

■ Demonstration und Praxis neuer Techniken

- Wohngebäude – neue Techniken in der Praxis, Energieertrag und Effizienz
- Energieeffiziente Büros und Produktionsstätten – Ergebnisse und Erfahrungen aus Monitoring-Projekten

Wohngebäude – neue Techniken in der Praxis, Energieertrag und Effizienz

Isabell Schäfer
TU Darmstadt
Fachbereich Architektur
El-Lissitzky-Straße 1
64287 Darmstadt
ischaef@
ee.tu-darmstadt.de

Einführung

Beschäftigt man sich heute mit zukunftsfähigen Wohnformen, ist neben den zu lösenden Problemen auf soziokultureller, demografischer und ökonomischer Ebene die Frage nach der Energieeffizienz und -versorgung unserer Wohngebäude von entscheidender Bedeutung.

Bedrohliche Klimaveränderungen und die Erkenntnis, dass unsere fossilen Energiequellen endlich sind, fordern weltweit ein Umdenken. Aus der Erkenntnis heraus, dass zudem etwa 50 Prozent der Energie in Gebäuden verbraucht wird, sind gerade im Bereich Bauwesen und Architektur neue Wege zu beschreiten. Nachhaltiger Wandel muss Eingang in Planung und Ausbildung finden und gleichzeitig in das Bewusstsein der Öffentlichkeit transferiert werden.

Effiziente Gebäude haben noch keine eigene architektonische Sprache

Gebäude stehen in vielfältigen Austauschbeziehungen mit ihrem Umfeld: Klima, Landschaft, Topographie, bauliches Umfeld, Verkehr und Infrastruktur wirken auf ein Gebäude ein. Sie definieren seinen Kontext sowie das Energieangebot, auf das es zugreifen kann. In Europa sind Gebäude in der Regel in ein Netz von Ver- und Entsorgungssystemen eingebunden. Der Stand der Technik lässt aber heute eine autarke Bauweise zu, die auf eine externe Energiezufuhr verzichten kann.

Gegenwärtig wird jährlich nur etwa 1 % des deutschen Gebäudebestands neu errichtet. Energieeffiziente Neubauten allein führen also aufgrund der nur langsam steigenden Anzahl zu

keiner schnellen Reduktion des Gesamtenergieverbrauchs oder des CO₂-Ausstoßes durch Gebäude.

Nachdem sich energieeffiziente Bauweisen noch vor wenigen Jahren als eine Art Nischenprodukt dargestellt haben, werden sie nun allmählich bekannter. Allerdings fehlt diesem Bedarf an Raum für Wohnen und Arbeiten eine klare architektonische Sprache – Energieeffizienz besitzt noch keine spezifische architektonische Form. Sie ist eine Methodik, die sich nicht zwingend auf die Architektur niederschlägt.

Aber die Ziele für eine hohe Energieeffizienz sind erfahrbar, wenn bei Ihrer Umsetzung eine hohe Behaglichkeit für den Gebäudenutzer erreicht wird. Um eine solche hohe Behaglichkeit anbieten zu können, ist eine intelligente Planung von Gebäuden notwendig. Die Höhe des Energiebedarfs während der Nutzungsphase steht dabei im Zusammenhang mit der Ausbildung des Baukörpers und der Gebäudehülle, den klimatischen Randbedingungen, der eingesetzten Systemtechnik und nicht zuletzt dem Komfortanspruch sowie dem Nutzerverhalten. Architektonische Parameter stehen dabei für den Energiebedarf und Energiedienstleistungen in einem unmittelbaren Zusammenhang.

Gebäudefassaden als Energiewandler

Die Fassade eines Gebäudes ist Wandler des Energieflusses und daher ist sie zwingend auf die unterschiedlichen Bedarfe im Innenraum und die äußeren Einflüsse auszurichten. Bedarfe und Einflüsse zeigen dabei an der Fassade auch die unterschiedlichen Möglichkeiten zur Nutzung von Fassaden.

Eine diese Einflüsse berücksichtigende Gestaltung hat zwangsläufig Rückwirkungen auf den gesamten Energiebedarf und -gewinn eines Gebäudes. So hat z. B. die Flächenrelation von opaken zu transparenten Flächen einen hohen Einfluss auf die Energiebilanz eines Gebäudes. Im Zusammenspiel von g-Wert und U-Wert ergeben sich auch innerhalb der transparenten Flächen hohe Handlungspotenziale, die mittlerweile auch durch die DIN 18599 energetisch durch den Wärmeeintrag durch Sonnenstrahlung sowie den daraus ermittelten Kühlbedarf abgebildet werden. Eine Einflussnahme ist besonders auch über adaptive Elemente möglich. Lamellen können z. B. als Sonnenschutz, Blendenschutz oder als zusätzlicher Windschutz an der Fassade wirken.

Für eine hohe Marktrelevanz von Produkten geht es hierbei weniger um eine spezifische und herausragende Materialeigenschaft, als um den geschickten Mix von Eigenschaften, die sich untereinander in dem spezifischen Anwendungsgebiet positiv beeinflussen und verschiedene Funktionen übernehmen können.

Bestimmte Anforderungen an die Fassade können den Wunsch der Verwendung einer Technologie nach sich ziehen. Wärmerückgewinnung aus der Abluft ist z. B. nur durch eine geregelte Lüftung möglich. Damit sinkt der Bedarf an natürlicher Lüftung – allerdings dürfen die Nutzerbedürfnisse nicht vernachlässigt werden.

Eine solche technikintegrierte Gestaltung führt in der Regel zu einer klaren Trennung von Gebäudetechnik und Gebäude, was z. B. aus der unterschiedlichen Dauerhaftigkeit beider Elemente durchaus positiv bewertet werden kann. Hier kommen übergeordnete Aspekte der Nachhaltigkeit im Detail und die Materialwirkung der Einzeltechnologie ins Blickfeld. Beide Aspekte werden durch die Gestaltung des Gebäudes mitbestimmt.

Das Plusenergiehaus – Solar Decathlon 2007

Der Entwurf für das Solar Decathlon Haus 2007 der TU Darmstadt (*Abbildung 1*) basiert auf drei Grundprinzipien:

- flexible Nutzung für den Wettbewerb (2007 in Washington)
- Er soll eine eine Nachnutzung erlauben.
- Er soll ein integratives Energiekonzept ermöglichen.

Diese drei Grundprinzipien erzeugen eine einfache und ruhig anmutende Architektur.

1. Durch das Prinzip der **Schichtung** wird der Grundriss in verschiedene Zonen unterteilt, die sich im Zwiebelprinzip um einen inneren „Kern“ legen. Die unterschiedlich temperierten Schichten erlauben eine differenzierte Bespielung des Grundrisses je nach Jahreszeit.



Abbildung 1
Decathlon Haus 2007

Foto: TU Darmstadt

2. Der Innenraum des Gebäudes zeichnet sich durch ein hohes Maß an **Flexibilität** aus. Ein fließender Raum umgibt den inneren Raumkern, in dem Küche und Bad angeordnet sind. Durch intelligente Klapp- und Schiebensysteme lassen sich diese erweitern.
3. Ein weiteres prägendes Element des durch ein schlichtes Design geprägten Raums ist ein doppelter Boden. In diesem sind neben technischen Komponenten Möbel integriert. Nutzungen wie Wohnbereich und Bett lassen sich durch ein Klappsystem mit Bodenelementen überdecken. Es entsteht ein **vielfältig nutzbarer Raum**.

