



## Gebäude sanieren – Büro- und Gewerbebau

Abb. 1



- ▶ Sanierung verbessert Arbeitsplatzqualität und halbiert Heizwärmebedarf
- ▶ Kühlung ausschließlich über Umweltenergie
- ▶ Weniger Kunstlichtbedarf durch verbesserte Tageslichtversorgung
- ▶ Monitoring ermöglichte in der Inbetriebnahmephase entscheidende Verbesserungen
- ▶ Abwärme alleine reicht nicht wie vorgesehen zur Beheizung aus

*Größer, schöner, energieeffizienter –  
das Gebäude der Druckerei nach der Sanierung (oben)*

**F**ür die Erweiterung einer Druckerei sollte ein bestehender Flachbau aufgestockt werden. Das war der Anlass, gleichzeitig die dort bereits untergebrachten Grafik- und Büroarbeitsplätze aufzuwerten. Bei der Maßnahme wollte die Firma außerdem ihr besonderes Engagement für den Umweltschutz demonstrieren – für sie auch ein Werbeargument über den Druckprozess hinaus. Die energetischen Anforderungen wurden also hoch gesteckt, verbunden mit dem Ziel, den Arbeitsplatzkomfort für die Mitarbeiter zu optimieren. So wie in vielen Großraumbüros aus den sechziger und siebziger Jahren war das Klima in dem Flachbau weder im Sommer noch im Winter angenehm. Die Arbeitsplätze waren schwierig zu belüften und natürlich zu belichten. Die Wärmeabgabe der künstlichen Beleuchtung erhöhte die Raumtemperatur. Zusätzlich belastete die umfangreiche Technik für die „Druckvorstufe“ die Luft nicht nur mit Wärme, sondern auch mit Schadstoffen. Fensteröffnung war die einzige Möglichkeit einzugreifen. Um die Arbeitsbedingungen im Sommer halbwegs erträglich zu gestalten, waren teilweise Klimaspaltgeräte nachgerüstet worden.

Das für Sanierung und Erweiterung entwickelte Gesamtkonzept löst diese Probleme und bietet eine gestalterisch und funktional überzeugende Lösung. Maschinenabwärme zur Beheizung des Gebäudes und Lüftung im Zusammenspiel mit Flächenkühlung über Erdsonden sichern hohen Arbeitsplatzkomfort bei geringem Energieverbrauch. Durch eine großzügige Verglasung mit außen liegendem Sonnenschutz kann das Tageslicht besser genutzt werden.

Ausschlaggebend für alle Entscheidungen war das Anliegen, den Nutzerkomfort zu erhöhen. Bei der finanziellen Bewertung berücksichtigte man sowohl die Anfangsinvestition als auch die Kosten während des Betriebs.

Die Sanierung wurde 2004 geplant und im Jahr darauf von einem Generalunternehmer durchgeführt. Seitdem wird das energetische Verhalten des Gebäudes genau bilanziert. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) fördert im Rahmen seines Forschungsbereichs „Energetische Sanierung der Bausubstanz“ (EnSan) die Erfassung und Auswertung der Messdaten des engagierten Projektes.

## ► Ausgangszustand

Die Druckerei besteht aus einem dreigeschossigen Bürogebäude und einem damit verbundenen, ebenfalls für Büro Zwecke genutzten Flachbau, an den wiederum die Produktionshallen anschließen. Durch die Idee, für die notwendige Erweiterung den Flachbau aufzustocken, konzentrierte sich die Baumaßnahme nur auf diesen Gebäudeteil.

Die Missstände dort waren offenkundig: Obwohl die für eine Druckerei typischen Geräte wie Plotter und Hochleistungskopierer

überwiegend im Arbeitsbereich standen, gab es kein Lüftungssystem. Im Sommer wie im Winter mussten deshalb die Fenster häufig geöffnet werden. Darüber hinaus kam es im Sommer zu großen Temperaturschwankungen im Tagesverlauf und zu hohen Temperaturspitzen.

