

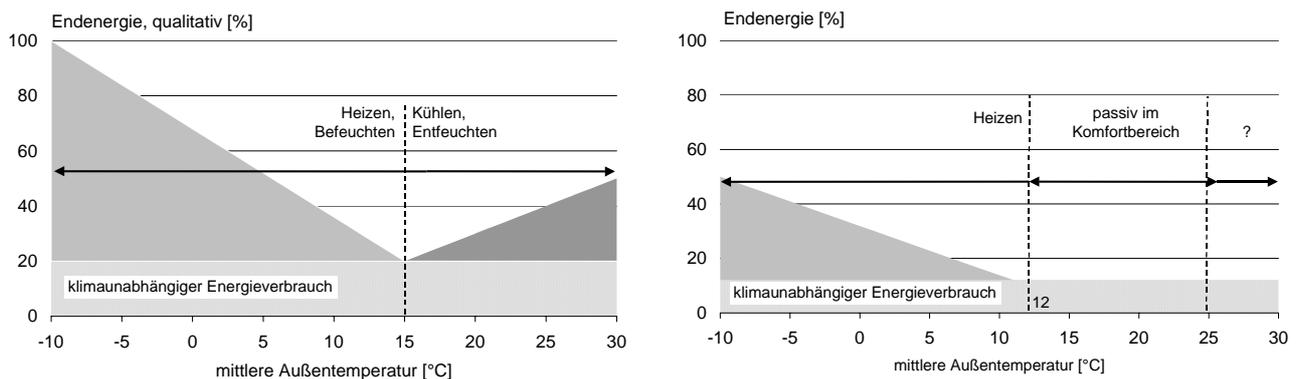
Energieeffizienz in Bürogebäuden - die KfW-Gebäude in Frankfurt am Main

Prof. Andreas Wagner, Fachgebiet Bauphysik und Technischer Ausbau
Universität Karlsruhe (TH), Englerstr. 7, 76131 Karlsruhe

Fon: (0721) 608-6511, Fax: -6092, Mail: wagner@fbta.uni-karlsruhe.de

Einleitung

Der Energieverbrauch von Bürogebäuden ist bislang nur selten zentraler Gegenstand des Interesses ihrer Bauherren und Planer. Primärenergiekennwerte von zum Teil über 500 kWh/m²a - nicht selten allein bedingt durch formale Gestaltungsansprüche - deuten darauf hin, dass der thermische und visuelle Komfort in Büroräumen offenbar nur über eine umfangreiche technische Gebäudeausrüstung (TGA) für Heizung, Lüftung, Klimatisierung und Beleuchtung aufrecht erhalten werden kann. Oft sind hohe Energieverbrauchswerte auch das Resultat von schlechter Betriebsführung bzw. Fehlplanungen und -funktionen technischer Anlagen. Aufgrund der notwendigen Auslegung auf - insbesondere bei großzügig verglasten Gebäudehüllen häufig auftretende - extreme Betriebszustände werden in Verbindung mit den Ansprüchen an eine zeitgemäße Rechner- und Kommunikationstechnik nicht selten 20 bis 30% des Bauwerksvolumens von der Technik eingenommen [1].



Qualitativer Verlauf des Endenergieverbrauchs eines Bürogebäudes aus dem Bestand mit mäßigem Wärmeschutz und aktiver Kühlung, links. Dargestellt ist die Abhängigkeit des Gesamtverbrauchs (TGA und Geräte) von der Außentemperatur auf der Basis von Tagesmittelwerten. Der klimaunabhängige Sockelbetrag resultiert aus der Geräteausstattung und dem Leerlaufbetrieb der TGA; er beeinflusst durch seine Abwärme die Lage der Gleichgewichtstemperatur: Bedingt durch die Entkopplung der Raumluft von der Gebäudemasse - abgehängte Decke, Doppelboden, Leichtbauwände - und das Ziel eines ganzjährig möglichst gleichmäßigen Innenraumklimas existieren in der Praxis kaum Tage, an denen weder geheizt noch gekühlt wird. Zeitweise wechseln sich Heizen und Kühlen im Tagesverlauf oder örtlich im Gebäude ab.

Energieeffiziente Bürogeräte, sinkende Luftwechselraten und ein hohes Maß an Tageslichtnutzung senken den klimaunabhängigen Energieverbrauch, rechts. Ein erhöhter Wärmeschutz reduziert den Heizwärmeverbrauch und senkt die Gleichgewichtstemperatur auf ca. 12°C. Oberhalb dieser Außentemperatur bleibt das Raumklima allein durch Maßnahmen der passiven Kühlung im Komfortbereich. Extremzustände können kurzzeitig Komforteinbußen bewirken [2].

Abb. 1 - Qualitativer Verlauf des Endenergieverbrauchs von Bürogebäuden

Zielführend für eine höhere Energieeffizienz in Bürogebäuden sind vor allem Ansätze, bei denen ein bauphysikalisch abgestimmter Entwurf und entsprechende baukonstruktive Maßnahmen schon maßgeblich das Raumklima und die Beleuchtungsverhältnisse prägen. Eine daran angepasste Gebäudetechnik sichert einen niedrigen Energiebedarf für Heizen, Lüften, Kühlen und Beleuchten, und die Integration erneuerbarer Energien in die Wärme- und Stromversorgung mindert den Energiebezug (Solarkollektoren, Biomasse) oder ersetzt in einer Bilanzbetrachtung einen Teil des Netzstrombezugs (Solarstromanlagen, Kraft-Wärme-Kopplung).

Dieses Vorgehen entspricht auch der Systematik der neuen EU-Verordnung zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden [3]. Mit dem Förderprogramm "Energie optimiertes Bauen (ENOB)" des BMWA wurden hierfür sowohl im Neubau als auch in der Bestandssanierung Vorläuferprojekte initiiert. Ausführliche Information dazu bieten die Internet-Portale www.solarbau.de und www.ensan.de. Abb. 2 zeigt beispielhaft die mögliche Zusammensetzung des Energiebezugs für einen Neubau aus dem Teilprogramm SolarBau mit einem Zielwert für den Primärenergiekennwert von 100 kWh/m²a. Bei der Verbesserung der Bau-substanz im Teilprogramm EnSan besteht das Ziel in der Halbierung des vorhandenen Primärenergieverbrauchs.

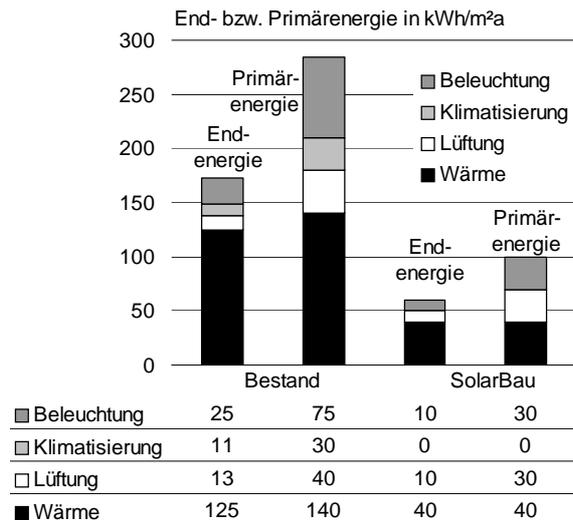


Abb. 2: Zielwerte des Förderprogramms verglichen mit Verbrauchswerten für Bürogebäude aus dem Bestand nach [4].

Die KfW-Gebäude in Frankfurt am Main

Neubau Ostarkade

Die Ostarkade, ein Erweiterungsbau der KfW Bankengruppe, beinhaltet fünf Bürogeschosse mit einer Netto-Geschossfläche von 8585 m², zwei abschließende Wohngeschosse sowie eine zweigeschossige Tiefgarage, die von der KfW zu zwei Dritteln bebaut wird. Büros und Wohnungen gruppieren sich um ein zentrales Atrium. Die KfW unterstützt die Nachhaltigkeit von Bauten durch die Vergabe von Fördermitteln und zinsgünstigen Darlehen für Umweltschutzmaßnahmen. Dementsprechend beauftragte sie für ihren Neubau ein in diesem Sinne vorbildliches Energie- und Wasserkonzept.

Die energetischen Merkmale des Gebäudes sind ein hoher Wärmedämmstandard (mittlerer U-Wert der Gebäudehülle 0,54 W/m²K), ein hohes Tageslichtangebot für die Arbeitsplätze sowie eine Fensterlüftung aller nicht schallbelasteten Arbeitsplätze über manuell bedienbare Dreh-Kipp-Fenster oder motorisch betriebene Oberlichter. Zur Begrenzung der sommerlichen Wärmelasten wurde ein moderater, für Tageslicht optimierter Verglasungsanteil in Verbindung mit neutralem Sonnenschutzglas gewählt. Darüber hinaus kommen ausschließlich Flachbildschirme mit einer geringen Wärmeabgabe zum Einsatz. Die Regulierung des sommerlichen Raumklimas in den Standardbüros erfolgt durch nächtliches Entladen der freiliegenden Speichermassen über eine freie Auftriebslüftung im Atrium (Abb. 3).

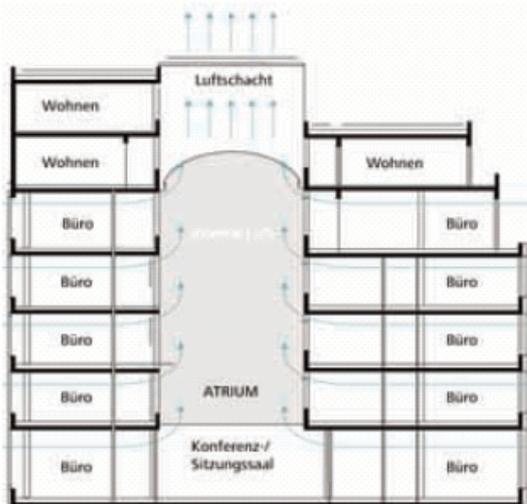


Abb. 3: Schnitt durch die KfW-Ostarkade und Ansicht des Gebäudes von Südosten. Die grünen Linien symbolisieren die Luftführung bei nächtlicher Auftriebslüftung. (Quellen: ip5, RKW)

In Räumen mit aktiver Kühlung (ein Fünftel aller Räume) wird der Kältebedarf hauptsächlich über eine Frischwasserkühlung abgedeckt. Als zusätzliche Kältequelle dient eine Kompressionskältemaschine. Die Beheizung des Gebäudes erfolgt zu ca. 90% über erneuerbare Energie in Form von Holzpellets, den restlichen Bedarf deckt eine Gas-Brennwert-Therme, welche nur im Spitzenlast-Betrieb hinzugeschaltet wird. Eine thermische Solaranlage ist für die Warmwasserversorgung der Kantine vorgesehen.

Revitalisierung der Hauptgebäude

Bei dem 1968 fertiggestellten Haupthaus der KfW handelt es sich um vier miteinander verbundene Hochhaustürme, deren Büroräume an den Ost- und Westseiten aufgereiht sind. Die momentan durchgeführte Sanierung war unter anderem wegen Anforderungen an den Brandschutz notwendig geworden. Dabei soll eine deutliche Verbesserung des energetischen Standards vorgenommen werden. Das Gebäude besitzt eine Netto-Geschossfläche von 21875 m².

