

Gebäude sanieren – Bürohochhaus der sechziger Jahre



- ▶ **Endenergieverbrauch für Beleuchtung um mehr als zwei Drittel gesenkt**
- ▶ **Endenergieverbräuche für Heizung und Lüftung überschreiten im ersten Betriebsjahr die Zielwerte – Ursachen sind geänderte Nutzungsverhältnisse und Abweichungen bei der Regelung**
- ▶ **Innovativer Sonnenschutz dient gleichzeitig als Gestaltungselement**
- ▶ **Effizienz des Kraft-Wärme-Kälteverbunds in der Gesamtliegenschaft beeinflusst die Primärenergiebilanz maßgeblich**

Nicht nur optisch, sondern auch energetisch ein Gewinn: die neue Fassade

Bürogebäude der sechziger und siebziger Jahre sind oft in vielerlei Hinsicht nicht mehr zeitgemäß. Weder das äußere Erscheinungsbild noch der Arbeitsplatzkomfort entsprechen heutigen Anforderungen und Möglichkeiten. Auslöser für eine Sanierung sind häufig allerdings erst Bauschäden oder gesetzliche Auflagen. Stehen Baumaßnahmen an, sollte nicht allein Wert auf Äußerlichkeiten gelegt werden: Eine grundlegende Modernisierung kann durch eine engagierte Planung optimale Lösungen für die energetische Qualität, den Nutzerkomfort und die Gestaltung miteinander vereinen. Ein Beispiel dafür bietet das Hauptgebäude der KfW Bankengruppe in Frankfurt am Main.

Das Büroturm-Ensemble entstand Ende der sechziger Jahre. Man sah den Gebäuden an, dass außer an der Haustechnik seitdem keine größeren Änderungen vorgenommen worden waren. Neue Auflagen zum Brandschutz machten eine Sanierung zwingend erforderlich. Der Bauherr wollte dabei von Anfang an nicht nur eine Verbesserung der gestalterischen und räumlichen Qualität erreichen, sondern im Rahmen einer integralen Planung auch ein Beispiel für seine Förder-

ziele im Bereich Umwelt- und Klimaschutz setzen.

Die wichtigsten Eckpfeiler des Energiekonzeptes sind eine innovative Fassade mit deutlich verbessertem winterlichen und sommerlichen Wärmeschutz, Kälte- bzw. Wärmeerzeugung über Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung, Belüftung und sommerliche Nachtlüftung über eine Abluftanlage, eine optimierte Tageslichtnutzung sowie eine präsent- und tageslichtabhängige Kunstlichtregelung.

Im Zuge der Sanierung wurden auch der Innenraum umstrukturiert und alle Möglichkeiten für eine Erweiterung ausgeschöpft: Ein Gebäudeteil wurde um drei Etagen aufgestockt und im Erdgeschoss ein repräsentativer Eingangsbereich mit Sitzungs- und Veranstaltungsräumen geschaffen.

Nach vierjähriger Bauzeit wurden die Räume ab Herbst 2006 wieder schrittweise bezogen. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) fördert im Rahmen seines Forschungsbereichs „Energetische Sanierung der Bausubstanz“ (EnSan) die detaillierte Erfassung und Auswertung von Messdaten des Projektes. Sie läuft seit Februar 2007, erste Rückschlüsse lassen sich bereits ziehen.

► Das Gebäude

Abb. 2: Grundriss Regelgeschoss



Das Ensemble besteht aus vier miteinander verbundenen Bürotürmen mit 10 bis 15 Stockwerken. Ursprünglich strukturierten Senkklassfenster und schmale Putzbalkone die Fassaden. Die Außenwand war nur gering gedämmt. Die nicht mehr zeitgemäße Ver-

glasung führte im Sommer zu einer Überwärmung der Räume und im Winter zu hohen Wärmeverlusten.

Im Zuge der Sanierung wurden die Balkone entfernt, um mehr Tageslicht zu gewinnen, und die Fassade komplett zurückgebaut.

