



Fabrik nach Passivhauskonzept

Abb 1



- ▶ **Pfosten-Riegel-Konstruktion aus Metall mit wärmebrückenfreier Kerndämmung entwickelt**
- ▶ **Ladetur für LKW und Türen mit Vakuumdämmpaneelen ausgestattet**
- ▶ **Luftqualität im chemischen Produktionsbereich erfordert höhere Luftwechselrate**
- ▶ **Nicht korrosionsbeständiger Wärmeübertrager wird ausgetauscht; der bereits sehr geringe Heizenergieverbrauch wird künftig weiter sinken**

Süd-/Ostseite des Fabrikgebäudes, das Lager, Produktion und Entwicklung sowie Bürobereich in einem Gebäude vereint

Der Bau von Fabrikgebäuden nach Passivhauskonzept ist bisher wenig erprobt. Im Wohnungsbau existieren bereits zahlreiche Bauelemente, die den Bau eines weitgehend luftdichten Gebäudes ermöglichen, das ausschließlich über die Zuluft beheizt wird. Die speziellen Anforderungen eines Betriebes mit Produktions- und Laborbereich, Lagerhaltung sowie Bürotrakt und geringem Heizenergiebedarf stellen eine große Herausforderung an die Planung und erfordern neue technische Lösungen.

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) unterstützt deshalb im Rahmen seines Förderkonzeptes „SolarBau“ die Planung und das Monitoring von energieeffizienten und solaroptimierten Gewerbebauten. Mit dem Neubau der Firmenzentrale der SurTec GmbH wurde erstmals in Europa ein Fabrikgebäude nach Passivhauskonzept errichtet. Das Baugrundstück liegt zwischen einer Bahntrasse, Bundesstraße und einem reinen Wohngebiet und bedarf einer besonderen Gebäudegestaltung. Die Nord-/Südausrichtung der Hauptfassaden, um solare Gewinne optimal zu nutzen, war aufgrund der Grundstücksform nicht möglich. Dies ist für die Bauausführung eines Gebäudes mit geringem Energiebedarf kein Hinderungsgrund.

SurTec entwickelt, produziert und vertreibt Produkte und Verfahren für die Oberflächenbehandlung (Reiniger und Galvanotechnik). 50 Mitarbeiter sind in Entwicklung, Produktion und Verwaltung beschäftigt, wobei ca. die Hälfte der Belegschaft Verwaltungsarbeiten erledigt. Die Produktionsabläufe in der chemischen Industrie stellen spezielle Ansprüche an das Luftdichtigkeits- und Lüftungskonzept. Die Lüftungsanlage muss die gesetzlich geforderte Luftqualität am Arbeitsplatz (Produktion/Lager) garantieren. Um die Lüftungs- und Wärmeverluste über die LKW-Anlieferung zu reduzieren, wurde eine spezielle Anbindung der Torabdichtungen an das Gebäude entwickelt und die Türblätter erhielten eine Dämmung mit Vakuumpaneelen. Das Atrium wurde als Aufenthaltsbereich konzipiert und versorgt die Produktion mit Tageslicht. Es erfüllt im oberen Bereich die Funktion einer Abluftzone. Die Glaskonstruktion ist in einer neu entwickelten Pfosten-Riegel-Konstruktion aus Metall ausgeführt worden. Der U-Wert beträgt ca. 0,8 W/m²K, so dass die solaren Gewinne über das gesamte Jahr gerechnet die Verluste annähernd ausgleichen.

Das Gebäude wurde ab Sommer 2000 bezogen. Zeitgleich begannen im Rahmen des Forschungsvorhabens die umfangreichen Messreihen, so dass mittlerweile erste Zwischenergebnisse vorliegen.