Das Haus demonstriert, dass Ästhetik und Wohnkomfort durchaus mit Energieeffizienz vereinbar sind. Der Grundriss entspricht den im Wettbewerb vorgeschriebenen ca. 74 m² Grundfläche. Das Haus kann in drei gleich große, transportierbare, Raummodule zerlegt werden. Die ganzheitliche und sinnvolle Kombination der einzelnen Subsysteme ist wichtig für ein optimiertes und innovatives Gesamtsystem, das Bauteile und Gebäudetechnik integriert und Synergien nutzt.

Passive Maßnahmen im Solar Decathlon Haus

Im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung des Gebäudes und einer integralen Planungsmethode sind bereits im Entwurfsprozess energetisch wichtige Parameter berücksichtigt worden:

- Zonierung des Grundriss nach Temperaturzonen
- kompakter Baukörper zur Optimierung der Hüllfläche
- sehr gute Wärmedämmung der Hülle (Vakuuminisolation, U-Wert < 0,1 W/m²K) und Fenster (3- bzw. 4-fach-Verglasung, U-Wert = 0,5 bzw. 0,3 W/m²K)
- große Fensterflächen im Süden für passive solare Gewinne in Kombination mit einem energetisch aktivierten Verschattungssystem
- PCM (Phase Changing Material) als thermische Speichermasse im Leichtbau

- Querlüftung in der Nacht zur Auskühlung der thermischen Speichermasse
- zusätzliches passives Nachtkühlsystem über die PV-Module
- optimale Tageslichtnutzung durch die Transparenz der Nordseite

Aktive Systeme

Erst wenn die passiven Systeme nicht mehr ausreichen, um den geforderten Wohnkomfort einzuhalten, werden diese durch aktive ergänzt:

- Energiegewinnung durch Photovoltaik
- Warmwasserbereitung mit solarthermischen Kollektoren
- Kühlen und Heizen mit einer reversiblen Wärmepumpe
- Lüftung mit Wärmerückgewinnung
- Energieeffiziente Haushaltsgeräte und Leuchten (z. B. LED)

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

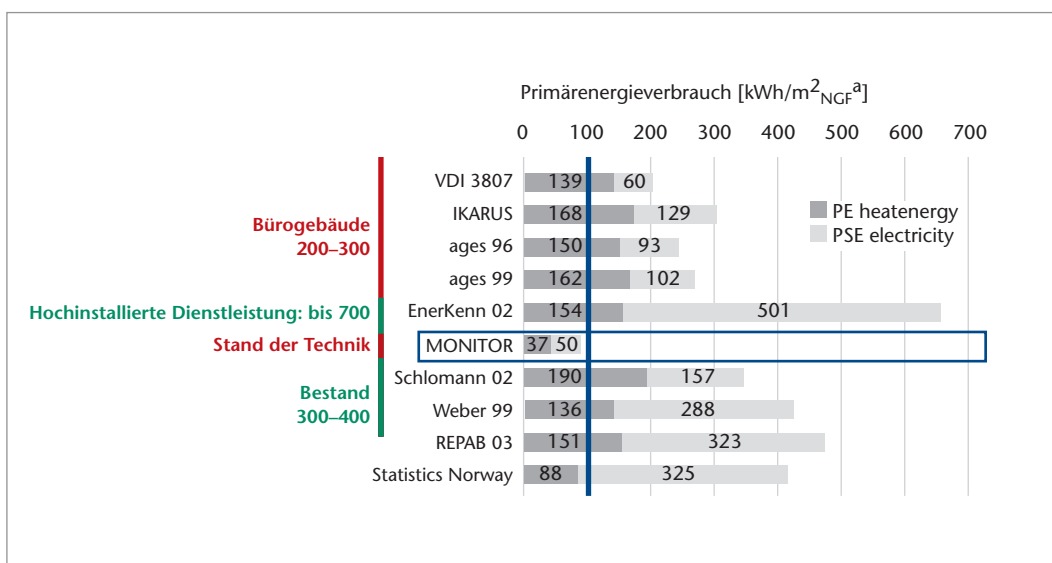


Abbildung 1
 Ergebnisse verschiedener Untersuchungen aus dem Förderprogramm EnBau verglichen mit Verbrauchswerten für Bürogebäude aus dem Bestand [1]