Auch die Tageslichtversorgung der Arbeitsplätze ließ zu wünschen übrig. Das deshalb ständig eingeschaltete Kunstlicht erhöhte zusätzlich die Wärmebelastung.

## ► Maßnahmen am Gebäude

Zuerst wurde der Flachbau entkernt und die Fassade abgerissen. Ohne die abgehängte Decke bietet das Erdgeschoss nach der Sanierung höhere und hellere Arbeitsplätze. Die Betondecke wird als thermische Speichermasse nutzbar. Um die statischen Lasten möglichst gering zu halten, wurde auf den Rohbau eine Stahlkonstruktion in Leichtbauweise gesetzt. Die Maßnahme bot die Chance, vor die bestehende Struktur einen offen gestalteten Eingangsbereich zu setzen und damit nicht nur die Belichtungs- und Erschließungssituation zu verbessern, sondern auch eine freie Gebäudelüftung zu ermöglichen.

Eine Glasfassade öffnet dort das Gebäude über die zwei Geschosse nach Westen. Unerwünschte solare Wärmeeinträge reduziert ein außen liegender Sonnenschutz. Die zwei-

Abb. 3: Schnitt durch das erweiterte Gebäude



geteilten Behänge verbessern die Möglichkeit, mit Tageslicht zu arbeiten, ohne geblendet zu werden.

Die Fenster bieten durch eine Zweifach-Wärmeschutzverglasung in Verbindung mit einem gut dämmendem Rahmen einen U-Wert von

Abb. 2: Ausgewählte Gebäudekennwerte

	Baujahr 1978	Sanierung 2005
Baukonstruktion	Stahlbeton	EG: Stahlbeton OG: Stahlkonstruktion und Leichtbauweise
Bruttogrundfläche	580 m <sup>2</sup>	1.390 m <sup>2</sup>
Nettogrundfläche, beheizt	480 m <sup>2</sup>	1.110 m <sup>2</sup>
Bruttorauminhalt	1.250 m <sup>3</sup>	4.910 m <sup>3</sup>
U-Wert Fassade	2,6 W/m <sup>2</sup> K	0,3 W/m <sup>2</sup> K
U-Wert Fenster	2,7 W/m <sup>2</sup> K	1,4 W/m <sup>2</sup> K
U-Wert Dach	0,5 W/m <sup>2</sup> K	0,2 W/m <sup>2</sup> K

Abb. 4: Das Stahlgerüst wird auf dem entkernten Bestand errichtet.



1,4 W/m<sup>2</sup>K. Die Fassade aus stark wärmedämmten Sandwichelementen erreicht 0,3 W/m<sup>2</sup>K.

## ► Energiekonzept

### Heizung

Das Gebäude wird im Erdgeschoss über den Fußboden beheizt und nutzt dazu die Abwärme aus dem Drucksaal. Um den Installationsaufwand gering zu halten, versorgt der vorhandene Gaskessel die ansonsten installierten Heizkörper. An der großen Glasfassade verhindern Unterflurkonvektoren einen Kaltluftabfall.

### Kühlung

Hohe interne und solare Lasten so zu managen, dass eine Kühlung ausschließlich durch natürliche Wärmesenken möglich ist, stellt eine Herausforderung dar. Dafür ist der effektive Sonnenschutz unerlässlich. Als thermische Speichermasse steht im Erdgeschoss die Betondecke zur Verfügung. Dort sind Kapillarrohrmatten eingeputz, die tagsüber mit über Erdsonden gekühltem Wasser durchströmt werden können und so aktiv die Wärme abführen.