► Gebäudekonzept

Die Lage des Baugrundstücks erlaubt ausschließlich eine West-/Ostausrichtung der Hauptfassaden des Gebäudes (Abb 2). Das Lager liegt im Westen und grenzt an eine viel befahrene Bahnstrecke. Es fungiert als Schallschutz für den Produktionsbereich sowie den Bürotrakt, der sich im Osten befindet. Dieser ist optisch untergliedert und kleiner als die übrigen Gebäudeteile und fügt sich gut in das anschließende Wohngebiet ein. Das dreigeschossige Fabrikgebäude in Massivbauweise ist gekennzeichnet durch eine kompakte Form (Abb 2).

Das Gebäude ist in drei unterschiedliche Bereiche gegliedert. Zwischen Lager und Labor/Produktion befindet sich ein Verbindungs-

Abb 2 Grundriss und Schnitt des Fabrikgebäudes SurTec



gangs, der gleichzeitig die Produktion mit Tageslicht versorgt. Von den Produktionsstätten ist der Bürotrakt durch ein Atrium mit zentralen Erschließungsaufgaben getrennt. Das Atrium dient der Tageslichtversorgung der Produktion, als Aufenthaltsbereich auch für Pausenzeiten und für Veranstaltungen. Das Atrium nimmt die gesamte Gebäudehöhe ein und ist größtenteils intensiv begrünt. Der Büroteil ist sehr offen gestaltet und mit Stegen, Rampen und Brücken über das Atrium erschlossen (Abb 3).

Alle Gebäudeabschnitte sind in eine thermische Hülle eingebunden und ermöglichen ein sehr günstiges A/V-Verhältnis von 0,25.

Abb 5 Baukosten brutto nach DIN 276 bezogen auf die NGF nach DIN 277

Baukonstruktion KG 300:	854,- €/m ²
Technische Anlagen KG 400:	164,- €/m ²
Bauwerkskosten KG 300 + 400:	1.018,- €/m ²



Der Stahlbetonbau ist frei von konstruktiven Wärmebrücken, da die Gebäudehülle von einem Wärmedämmverbundsystem umschlossen wird. Sämtliche Durchdringungen sind thermisch entkoppelt. Die Fensterrahmen und die Pfosten-Riegel-Konstruktion des Atriums sind mit einer wärmebrückenfreien Kerndämmung (PU) mit gedämmten Deckleisten ausgestattet. Neben einer energiesparenden Bauweise wurde Wert auf umweltverträgliche Baustoffe gelegt. Regenwasser der Dach- und Hofflächen wird im Gebäude genutzt, überschüssiges Wasser gelangt in einen 500 m² großen Teich und kann versickern. Das Gebäudekonzept beinhaltet ebenfalls eine extensive Dach- und Fassadenbegrünung.

Abb 4 Gebäudesteckbrief

Bauherr/Nutzer	
SurTec Produkte und Systeme für die Oberflächenbehandlung GmbH, Zwingenberg	
Architektur, Energieplanung	
Atelier für Architektur und Städtebau, Darmstadt	
Monitoring	
Technische Universität Darmstadt, Institut für Statik; Passivhaus Institut Darmstadt	
Standort	
Zwingenberg, Hessen	
Planungs- und Ausführungszeitraum	
Planungsbeginn Sommer 1997, Baubeginn Dezember 1998, Bezug ab Juni 2000	
Baukonstruktion	
Stahlbetonmassivbau mit mineralischem Wärmedämmverbundsystem, Atrium in Pfosten-Riegel-Bauweise mit Kerndämmung	
BRI (Bruttorauminhalt):	28.380 m ³
■ Lager:	12.000 m ³
■ Verbindungsgang:	2.000 m ³
■ Labor/Produktion:	8.500 m ³
■ Atrium:	3.200 m ³
■ Bürobereich:	2.500 m ³
NGF (Nettogrundfläche):	4.423 m ²
HNF (Hauptnutzfläche):	3.536 m ²
Fensterflächenanteile	
■ West:	13 %
■ Nord:	25 %
■ Süd:	32 %
■ Ost:	55 %
A/V-Verhältnis:	0,25 m ⁻¹
Mittlerer U-Wert:	0,27 W/m ² K
U-Wert Fenster:	0,85 W/m ² K

Abb 3 Blick ins Atrium



► Planung und Bauausführung

Für den Neubau der Firmenzentrale war zunächst ein Gebäude mit optimierten Betriebsabläufen und geringen Energieverbräuchen geplant. Die Ergebnisse der Vorplanung ergaben ein energetisch betrachtet gutes Gebäude, so dass sich Architekt und Bauherr entschlossen, die Fabrik nach Passivhauskonzept zu bauen. Während der Ausführungsplanung ergaben sich daher erhöhte Anforderungen an einzelne Bauteile, die eine Neuentwicklung verschiedener Komponenten erforderten. Auf dem Markt existieren derzeit kaum Produkte für Fa-

brikgebäude, die standardisierte Lösungen anbieten. So mussten während der Planungsphase mit verschiedenen Firmen innovative Details erarbeitet werden. Hierzu gehören die sehr gut wärmedämmten Rauchabzugsklappen auf dem Lagerdach, die Pfosten-Riegel-Konstruktion aus Metall mit einer Kerndämmung, das LKW-Tor mit Vakuumpaneelen sowie die Lüftungsanlage. Diese erforderte einen erheblichen Planungsaufwand, da die hohe Luftwechselrate eines chemischen Produktionsbetriebes im Gegensatz zu den Anforderungen des

energiesparenden Bauens steht.

Die Anforderungen an ein Chemikalienlager im Wasserschutzgebiet machten den Bau einer wasserundurchlässigen Wanne nach Wasserhaushaltsgesetz notwendig. So war es möglich, den Lagerbereich um 5 m in das Erdreich abzusenken, wodurch gleichzeitig der Anteil der Gebäudehülle, der an die Außenluft grenzt, gegenüber einem freistehenden Gebäude verringert wurde. Die Erschließung des Hochregallagers erfolgt aus der Mittelebene und verkürzt die Zugriffszeiten.

► Energiekonzept

Wesentliches Merkmal des Energiekonzeptes ist ein kompaktes Gebäude mit einer guten thermischen Hülle und geringen Anteilen außenluftberührender Flächen.

Eine gute Luftdichtigkeit von $n_{50} = 0,4 \text{ h}^{-1}$ reduziert unregelmäßige Luftströme nach außen. Die verbleibenden Lüftungswärmeverluste werden durch den Einsatz einer kontrollierten Lüftungsanlage mit Erdreichwärmetauscher und Wärmerückgewinnung (WRG) verringert. Die produktionsbedingt hohen Luftwechselraten werden durch Quellabsaugung und einen kontinuierlichen Unterdruck vermindert.

Die interne Warenbeförderung ist vollautomatisch organisiert und führt nicht zu einem erhöhten Luftwechsel. Der umfangreiche Warenumsatz, d. h. die Wärmeverluste durch eingebrachte kalte Waren sowie auszuliefernde temperierte Ware, ist im Energiekonzept berücksichtigt.

► Komponenten der Energieversorgung

System	Komponenten	Details
Heizung	Gas-Brennwertkessel mit zwei 1 m ³ großen Pufferspeichern	Leistung 80 kW, spez. Leistung pro NGF 18 W/m ² ; die Leistungsangaben berücksichtigen sowohl die Heizwärme- und Warmwasserbereitung als auch die Bereitstellung von Prozesswärme für die Produktion
	Erdreichwärmetauscher	5 Stahlbetonrohre, je 60 m lang, Verlegetiefe 4,3 m, Nennweite DN 600 mm, Nennvolumenstrom 16.100 m ³ /h. Im Winter: Vorerwärmung der Zuluft
	Wärmerückgewinnung	Zwei in Reihe geschaltete Kreuzstromwärmeübertrager
	Lüftungsanlage	Zentrale Luftansaugung über den Erdreichwärmetauscher; WRG und Zuluftführung; drei Heizregister heizen die Zuluft getrennt nach Lager, Produktion/Labor und Bürotrakt bedarfsgerecht nach
Warmwasserbereitung		s. o.
Lüftung/Kühlung	Erdreichwärmetauscher	s. o.; Im Sommer: Kühlung der Zuluft
	Lüftungsanlage	Mechanische Be- und Entlüftung; zentrale Luftansaugung über den Erdreichwärmetauscher; im Bürobereich wird die Zuluft über einen Doppelboden fassadennah zugeführt; Abluftzone der Büros, der Konferenzräume und der Cafeteria ist das Atrium; Lager und Produktion besitzen eigene Zu- und Abluftführungen
	Quellabsaugung	In Labor und Produktion ist aus Sicherheitsgründen die Abluftmenge größer als die Zuluftmenge, so dass dort ein leichter Unterdruck herrscht; zusätzlich sind Quellabsaugungen installiert
	Nachlüftung	Im Sommer ist eine freie Nachlüftung über Rauchabzugsklappen im Atrium möglich (manuell gesteuert)
Belichtung	Natürliche Belichtung	4,2 m tiefe Büros werden über bodentiefe Fenster mit Tageslicht versorgt, innenliegender Blendschutz über Jalousien; Bürotrennwände aus Glas
	Lichtgänge	Labor und Produktion werden über verglaste Gänge/Atrium mit Tageslicht versorgt
	Sonnenschutz	Atrium besitzt einen außenliegenden Sonnenschutz; Ostfenster der Büros sollen mittels einer Bepflanzung, die in 1,2 m Abstand vor der Fassade wächst, vor starker Sonneneinstrahlung geschützt werden

► Erste Betriebserfahrungen

Im Juni 2000 wurde das Gebäude bezogen und mit der Produktion begonnen. Ein Ausfall der Atriumverschattung bei sommerlichem Wetter führte innerhalb weniger Tage zu hohen Innentemperaturen. Die eingetragene Wärme war ca. um den Faktor 10 höher als bei funktionierendem Sonnenschutz beabsichtigt, so dass der Erdreichwärmetauscher zur Kühlung nicht ausreichte. Die Temperaturen sanken nach Einsatz der Verschattung innerhalb weniger Tage. Im Winter wurde irrtümlich die Nachheizung während der zweiwöchigen Betriebsferien abgeschaltet. Zusätzlich fiel anschließend der Heizkessel bei Außentemperaturen von ca. -6 °C aus. Trotzdem sank die Innentemperatur nur auf $17\text{--}18 \text{ °C}$. Wäre das Gebäude in herkömmlicher Bauweise errichtet worden, hätten Temperaturen von ca. 10 °C und weniger geherrscht.

Im ersten Betriebsjahr sollte überprüft werden, ob die ehrgeizigen Ziele des Bauvorhabens erreicht werden konnten. Es zeigten sich einige Funktionsprobleme mit der Lüftungsanlage im Labor- und Produktionsbereich und bei der Wärmeversorgung. Die vorhandene Luftwechselrate in der Produktion ist zu niedrig ausgelegt, so dass es im Sommer zu unbehaglichen Raumlufttemperaturen mit hoher Luftfeuchtigkeit und Staubbekämpfung kam. Im Februar 2001 stellte sich heraus, dass der Wärmeübertrager durch chemisch/mechanische Einflüsse

beschädigt war. Trotzdem zeigen die ersten vorläufigen Messergebnisse mit einem Heizenergieverbrauch von ca. $24 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ bezogen auf die Nettogrundfläche ein gutes Ergebnis. Der Messwert wurde aus dem Gasverbrauch ermittelt, der auch einen Anteil für die Bereitstellung der Prozesswärme enthält. Es wurde angenommen, dass im Juni nur Prozesswärme erforderlich war, so dass der Juni-Verbrauch in jedem Monat abgezogen wurde. Für den November lagen noch keine Daten vor, daher wurden hierfür die Messwerte vom Februar angenommen (Abb 6).

Gegenüber der Simulation ($13,9 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ nach stationärer DYNBIL-Berechnung) ergibt sich ein Mehrverbrauch, der seine Ursachen in vielen Details hat. Hier seien die wichtigsten genannt:

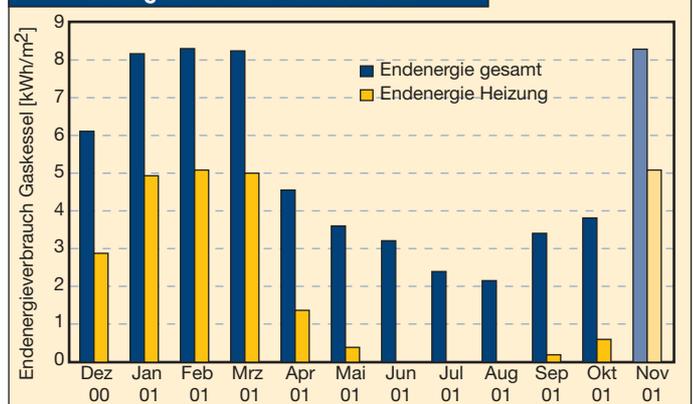
- die durchschnittlichen Raumlufttemperaturen im Winter lagen über der Simulation,
- der Wärmeübertrager war in seiner Funktion eingeschränkt,
- es gab Probleme mit der Heizungsregelung,

- das LKW-Ladetor stand ebenso wie ein sehr großes Fenster in der Produktion tagsüber auch an kalten Tagen lange Zeit offen,

- das vakuumgedämmte LKW-Ladetor wurde mehrfach beschädigt, so dass die Öffnung über längere Zeiträume nur notdürftig verschlossen werden konnte.

Die Regelung der Heizungs- und Lüftungsanlage ist inzwischen verbessert worden. Der Wärmeübertrager wird in Kürze gegen ein säurebeständiges Plattenpaket ausgetauscht. Daher kann im kommenden Betriebsjahr mit einem gegenüber dem ersten Messzeitraum verringerten Heizenergieverbrauch gerechnet werden.

Abb 6 Monatliche Endenergieverbrauchswerte nach gemessenem Gasverbrauch



► Fazit

Erstmalig wurde in Europa eine Fabrik nach Passivhauskonzept gebaut. Entstanden ist ein architektonisch ansprechendes und energieeffizientes Gebäude, das im ersten Betriebsjahr einen Heizenergieverbrauch von nur ca. 24 kWh/m²a aufweist. Dieser Wert liegt in herkömmlichen Fabrikgebäuden durchschnittlich bei ca. 200 kWh/m²a liegt.

Die Mitarbeiter sind mit dem Firmengebäude zufrieden, wobei die architektonisch gelungene Gebäudegestaltung eine wesentliche Rolle spielt. Nach einigen Tagen Heizungsausfall bei frostigen Temperaturen waren die meisten Mitarbeiter vom Gebäudekonzept überzeugt. Durch die Firmenleitung wurde eine Gebrauchsanweisung erstellt, die beispielsweise auf die Effekte offener Türen, Tore und Fenster im Winter hinweist. Die Erfahrung zeigt, dass eine umfangreiche Einweisung und ständige Erinnerung wichtig ist, um die Mitarbeiter, insbesondere aus Produktion und Lager, mit dem neuen Gebäude vertraut zu machen und zur aktiven Mitarbeit zu motivieren.

Das Gebäudekonzept bedurfte einiger neuer technischer Lösungen, die mit Engagement vom Architekten und den bauausführenden Firmen entwickelt und erfolgreich umgesetzt wurden. