].

Erfreulicherweise erreichen die meisten Gebäude die angestrebten Energiekennwerte, wobei vor allem dann sehr niedrige Verbrauchswerte erreicht werden, wenn der Wärmebedarf sehr niedrig ist. Einige Gebäude kommen durch regenerative Produktion von Strom und Wärme dem Ziel einer ausgeglichenen Primärenergiebilanz („Nullenergiegebäude“) recht nahe.

## Fazit

Die Planung, Umsetzung und Evaluierung von Bürogebäuden unter Maßgabe eines ganzheitlichen Primärenergiezielwertes hat belastbare Ergebnisse auf einem in dieser Breite und Tiefe noch neuen Arbeitsgebiet ergeben. Umfangreiche Zusatzinformation zu sämtlichen Demonstrationsprojekten befindet sich unter [www.enbau.info](http://www.enbau.info) sowie [www.enob.info](http://www.enob.info) im Internet. Daten aus den Projekten sind unter [www.enob.ise.fraunhofer.de](http://www.enob.ise.fraunhofer.de) visualisiert.

## Literatur

- [1] Voss, K., Löhnert, G., Herkel, S., Wagner, A. and Wambsganß, M. (2006): Bürogebäude mit Zukunft – Konzepte, Analysen, Erfahrungen, Solarpraxis Berlin, 2. Auflage, ISBN-10: 3-934595-59-6.
- [2] Voss, K., Herkel, S., Löhnert, G., Pfafferott, J. and Wagner, A. (2006): Energy efficient office buildings with passive cooling – Results from a Research and Demonstration Programme. Proceedings of 4th European Conference on Energy Performance and Indoor Climate in Buildings, Lyon, France.
- [3] Gossauer, E., Leonhart, R. and Wagner, A. (2006): Workplace occupant satisfaction at workplaces – a study in sixteen German office buildings. Proceedings of Windsor Conference on Comfort and Energy Use in Buildings, Windsor, UK.
- [4] Kalz, D., Pfafferott, J., Herkel, S. (2006): Monitoring and Data Analysis of two Low Energy Office Buildings with a Thermo-Active Building System (TABS). Proceedings of 4th European Conference on Energy Performance and Indoor Climate in Buildings, Lyon, France.
- [5] Hauser, G., Kaiser, J.; Rösler, M. und Schmidt, D.: Solaroptimiertes Bauen, Teilkonzept 3 Energetische Optimierung, Vermessung und Dokumentation für das Demonstrationsgebäude des Zentrums für Umweltbewusstes Bauen: Abschlußbericht. Universität Kassel, Dezember 2004.
- [6] Kaan, HF and T.H. Reijenga: Retrofit & Architectural Integration of PV Modules in Façade and roof of an Office & Laboratory Building, Petten. ECN, April 2002
- [7] Kaan, H.F., and C.E.E. Pernot: Proefopstelling PV-geïntegreerde zonwering/PV-systeem met daglichtsysteem. ECN, Januar 2000
- [8] Voss, K., Herkel, S. et al. (2008): Energy-Optimised Building – Experience and Future Perspectives from a Demonstration Programme in Germany. Proceedings of ICEBO, Berlin.