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 m² 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-

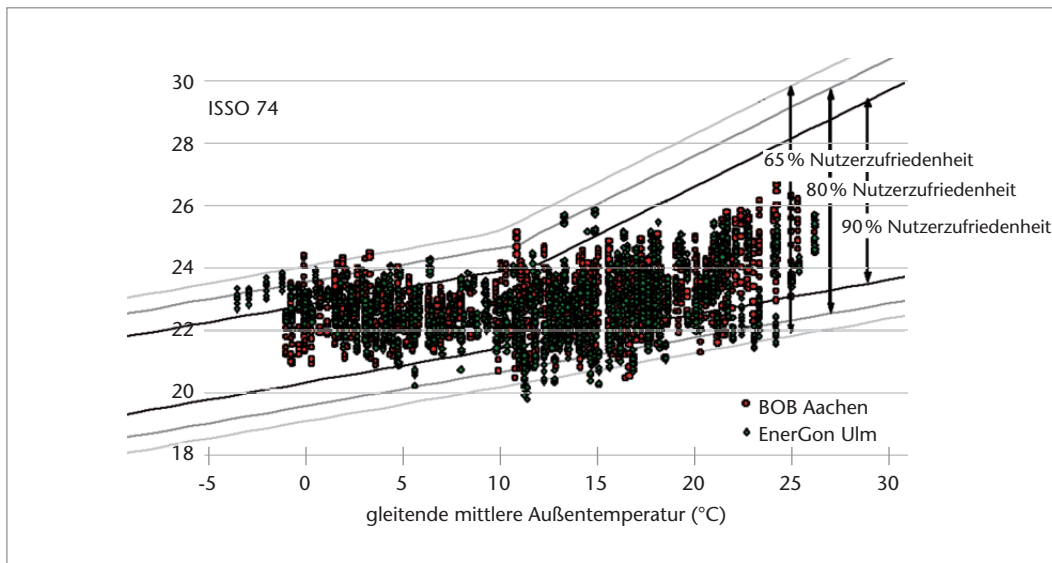


Abbildung 3

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/(m²a). Das entspricht einem Primärenergieverbrauch von 48,4 kWh/(m²a).

Als Besonderheit können die Büroräume in den Sommermonaten über einen Wasserkreislauf in der Fundamentplatte passiv gekühlt werden. Der Einsatz einer Sohlplattenkühlung¹ 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-

¹ 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].

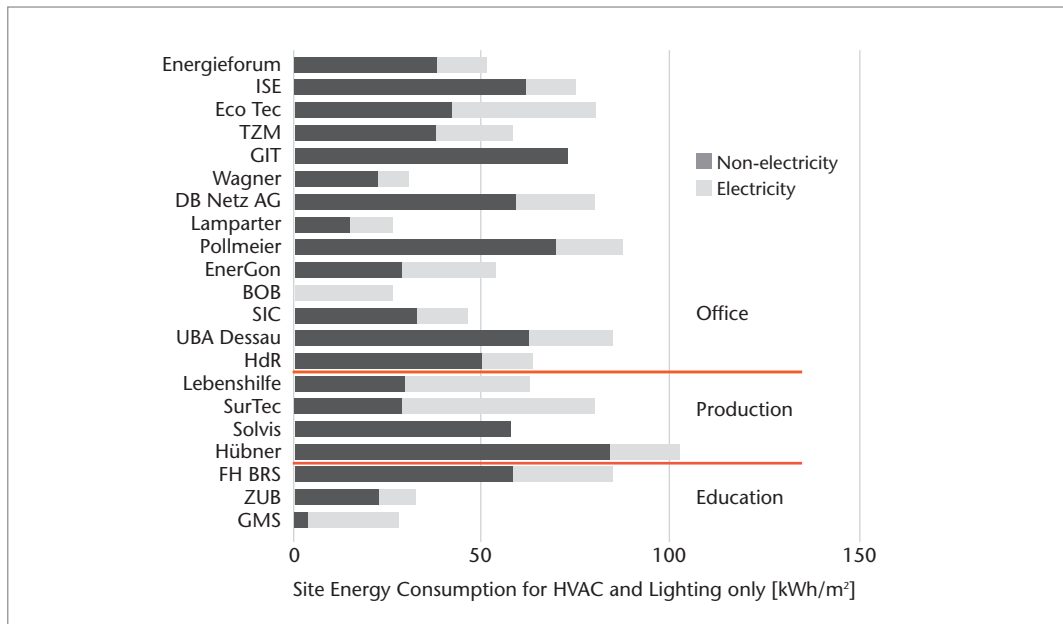
Der erste Bauabschnitt des ECN-Gebäudes 42 wurde 2000 gebaut (Abschnitt 2 und 3 sind in Vorbereitung). Das ebenfalls von BEAR-Architekten entworfene Gebäude war zu diesem Zeitpunkt das energieeffizienteste Gebäude der Niederlande. Ein Wintergarten mit integrierter PV-Verglasung dient auch hier als Schutz 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