Beim Obergeschoss kombinieren Deckenkühlpaneele Kapillarrohrmatten mit Latentwärmespeichermaterial (PCM). Das PCM kann durch einen Phasenwechsel einen Temperaturanstieg

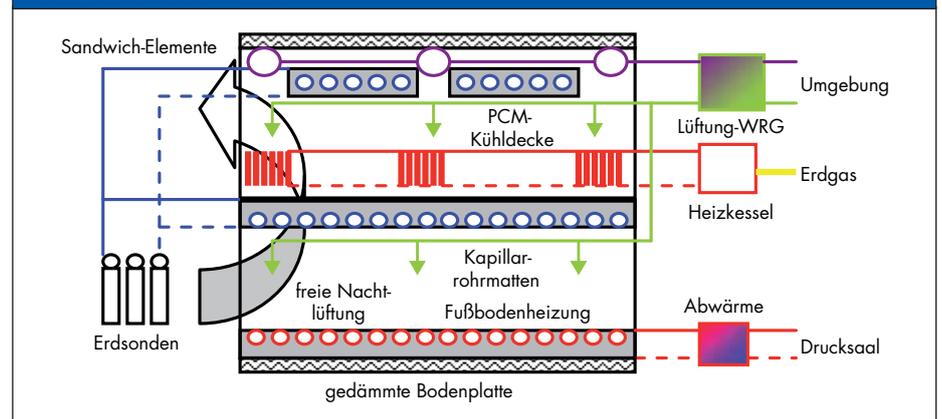
abfangen und entkoppelt Wärmezu- und -abfuhr zeitlich. In den Nachtstunden werden dann die Paneele durch eine aktive Kühlung über die Erdsonden thermisch wieder entladen.

Die Idee war es, durch den versetzten Betrieb von Kapillarrohrmatten und Deckenkühlpaneele das Erdwärmesondenfeld klein – und damit auch kostengünstig – zu dimensionieren. Dass die 12 Erdwärmesonden mit einer Tiefe von je 44 Metern ohne

Abb. 5: Deckenkühlpaneele und ein zweigeteilter Sonnenschutz sorgen für Komfort im neuen Obergeschoss.



Abb. 6: Schema der Haustechnik



Wärmetauscher betrieben werden, steigert die energetische Effizienz und reduziert den Anlagenaufwand.

Freie Nachtlüftung kühlt die Gebäudemasse und die Raumluft im Sommer effektiv. Dazu dienen Lamellenfenster unten und oben in der Fassade. Der Umbau ermöglichte es, das Gebäude für solch eine freie Durchströmung

zu optimieren und den thermischen Auftrieb im Raumvolumen zu nutzen.

### Lüftung

Eine mechanische Grundlüftung verbessert die Luftqualität entscheidend und kann individuell durch Fensteröffnung ergänzt werden. Diese Lüftung wird vor allem im

Winter betrieben und zwar während der Betriebszeit in Abhängigkeit von der Raum- und Außentemperatur. Die Zuluft wird in die einzelnen Zonen eingeblasen und die Abluft im Hochpunkt des Gebäudes zentral abgeführt. Das reduziert die Lüftungswege und den Installationsaufwand. Wärmerückgewinnung verringert die Heizlast. ■

### Niedrigexergie nutzen

Das Energiekonzept der Druckerei setzt mit einer Fußbodenheizung, die Abwärme nutzt, sowie mit der Kühlung über Erdsonden und Nachtlüftung jeweils auf Niedrigexergie-Systeme.

Thermische Exergie ist der Anteil der Energie, der Arbeit verrichten kann. Die natürlichen Ressourcen werden effizient genutzt, wenn das Exergieangebot an die Exergienachfrage angepasst ist. Hochwertige, exergiereiche Energie sollte also für hochwertige Energiedienstleis-

tungen, wie z. B. die Stromerzeugung reserviert bleiben, während exergiearme Energieformen für das Heizen und Kühlen auf Raumtemperaturniveau eingesetzt werden können. Denn mit entsprechenden (Flächen-)Systemen, wie zum Beispiel einer Fußbodenheizung, reichen schon geringe Temperaturunterschiede zwischen dem Raum und dem Heiz- bzw. Kühlmedium zur Heizung bzw. Kühlung aus. Als Energiequelle kommen beispielsweise Abwärme oder die

natürliche Kühle des Erdreichs in Frage. Eine Reduktion der Lasten, insbesondere durch Optimierung der Gebäudehülle, und der Einsatz exergetisch effizienter Energiewandlungssysteme sind entscheidend für eine exergieoptimierte Auslegung.