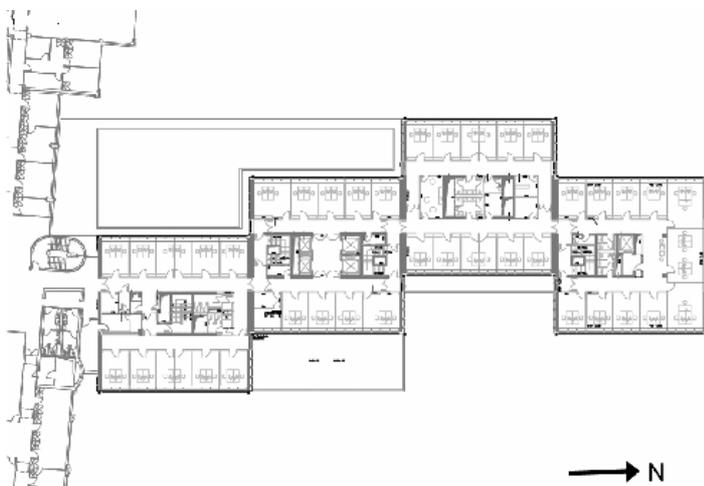


Abbildung 4: Grundriss und Ansicht des KfW-Haupthauses (Quellen: ip5, RKW)

Trotz schlechtem baulichen Wärmeschutz im Ausgangszustand (Dämmstoffstärke von 2,5 cm Mineralwolle, Isolierverglasung) betrug der Endenergieverbrauch für Heizen und Warmwasser nur 82 kWh/m²a. Der hohe g-Wert der Fenster bot im Sommer keinen ausreichenden Sonnenschutz und führte zur Überwärmung der Räume.

Die Anlagentechnik, bestehend aus Blockheizkraftwerk und Gaskessel für die Wärmeversorgung sowie Absorptions- und Kompressionskältemaschine für die Kälteerzeugung, befindet sich in gutem Zustand und soll weiter verwendet werden. Die Kältemaschinen dienen zur Kühlung des Vorstandsbereichs, von Konferenzräumen und Serverräumen; z.T. werden auch Räume in anderen Gebäuden versorgt. Die Standardbüros werden nicht klimatisiert; die Lüftung erfolgte bislang manuell über die Fenster.

Der auf Basis von Verbrauchswerten rechnerisch ermittelte Gesamtenergiebedarf lag bei etwa 164 kWh/m²a. Durch die Nutzung des BHKW's fällt die primärenergetische Bewertung im Vergleich mit Bürogebäuden aus dem selben Zeitraum mit 245 kWh/m²a schon relativ günstig aus. Typisch für Bürogebäude ist der hohe Anteil von Beleuchtung und Klimatisierung am Primärenergiebedarf.

Das Sanierungskonzept sieht aus energetischer Sicht folgende Verbesserungen vor:

- Erhöhung des Dämmstandards der Gebäudehülle;
- Verbesserte Tageslichtautonomie bei verringertem sommerlichen Solarstrahlungseintrag;
- Verringerung des Kühlenergiebedarfs durch Nutzung der Nachtauskühlung in den Standardbüros;
- Vergrößerung der thermisch wirksamen Masse zur besseren Nutzung der Nachtauskühlung;
- Umrüstung auf energieeffiziente mechanische Lüftung über einen zentralen Abluftventilator. Die Zuströmung der Außenluft erfolgt über regelbare Fassadenelemente.

An der primärenergetisch günstigen Wärmeenerzeugung durch BHKWs im Bestand soll festgehalten werden, ebenso an der Kälteerzeugung, die unter Umständen lediglich durch einen Ausbau der Rückkühlleistung etwas verändert wird. Der Kühlbedarf der Serverräume soll durch ihre Verlegung nach Außen so weit wie möglich durch Außenluft gedeckt werden. Mit Stand der Entwurfsplanung vom März 2003 wurde der zukünftige Primärenergiebedarf auf 117 kWh/m²a prognostiziert und liegt damit etwa 48% unter dem des nicht sanierten Gebäudes. Der Abschluss der Sanierungsarbeiten und der Wiederbezug des Gebäudes sind für Herbst 2005 geplant. In einer zweijährigen Monitoring-Phase werden bis Ende 2007 von der Universität Karlsruhe die wichtigsten Energieverbräuche und Raumklimakenngrößen erfasst und mit den Planungsdaten verglichen.

Ergebnisse aus dem Betrieb des Neubaus KfW-Ostarkade

Im Rahmen einer wissenschaftlichen Begleitung des oben beschriebenen Projekts durch die Universität Karlsruhe war zunächst zu prüfen, ob der Zielwert des Förderprogramms SolarBau erreicht wurde. Dabei ist grundsätzlich zu beachten, dass unter idealisierten Bedingungen (Nutzerverhalten, Klima) errechnete Bedarfswerte und reale Verbrauchswerte nur bedingt kompatibel sind. Weiterhin wird der Energieverbrauch in der KfW-Ostarkade zu einem nicht vernachlässigbaren Anteil durch die Tiefgarage mit z.T. sehr spezifischen Nutzungsanforderungen (z.B. Autowaschplätze) bestimmt. Neben Energiekennwerten ist der Komfort am Arbeitsplatz weiterer Bestandteil der Untersuchungen.

Der gemessene Heizenergieverbrauch (Endenergie) lag im ersten Jahr des Messzeitraums mit 64 kWh/m²a über dem Zielwert von 40 kWh/m²a. Die Hauptgründe für den erhöhten Verbrauch sind höhere Temperaturanforderungen seitens der Nutzer in den Büros, eine Beheizung des Atriums, u.a. auch über offen stehende Türen zu den Büroräumen, erhöhte Infiltrationsverluste sowie anlagentechnische Probleme in der ersten Betriebsphase. 6% des Verbrauchs sind der Tiefgarage zuzuschreiben.

Der Energieverbrauch für die Luftförderung liegt - auch unter Einbezug der in den ursprünglichen Berechnungen nicht berücksichtigten Luftmengen für die Tiefgarage - in der prognostizierten Größenordnung. Grund dafür ist der hohe Anteil an Büroräumen, die individuell über Fenster gelüftet werden können sowie die auftriebsgeführte Nachtlüftung zur Entladung der Speichermassen.

Deutlich niedriger als berechnet (12%) stellt sich der Energieverbrauch für künstliche Beleuchtung dar, was auf eine sehr gute (Tages-) Lichtplanung zurückzuführen ist. Weiteres Optimierungspotenzial besteht bei der (zeitlichen) Steuerung der künstlichen Beleuchtung in den Fluren und in Konferenzbereichen.

Ein sehr hoher Energieverbrauch wurde für die Kältebereitstellung festgestellt, der überwiegend auf einem nicht optimierten Betrieb - z.B. bei Umluftkühlern in Serverräumen - und der noch nicht aktivierten Frischwasserkühlung beruht. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Ostarkade trotz eines noch erschließbaren Verbesserungspotenzials, vor allem in der Betriebsführung der technischen Anlagen, in die Reihe von sehr energieeffizienten Bürogebäuden einzuordnen ist (vgl. Abb. 6). Es kann davon ausgegangen werden, dass die angestrebten Zielwerte (siehe Abb. 2) nach Abschluss der laufenden Optimierungsphase erreicht werden (siehe auch www.kfw-monitoring.de).

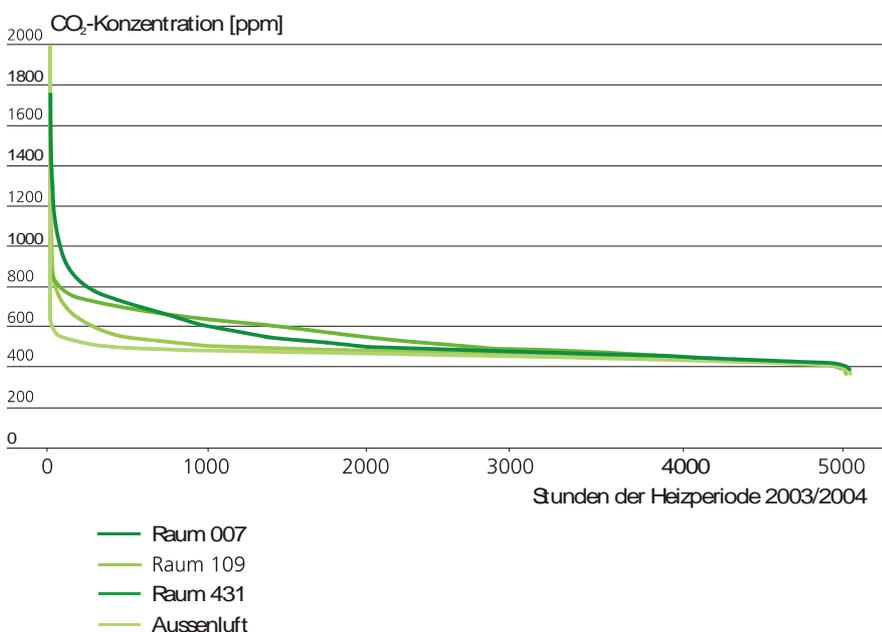


Abb. 5: Jahresdauerlinien der CO₂-Konzentration für drei Büroräume mit Fensterlüftung in der KfW-Ostarkade für die Heizperiode 2003/2004. Die Konzentrationen bleiben über den Großteil der Zeit unterhalb von 800 ppm (Pegel der Außenluft etwa 500 ppm) und eine Überschreitung des Grenzwerts von 1500 ppm tritt in maximal 50 Stunden auf. (Quelle: fbta, Universität Karlsruhe)

Hinsichtlich der Komfortuntersuchungen wurde ein besonderes Augenmerk auf die CO₂-Konzentrationen in den ausschließlich über Fenster gelüfteten Büros gelegt sowie auf die Raumtemperaturen in dem extremen Sommer 2003. Abb. 5 zeigt, dass über Fensterlüftung auch in Bürogebäuden eine hohe Luftqualität erreicht werden kann. Zusätzliche Auswertungen in der Ostarkade unterstreichen, dass dies insbesondere auch im Winter zutrifft, obwohl dann die Fensteröffnungszeiten deutlich kürzer sind.

Hinsichtlich der Raumtemperatur im Sommer 2003 wurden 14 Räume ausgewertet. In 10 Räumen blieb die Temperatur über 98% der gesamten untersuchten Anwesenheitszeit unterhalb des gesetzten Grenzwerts; dieser wurde auf 26°C bei Außentemperaturen bis 32 °C festgelegt und darüber gleitend mit einer Differenz von 6 Kelvin zur Außentemperatur. Während einer extremen Hitzeperiode von 12 Tagen mit einer maximalen Außentemperatur von 41°C stieg die Raumtemperatur eines richtig "betriebenen" Raumes nicht über 28°C. Damit konnte der Nachweis erbracht werden, dass passive Kühlung und freie Lüftung auch unter den Anforderungen eines Bankgebäudes funktionieren und eine hohe Arbeitsplatzqualität erreicht werden kann, wenn die Nutzer die angebotenen Regelungsmöglichkeiten wahrnehmen.