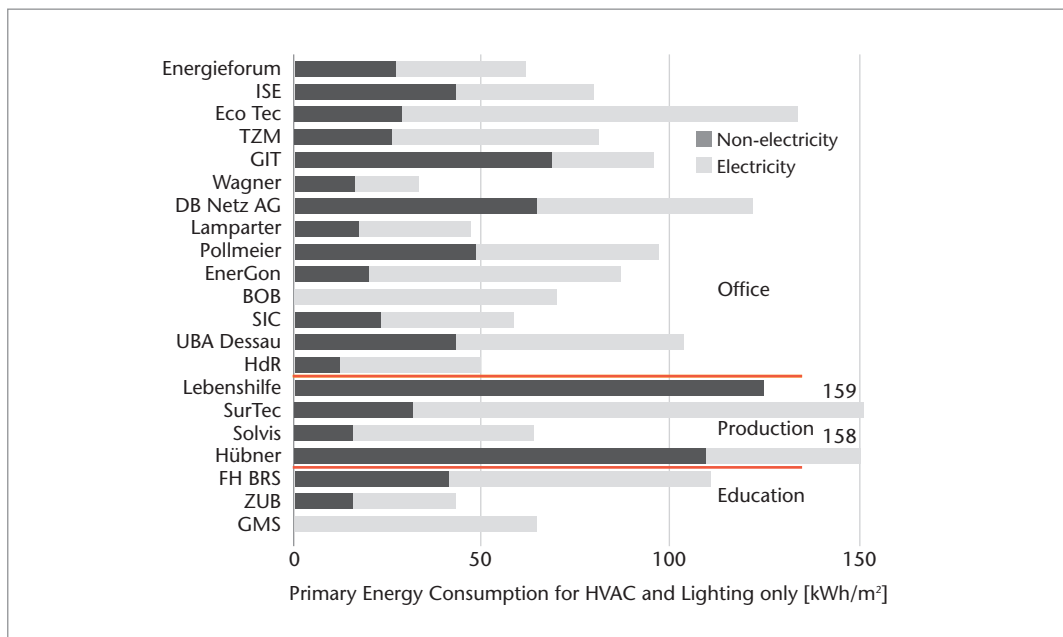
Bezüglich des sommerlichen Temperaturverhaltens muss sich das Gebäudekonzept zur passiven Kühlung an den Temperaturen in den Büros bei hohen Außentemperaturen orientieren. Die mehrjährigen Messkampagnen der Raumtemperaturen wurden für verschiedene Konzepte zur Gewährleistung des sommerlichen Raumklimas 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 Neubaulprojekte 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 sowie www.enob.info im Internet. Daten aus den Projekten sind unter 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.