Niedrigexergie-Systeme bilden einen Forschungsschwerpunkt (LowEx) in der Energieforschung der Bundesregierung.

[www.enob.info/de/forschungsfelder/lowex](http://www.enob.info/de/forschungsfelder/lowex)

## Planung und Umsetzung

Abb. 7: Energiekennwerte bezogen auf NGF beheizt (NGF inklusive Sozialräume)

	vor Sanierung	geplant	2008
	kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/m <sup>2</sup> a
Endenergie Heizwärme	160	21	98
Endenergie Kühlen	9	1	6 <sup>1</sup>
Endenergie Lüften	---	1	12
Endenergie Beleuchten	n.b.	k.A.	24
Primärenergie <sup>2</sup> gesamt	344	86	228

<sup>1</sup> beinhaltet nur den Stromverbrauch für Pumpen  
<sup>2</sup> durchgängig mit einem Faktor von 3,0 für Strom berechnet

Das Gebäude- und Energiekonzept wurde im Fraunhofer ISE in enger Abstimmung mit dem Bauherrn entwickelt. Auch die Firmen für die Erdsonden und die Kühldecken waren schon in einer frühen Phase eingebunden. Für die Baumaßnahme wurde ein Generalunternehmer beauftragt. Aufgrund dieser Schnittstelle wurde viel der geplanten energetischen Qualität eingebüßt – die Umsetzung entspricht in etlichen Teilbereichen nicht mehr den Eckdaten, von denen man in der Planungsphase ausgegangen war. Deshalb sind die tatsächlich erreichten Energiekennwerte zwar für einen sanierten Altbau sehr gut, erfüllen aber die ursprünglichen Ziele nicht.

Da das Gebäude fast ausschließlich über Abwärme der Druckerei beheizt und über Umweltenergie (Erdkälte und freie Nachtlüftung) gekühlt werden sollte, würde Energie allein für die Energieverteilung benötigt. Beide Niedrigexergie-Systeme funktionieren allerdings nicht wie geplant. Das intensive Monitoring half entscheidend dabei, Fehler aufzudecken und Verbesserungsmöglichkeiten auszuschöpfen.

### Heizung

Der Wärmerückgewinnungsgrad der Lüftungsanlage ist mit 60% deutlich kleiner als in der Planung angenommen (85%). Um im Winter eine ausreichend hohe Zulufttemperatur zu gewährleisten, war es notwendig, ein Nachheizregister nachzurüsten.

Durch eine Unterdimensionierung der Fußbodenheizung kann die Abwärme aus der Produktion nicht in dem Maße genutzt werden wie geplant: sie erreicht nur 7 statt 18 kWh/m<sup>2</sup>a.

In der nächsten Ausbaustufe sollen die Erdsonden im Winter als Wärmequelle für eine Wärmepumpe genutzt werden und so den vorhandenen Heizkessel ersetzen. Das verbessert auch die Voraussetzungen für die Nutzung des Erdreichs zur Kühlung im Sommer, weil die Erdtemperaturen sinken.

### Kühlung

Hohe Druckverluste in der Hauptverteilung – und damit verbunden eine teilweise unzureichende Durchströmung der Kühlsegele – vermindern die Effektivität der regenerativen Kühlung. Ursache hierfür ist eine falsche Ausführung der Hydraulik in der Kälteverteilung. Dazu kommt, dass die Temperatur im Erdreich höher liegt als in der Planung angenommen. Weil die Kühlleistung hinter den Planungszielen zurückfällt und zudem eine zu große Umwälzpumpe im Einsatz ist, erreichte die Jahresarbeitszahl der Anlage statt geplanter 8 kWh<sub>th</sub>/kWh<sub>el</sub> in 2007 nur 2,7 kWh<sub>th</sub>/kWh<sub>el</sub>. Die Kühlleistung fließt primär in die Deckenkühlpaneele, die Kapillarrohrmatten im EG kommen kaum zum Einsatz. Für die Sommerperiode 2008 wurde die Hydraulik der Kälteanlage umgebaut, was

die Jahresarbeitszahl auf 3,3 kWh<sub>th</sub>/kWh<sub>el</sub> verbessert hat.

Mit dem halb-automatischen Sonnenschutzbetrieb sind die Nutzer zufrieden. Die solaren Wärmelasten entsprechen den Planungswerten.

2006 gab es keine freie Nachtlüftung, da die geöffneten Glaslamellenfenster mit dem Sonnenschutz kollidierten. Dieses Problem wurde inzwischen durch einen zusätzlichen Positionssensor für den Sonnenschutz gelöst.

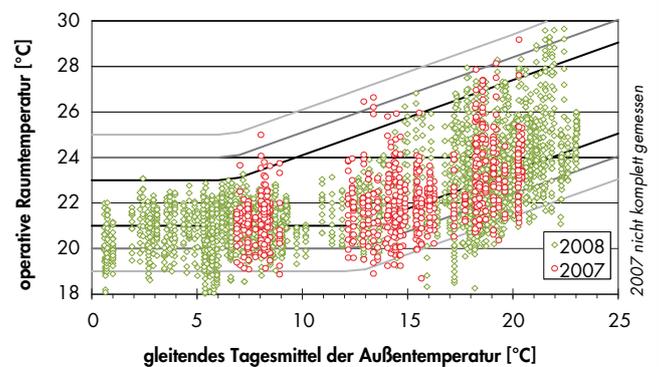
### Lüftung

Die energetischen Zielwerte für die Lüftung werden verfehlt, weil diese für einen Mindestluftwechsel ausgelegt war und nun nicht entsprechend betrieben wird. Außerdem haben die eingebauten Ventilatoren eine schlechtere Effizienzklasse als geplant.

### Komfort

Das zentrale Anliegen, nämlich Arbeitsplätze mit zeitgemäßem Komfort zu schaffen, wurde erreicht: die gemessenen Innenraumtemperaturen entsprechen den Anforderungen an neue Gebäude und Sanierungsprojekte. Komfortklasse B wird eingehalten und an weniger als 5% der Anwesenheitszeit überschritten. Auch die Tageslichtsituation hat sich entscheidend verbessert. ■

Abb. 8: Thermischer Komfort im Komfortdiagramm nach EN 15251



## ► Kosten und Wirtschaftlichkeit

Laut Kostenfeststellung betragen die Bauwerkskosten (KG 300) 860 €/m<sup>2</sup> und die Kosten für die technische Ausstattung (KG 400) 370 €/m<sup>2</sup>.

Die Gebäudetechnik wurde unter dem Aspekt einer insgesamt kostengünstigen Lösung ausgewählt. Die Wirtschaftlichkeitsbewertung berücksichtigte neben den Investitionskosten also auch die Betriebs-, Wartungs- und Instandhaltungskosten. Außerdem wurden Wechselwirkungen zwischen den Technologien einbezogen: Beispielsweise erfordert die Nutzung der Abwärme eine Niedertemperaturheizung, Radiatoren sind nicht möglich. Zentrales Entscheidungskriterium beim Energiekonzept war aber immer die Verbesserung der Arbeitsplatzqualität – und der Produktivität.

Für Planung und bauliche Umsetzung wurden keine Fördermittel in Anspruch genommen. Lediglich das anschließende Monitoring wird mit Forschungsgeld unterstützt.

## ► Fazit

Das Gebäude hat durch die Sanierung und Erweiterung optisch und funktional gewonnen. Die großzügige natürliche Belichtung mit Blendschutz sowie das Kühlkonzept bieten den Nutzern eine hohe Arbeitsplatzqualität. Durch das besondere Engagement des Bauherrn und dessen Interesse für das Thema Energieeffizienz kombiniert das Projekt viele innovative Ideen. Beispielsweise kamen die Deckenkühlpaneele in diesem Gebäude zum ersten Mal zum Einsatz. Der Energieverbrauch liegt vergleichsweise gering – erreicht allerdings nicht die Zielwerte der Planung.

Niedrigexergie-Konzepte können nur funktionieren, wenn alle Rahmenbedingungen stimmen. Fehler bzw. Abweichungen in Planung oder Ausführung wiegen bei so geringen Energiewerten doppelt und können das ganze Konzept in Frage stellen. In diesem Beispiel wurde die Fußbodenheizung unterdimensioniert und auch die Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlage, die einkalkuliert war, um die Heizlast zu senken, erreicht nicht die geplante Effizienz. Deshalb ist es nicht möglich, das Gebäude überwiegend über die Abwärme der Druckmaschinen zu beheizen. Glücklicherweise kann der im Bestand noch vorhandene Heizkessel zusätzliche Heizwärme bereitstellen, ansonsten wäre eine teure Nachrüstung notwendig gewesen.

Die Kühlung über Nachtlüftung und Erdsonden schafft im Sommer ein angenehmes Innenraumklima. Ausführungs- aber auch Auslegungsfehler verschlechtern allerdings ihre Effizienz.

Das Projekt zeigt, dass für den Erfolg energieeffizienter Gebäude ein enges Zusammenwirken aller Beteiligten wichtige Voraussetzung ist. Bauherren, Planer und Ausführende müssen von Anfang an gemeinsam das Ziel „Energieeffizienz“ verfolgen. Kurze Informationswege und auch die Möglichkeit, auftretende Fehler direkt zu besprechen, erleichtern es, hoch gesteckte Planungsziele im realen Betrieb auch zu erreichen. Ein Monitoring in den ersten Betriebsjahren unterstützt entscheidend dabei, die Effizienz zu steigern und Fehler aufzudecken.

### ► PROJEKTADRESSEN

#### Bauherr / Projektadresse

- E&B Engelhardt und Bauer  
Druck- und Verlagsgesellschaft  
Mathias Melcher  
Käppelestraße 10  
76131 Karlsruhe

#### Energiekonzept

- Fraunhofer-Institut  
für Solare Energiesysteme (ISE)  
Jens Pfafferott  
Heidenhofstraße 2  
79110 Freiburg

#### Monitoring

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

### ► ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

#### Internet

- [www.enob.info](http://www.enob.info)
- [www.fbta.uni-karlsruhe.de/enob/index.php?id=33](http://www.fbta.uni-karlsruhe.de/enob/index.php?id=33)

#### Abbildungsnachweis

- Abb. 1 (oben): Patrick Beuchert
- Abb. 1 (unten), 6, 8: Fraunhofer ISE
- Abb. 3: Engelhardt & Bauer, Karlsruhe
- Abb. 4: Planungsbüro Arche,  
Oberhausen-Rheinhausen
- Abb. 5: Julia Schmidt/Deutscher Drucker

#### Service

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

### PROJEKTORGANISATION

- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)  
11019 Berlin

Projektträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
Markus Kratz  
52425 Jülich

- Förderkennzeichen  
0329750Y

### IMPRESSUM

- ISSN  
0937 – 8367

- Version in Englisch  
Dieses Projekt-Info bieten wir Ihnen als PDF auch in englischer Sprache unter [www.bine.info](http://www.bine.info) an.

- 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 Energieforschung für die Praxis

BINE Informationsdienst berichtet zu Energieeffizienztechnologien und Erneuerbaren Energien.

In kostenfreien Broschüren, unter [www.bine.info](http://www.bine.info) und per Newsletter zeigt die BINE-Redaktion, wie sich gute Forschungsideen in der Praxis bewähren.

BINE Informationsdienst ist ein Service von FIZ Karlsruhe und wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert.

#### Kontakt

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

Tel. 0228 92379-44

 **BINE**  
Informationsdienst

FIZ Karlsruhe, Büro Bonn  
Kaiserstraße 185 – 197  
53113 Bonn

[kontakt@bine.info](mailto:kontakt@bine.info)  
[www.bine.info](http://www.bine.info)