Ergebnisse aus dem Förderprogramm SolarBau

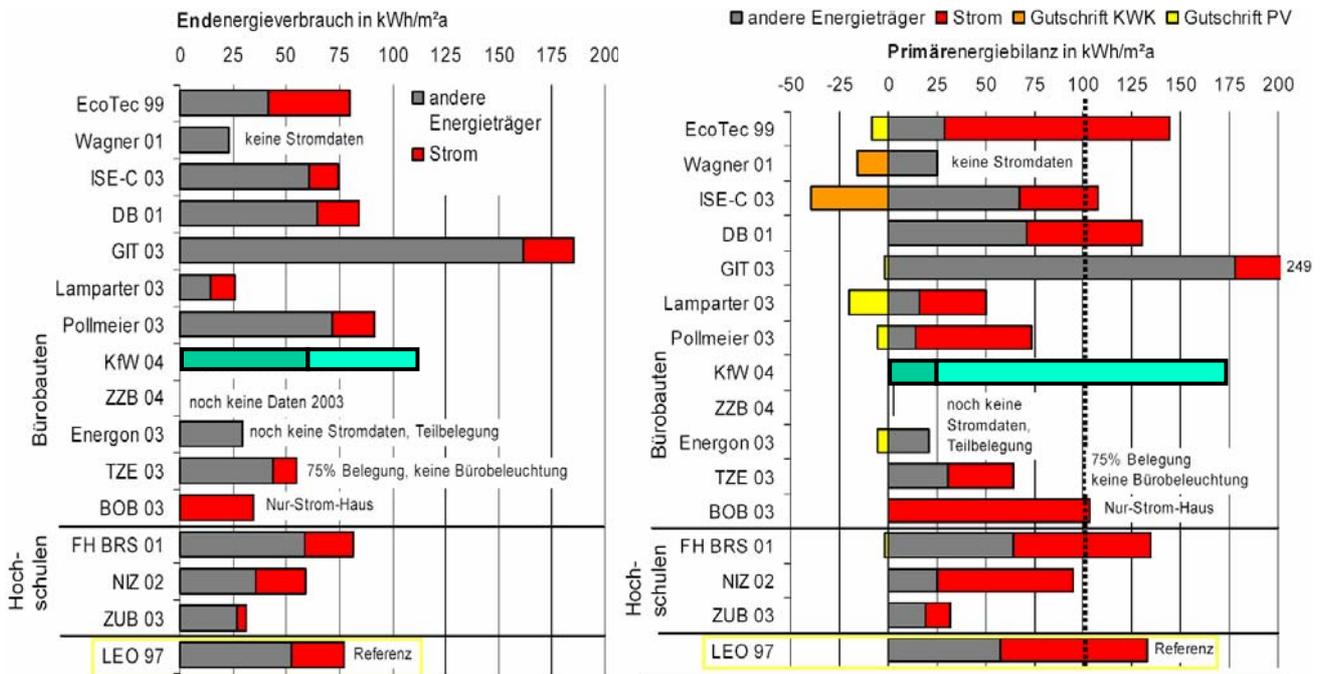
Abb. 6 fasst die Ergebnisse von Projekten aus dem Förderprogramm mit überwiegend büroähnlicher Nutzung zusammen. Zwei Drittel der Gebäude bleibt mit den Messergebnissen unterhalb des Zielwertes von 100 kWh/m²a Primärenergie. Der Primärenergiekennwert der KfW-Ostarkade liegt momentan ohne Einbezug der Tiefgarage bei 172 kWh/m²a. Gut erkennbar ist die primärenergetische Relevanz der Holzpelletnutzung im Sektor Wärmebereitstellung (Abb. 6: andere Energieträger). Einige Projekte zeigen deutlich, dass durch eine konsequente Synergie von Energieeinsparung und Kraft-Wärme-Kopplung bzw. Nutzung erneuerbarer Energie noch wesentlich niedrigere Werte erreichbar sind. In einer Bilanzbetrachtung rückt das Ziel des „Nullemissionsgebäudes“ in greifbare Nähe.

Die Planung, Realisierung und Evaluierung von Bürogebäuden unter Maßgabe eines ganzheitlichen Primärenergiezielwerts für Heizen, Lüften, Klimatisieren und Beleuchten hat belastbare Ergebnisse auf einem in dieser Breite und Konsequenz noch neuen Arbeitsgebiet ergeben. Ein Primärenergieverbrauch in der Größenordnung von 100 kWh/m²a ist im Neubau ohne höhere Investitionskosten erreichbar. Die Umsetzung der Niedrigenergie- bzw. Passivhausbauweise vom Wohnungsbau auf den Nichtwohnungsbau erwies sich als weitgehend problemlos. Wenngleich nicht alle Gebäude den Zielwert des Heizwärmeverbrauchs von 40 kWh/m²a unterschreiten, sind sämtliche Verbrauchswerte erfreulich niedrig. Besonders eindrucksvolle Ergebnisse lieferten hierbei die realisierten Passivhäuser. Die Erweiterung der Betrachtung auf den Stromverbrauch bestimmte maßgeblich die Planung der Lüftungs-, Kälte- und Lichttechnik. Als sehr aufwändig zeigte sich die Erfolgskontrolle durch nutzungsdifferenzierte Stromverbrauchsmessungen. Hier müssen in Zukunft neue Wege beschritten werden.

Als richtungweisend erwies sich die Anforderung, auf die aktive Kühlung durch kältetechnische Anlagen zu verzichten. Die bisher ausgewerteten Projekte zeigen relativ gute Ergebnisse hinsichtlich ihres sommerlichen Temperaturverhaltens und damit verbunden der Nutzerakzeptanz.

Die Monitoring-Projekte der Hochschulen und Institute wurden in vielen Fällen zum Ersatz einer unzureichenden Qualitätssicherung während der Bauphase und der Inbetriebnahme der Gebäude und insbesondere deren Gebäudeleittechnik. Angesichts dessen ist zu er-

warten, dass vielfach vorhandene Potenziale zur Energieeinsparung oder Verbesserung des Raumklimas in der Breite der Baupraxis ungenutzt bleiben. Der nachträgliche Einbau einer Klimaanlage oder dezentraler Klimageräte erscheint oft einfacher, als ein prinzipiell funktionsfähiges Gebäude in den planungsgemäßen Zustand zu bringen.



Endenergie- (links), und daraus abgeleitete Primärenergiekennzahlen (rechts). Primärenergiefaktoren basieren auf DIN4701/10. Zur Vereinfachung der Bilanzierung wurde Solarstrom (PV) mit der gleichen Stromgutschrift wie die Kraft-/Wärmekopplung (KWK) bewertet, Biomasse für Heizzwecke erhält den Primärenergiefaktor 0,2. Die Verbrauchswerte beziehen sich auf die gesamte TGA für Heizen, Lüften, Kühlen und Beleuchten. Die Jahreszahlen hinter den Projektkürzeln weisen auf das Bezugsjahr der Messwerte hin. Eine Gradtagsbereinigung erfolgte nicht. Datenquelle ist jeweils die mit dem Messprogramm beauftragte Hochschule, siehe Anhang. Die Daten zum Projekt GIT kennzeichnen den noch mangelbehafteten Zustand im ersten Betriebsjahr.

Abb. 6: Endenergie- und Primärenergiekennwerte ausgewählter Gebäude aus dem Förderprogramm SolarBau mit büroähnlicher Nutzung.

Dank

Die Projekte der KfW werden unter den Förderkennzeichen 0335007F (KfW-Ostarkade) und 0035007S (Revitalisierung der Hauptgebäude) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit gefördert. Das Begleitforschungsprojekt zum Förderprogramm SolarBau wird unter dem Förderkennzeichen 033506J bzw. 0335007C vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit gefördert. Weiterer Dank gilt den Projektteams der Demonstrationsprojekte für die gute Zusammenarbeit, insbesondere für die Bereitstellung von Beschreibungen und Daten. Für die dargestellten Messwerte aus dem Förderprogramm SolarBau sind die jeweiligen Hochschulen und Institute verantwortlich.

Literatur:

[1] Leibundgut H.: Neue Gebäude mit leichtem Gepäck, Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 26, S. 16-20, 2000

[2] Voss K., Löhnert G., Wagner A., Energieeinsatz in Bürogebäuden, Bauphysik Jg. 25, Heft 3 und 6, 2003

[3] Directive 2002/91/EC on the Energy Performance of Buildings of 16.12.2002, Official Journal of the European Communities, 4.1.2003

[4] Weber L.: Energie in Bürogebäuden – Verbrauch und Energie relevante Entscheidungen, vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, CH, 2002