Abb. 3: Ausgewählte Gebäudekennwerte

	Baujahr 1965-1968	Sanierung 2003-2006
Baukonstruktion	Stahlbetonskelettbau	
Vorhangfassade	Naturstein	Glas
Bruttogrundfläche	ca. 23.600 m ²	ca. 26.000 m ²
Nettogrundfläche, beheizt	19.470 m ²	21.875 m ²
Bruttorauminhalt	78.851 m ³	98.656 m ³
A/V-Verhältnis	0,163 m ¹	0,19 m ¹
U-Wert Fassade	1,1 W/(m ² K)	0,28 W/(m ² K)
U-Wert Fenster	2,9 W/(m ² K)	1,4 W/(m ² K)
g-Wert Fenster	0,63	0,43
U-Wert Dach	0,79 W/(m ² K)	0,21 W/(m ² K)
Arbeitsplätze	475	575

Übrig blieb nur der tragende Rohbau, der jetzt mit gut dämmenden, großformatigen Fassadenelementen verkleidet ist.

► Ausgeklügelter Sonnenschutz

Entscheidungen hinsichtlich des Sonnenschutzes wirken sich nicht nur auf die Wärmelasten, sondern auch auf den Stromverbrauch für Kunstlicht aus. Zudem beeinflussen sie den Sichtbezug nach außen, der für das Wohlbefinden am Arbeitsplatz eine entscheidende Rolle spielt.

Abb. 4: Einzelbüro mit aktiviertem Blend- und Sonnenschutz



In Anlehnung an die früheren Klappfenster entwickelte das Planungsteam ein innovatives Sonnenschutzelement aus zwei Glasscheiben mit einlaminiertem Streckmetall. Unbenutzt liegt es vor der Brüstung des jeweils darüberliegenden Geschosses. Zum Schutz vor Sonneneinstrahlung kann es abgelenkt und zusätzlich im herabgefahrenen Zustand ausgeklappt werden (Abb. 6). Das speziell gezogene Streckmetall ermöglicht noch eine schemenhafte Durchsicht und lässt diffuses Tageslicht, aber nicht zu viel Sonnenwärme in den Raum.

Bei zu hoher Einstrahlung auf die Fassade fährt der Sonnenschutz automatisch herunter, geregelt über eine gebäudeeigene Wetterstation und einen Verschattungskalender. Der Nutzer kann das Element aber auch nach eigenen Wünschen steuern. Im Raum ergänzt

Abb. 5: Die beweglichen Sonnenschutzelemente beleben die Fassade.



den Sonnenschutz ein von unten nach oben verfahrbarer Blendschutz aus Stoff.

Software für das Monitoring

Bestehende Programme zur Datenanalyse sind oft komplex und nicht optimal auf Gebäudemonitoring und Betriebsoptimierung zugeschnitten. An der Universität Karlsruhe wurde deshalb eine einfach zu handhabende Software entwickelt, die bei diesem und drei weiteren Modellprojekten erfolgreich eingesetzt wird.

Grundlage ist eine genormte Datenbank, die verschiedene Daten ungeachtet der Messintervalle und Anzahl der Datenpunkte erfasst. Einzig

erforderlich ist eine Differenzierung des Datentyps: Mengen (wie Heizenergie), Echtzeit-Werte (wie Temperaturen) oder Zustände (wie die Position des Sonnenschutzes). Die Werte aus der Datenbank lassen sich unterschiedlich darstellen: als Standard-Diagramme, aber auch als Punktwolken, Carpet-Plots oder Häufigkeitskurven.

Verschiedene plakative Darstellungsformen ermöglichen schnell einen Überblick über den Zu-

stand der Gebäudetechnik. Weiterhin werden in einer Tabelle alle Messpunkte mit dem Mittelwert ihrer zurückliegenden Werte verglichen, um so ungewöhnliche Mehr- oder Minderverbräuche, farblich markiert, zu identifizieren.

Die Software selbst kann durch eine Plausibilitätskontrolle falsche Werte und Ausfallzeiträume bis zu einem gewissen Umfang erkennen. Darüber hinaus kann der Anwender selbst solche Fehler korrigieren.

► Beleuchtung

Den Löwenanteil der für die Gebäudetechnik eingesetzten Primärenergie verbrauchte im Ausgangszustand die Beleuchtung. Deshalb wurde zuerst die Tageslichtsituation verbessert: durch den Verzicht auf die Balkone und durch den neuen Sonnenschutz, der auch im geschlossenen Zustand eine natürliche Belichtung ermöglicht. Das Kunst-

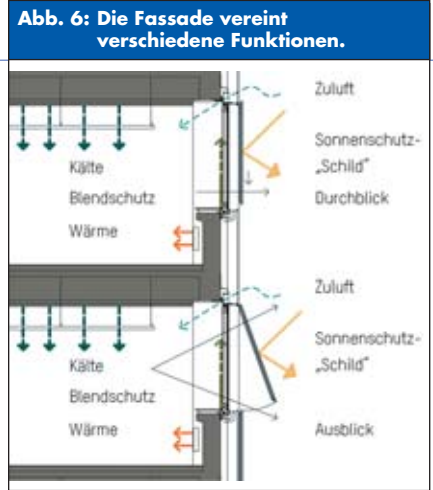
licht wird situationsangepasst geregelt: Ein intelligentes System mit Präsenzmelder und Beleuchtungssensor ergänzt das einfallende Tageslicht am Arbeitsplatz bei Bedarf auf die gewünschte Beleuchtungsstärke. Vergisst der Nutzer, bei Verlassen des Raumes das Licht auszuschalten, übernimmt dies die Gebäudeleittechnik 15 Minuten später.

Die installierte Kunstlichtleistung beträgt 16 W/m² in den Büros und 6 W/m² in den Fluren. In den Bürobereichen sind abgependelte Prismenglasleuchten mit Direkt-/Indirektanteil eingesetzt.

► Lüftung, Kühlung und Heizung

Vor der Sanierung wurden Vorstandsbereich, Konferenz- und Serverräume klimatisiert. Die Belüftung der Standardbüros erfolgte ausschließlich über die Fenster. Niedrige Deckenhöhen und zahlreiche Unterzüge standen der Realisierung einer energieeffizienten, zentralen Zu- und Abluftanlage im Weg, so dass die Zuluft auch weiterhin über die Fassade in das Gebäude gelangt. Allerdings ist die Lösung nun komfortabler und energieeffizienter: Oberhalb jeden zweiten Fensters befindet sich ein motorisch gesteuerter Zuluftspalt. Seine außentemperaturabhängige Regelung verringert Energieverluste an kalten und den zusätzlichen Wärmeeintrag an warmen Tagen. Die Abluft wird durch die Schattenfugen der abgehängten Decken über Kanäle in jedem Turm zentral abgesaugt. Die Betondecken als thermische Speichermasse freizulegen, war aus schall- und brandschutztechnischen sowie gestalterischen

Aspekten nicht zweckmäßig. Deshalb besitzen alle Büros Kühldecken. Ergänzt durch sommerliche Nachtlüftung konnte deren Auslegung und Betriebszeit gering gehalten werden. Nur wenige Bereiche mit erhöhten Kühllasten sind vollklimatisiert. Zur Beheizung der Büroräume dienen konventionelle Radiatoren. Bereits seit 1997 ergänzen drei Blockheizkraftwerke die zwei bestehenden Gaskessel zur Beheizung der Hochhaustürme und eines weiteren Bürogebäudes. Im Rahmen der Sanierung wurden die Gaskessel durch Brennwärtekessel ersetzt. Vier Absorptionskältemaschinen nutzen die Abwärme der BHKWs oder, wenn notwendig, auch die Kessel zur Erzeugung der Kälte. In der Sommerperiode werden außerdem Kompressionskältemaschinen zugeschaltet. Um die Kälte- und Wärmeerzeuger bedarfsabhängig immer optimal zu betreiben und so die Primärenergiebilanz zu verbessern, hat der Bauherr die



Anlagen der Liegenschaft zu einem Verbund zusammengeführt. Entscheidend wird der Beitrag der BHKWs sein – aufgrund der Gutschrift für die Stromerzeugung sowie der Abwärmenutzung zur Kälteerzeugung.

► Messergebnisse

Insgesamt ist der Endenergieverbrauch im Jahr 2007, über das sich auch die Inbetriebnahme hinzog, noch hoch – besonders für Lüftung und Heizung. Einfluss auf die Ergebnisse hat die deutlich längere Nutzungszeit einiger Bereiche: beispielsweise wird die Halle häufiger für Veranstaltungen genutzt als erwartet. Die Lüftungsanlage dort erreichte im Jahr 2007 ca. 2.000 Volllaststunden statt angenommener 600.

Beleuchtung: Durch die Effizienzmaßnahmen sank der Energieverbrauch für Beleuchtung um ca. 70%. Dies entspricht den Berechnungen. Messungen zeigen, dass die tageslichtabhängige Kunstlichtregelung in den Büros gut funktioniert. Da der Planwert noch vergleichsweise hoch ist, wird an weiteren Verbesserungen gearbeitet: So wurden beispielsweise in den Fluren die Zeitschaltprogramme durch eine Regelung über Präsenzmelder ersetzt.

Lüftung: Die Luftförderung verbraucht fast doppelt so viel Energie wie berechnet. Als eine Ursache wurde festgestellt, dass der zentrale Abluftventilator auch in Nächten während der Heizperiode Strom verbraucht

Abb. 7: Endenergiekennwerte (bezogen auf die beheizte NGF von 21.875 m²)

	Bestand [kWh/(m ² a)]	Ziel [kWh/(m ² a)]	Messung 2007 [kWh/(m ² a)]
Heizen	82,3	43,2	145,5
WW-Bereitung		1,0	3,5
Diverse Technik	12,5	10,6	
Lüften	21,0	4,0	10,7
Kühlen		14,6	27,8
Beleuchten	47,7	15,8	13,3
Gesamt	163,5	89,1	200,8

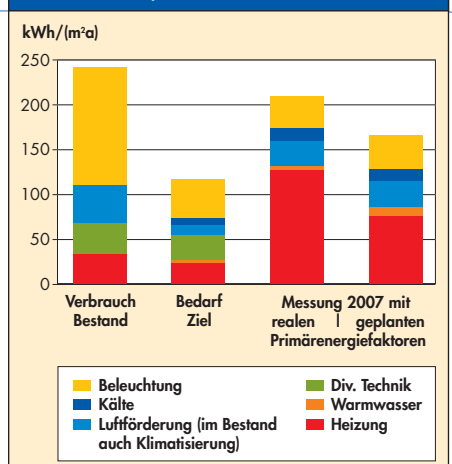
und somit einen Luftwechsel induziert. Außerdem wurde die Regelung noch nicht wie vorgesehen umgesetzt: Einige Ventilatoren liefen lange Zeit unbemerkt im Dauerbetrieb statt zeitgesteuert. Im Juli 2008 wurde die Regelungsstrategie korrigiert, wodurch beispielsweise der Verbrauch einer Abluftanlage um 60% sank.

Heizung: Ein Grund für den hohen Verbrauch von 145 kWh/m²a ist die durchschnittliche Raumtemperatur in den Büros von 22 °C, die 2 K über den Annahmen liegt. Ausgehend von 20 °C, erhöhte sich bereits der Heizwärmebedarf in der Prognose von 43 auf 50 kWh/(m²a) (Endenergie). Einen Anteil haben auch die Aufzugsschächte, die aufgrund des Brandschutzes auf dem Dach zur Außenluft geöffnet waren. 2008 wurden hier Jalousieklappen eingebaut. Laut Berechnungen senkt das die Infiltrations-Luftwechselrate um 0,1 h⁻¹ und die benötigte Heizenergie um 7 kWh/(m²a).

Kühlung: Auch der Endenergieverbrauch für die Kühlung liegt über den Vorhersagen. Zwei Absorptionskältemaschinen arbeiteten 2007 aufgrund von technischen Problemen und langen Wartezeiten für Ersatzteile nicht. Die übrigen beiden lieferten nur 27% der Kühlenergie, den Rest übernahmen die elektrisch betriebenen Kompressionskältemaschinen. 2009 sollen die defekten Absorptionskältemaschinen wieder in Betrieb gehen.

Im Vorstandsbereich wird vornehmlich energieintensiv über die Zuluft gekühlt, seltener über die Kühldecken. Hier müsste die Regelungsstrategie angepasst werden.

Abb. 8: Primärenergiebilanz: Ausgangswerte, Zielwerte und erreichte Werte



Primärenergiebilanz: Die relativ neuen Anlagen stellten die Wärme auch vor der Sanierung schon effizient und ressourcenschonend zur Verfügung. Aufgrund von Bauarbeiten im Gebäude und der Umstrukturierung zu einem Verbund konnten 2007 weder die BHKWs noch die Absorptionskältemaschinen im vorgesehenen Umfang eingesetzt werden – die BHKWs lieferten nur 22% der Heizenergie. So wurde der geplante Primärenergiekennwert zunächst nicht erreicht.

Benutzerkomfort: Sechs Büroräume wurden messtechnisch untersucht. Als einwandfrei erwies sich die Luftqualität, ermittelt über die CO₂-Konzentration. Die Luftfeuchtigkeit, die die Hälfte der Zeit unter 35% liegt, ist hauptsächlich im Winter kritisch niedrig. Auch die Raumlufttemperaturen lassen noch zu wünschen übrig: 2007 herrschten über 26 °C an deutlich mehr als den geplanten 60 Stunden während der Arbeitszeit.

► Perspektiven

Die Sanierung hat das Gebäudeensemble nicht nur optisch aufgewertet. Die Innenräume bieten jetzt zeitgemäßen Arbeitsplatzkomfort und die energetisch anspruchsvolle Neugestaltung von Fassade und Gebäudetechnik hat beste Voraussetzungen für einen geringen Energieverbrauch in der Zukunft geschaffen.

Betrachtet man die Gesamt-Primärenergiebilanz, liegt der für 2007 ermittelte Verbrauch mit 211 kWh/(m²a) allerdings nur um ca. 15% unter dem Ausgangswert. Hier machen sich insbesondere Probleme bei der Regelung des Wärme- und Kälteverbunds bemerkbar, der ja die Primärenergiefaktoren sowohl für Wärme als auch für Kälte dynamisch gestaltet. Doch auch der Endenergiebedarf liegt im ersten Betriebsjahr nach der Sanierung erst einmal höher als erwartet. Ursachen sind unter anderem längere Nutzungszeiten und erhöhte Innenraumtemperaturen, aber auch Regelungsfehler.

Noch wurden die Planwerte nicht erreicht, aber die eingeleiteten Maßnahmen, die regelmäßig stattfindenden Termine mit dem engagierten Bauherrn und der Dialog mit den Betreibern des Gebäudes lassen auf Optimierungserfolge im zweiten Jahr des Monitorings hoffen.

Wie auch in anderen Projekten zeigt sich, dass eine Beobachtung der tatsächlich erreichten Energieeffizienz und die Kontrolle des Anlagenbetriebs sinnvoll und notwendig sind, um den komplexen Gebäudebetrieb zu optimieren. Verschiedene Ursachen für hohe Verbräuche, wie z. B. die Umstellung einiger Ventilatoren von zeitgesteuerter auf manuelle Regelung, die nicht in der Gebäudeleittechnik angezeigt wurde, wären ohne das Monitoring nicht ans Tageslicht gekommen. Natürlich ist nicht für jedes Gebäude eine so umfangreiche Auswertung wie in diesem geförderten Forschungsprojekt möglich. Aber auch eine regelmäßige Grobanalyse kann vielfach bereits ausreichen, um Schwachstellen und deren Ursachen aufzufinden und eine Optimierung anzugehen. Aufgrund der Einsparerfolge und der guten Datenauswertung durch das wissenschaftliche Monitoring an zwei seiner Gebäude hat der Bauherr nun konsequenterweise für einen Neubau auf dem gleichen Grundstück den Auftrag zu einem (nicht geförderten) Monitoring öffentlich vergeben.

Der Bauherr, als öffentlich finanzierte Einrichtung, muss die Leistungen im Facility Management regelmäßig neu ausschreiben. Erhält – wie im Juli 2008 – ein neuer Bieter den Zuschlag, muss der neue Dienstleister sich zunächst in die speziellen Belange des Gebäudebetriebs einarbeiten. Grundsätzlich ist ein solches Verfahren unter dem Aspekt Betriebsoptimierung zunächst kritisch zu sehen. Je komplexer das Energiekonzept, desto größer sind hier die Fehlermöglichkeiten. Eine genaue Festlegung über die Übergabeunterlagen mit entsprechenden Terminen, vertraglich festgeschriebene Schulungen zu einzelnen Aspekten, Handbücher spezieller Geräte und Anlagen, Gespräche zur Einarbeitung sowie eine Übergangszeit, in der beide Unternehmen parallel tätig waren, dienen in diesem Beispiel dazu, Wissensverluste zu vermeiden und dauerhaft einen effizienten Betrieb zu sichern.

► PROJEKTADRESSEN

Bauherr / Projektadresse

- KfW Bankengruppe (Haupthaus)
Axel Hinterthan
Palmengartenstraße 5-9
60325 Frankfurt am Main

Monitoring

- Universität Karlsruhe (TH)
Fachgebiet Bauphysik und
Technischer Ausbau (fbta)
Prof. Andreas Wagner,
Michael Kleber
Englerstraße 7
76131 Karlsruhe

Generalplaner

- RKW Rhode Kellermann Wawrowsky
Architektur + Städtebau
Jochen Schulz
Bockenheimer Anlage 4
60322 Frankfurt am Main

► ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

Internet

- www.kfw-monitoring.de
- www.enob.info

Abbildungsnachweis

- Abb. 1 (groß), Abb. 5: RKW Architektur + Städtebau. Fotos: Carsten Costard
- Abb. 1 (klein), Abb. 8: fbta, Karlsruhe
- Abb. 2, Abb. 6: RKW Architektur + Städtebau

Service

- Dieses Projektinfo gibt es auch als online-Dokument unter www.bine.info im Bereich Publikationen/Projektinfos. In der Rubrik „Service“ finden Sie ergänzende Informationen wie weitere Projektadressen.

PROJEKTORGANISATION

- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)
11019 Berlin

Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich GmbH
Markus Kratz
52425 Jülich

- Förderkennzeichen
03350075

IMPRESSUM

- ISSN
0937 – 8367

- Herausgeber
FIZ Karlsruhe
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

- Nachdruck
Nachdruck des Textes nur zulässig bei vollständiger Quellenangabe und gegen Zusendung eines Belegexemplares; Nachdruck der Abbildungen nur mit Zustimmung der jeweils Berechtigten.

- Autorin
Dorothee Gintars

BINE Informationsdienst Kompetenz in Energie

BINE informiert zu Energieeffizienztechnologien und erneuerbaren Energien:

In kostenfreien Broschüren, unter www.bine.info und per Newsletter zeigt BINE, wie sich gute Forschungsideen in der Praxis bewähren.

BINE ist ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderter Informationsdienst von FIZ Karlsruhe.

Kontakt

Fragen zu diesem **projektinfo**?
Wir helfen Ihnen weiter:

Tel.: 0228 92379-44



FIZ Karlsruhe, Büro Bonn
Kaiserstraße 185 – 197
53113 Bonn

Tel.: 0228 92379-0
Fax: 0228 92379-29

bine@fiz-karlsruhe.de
www.bine.info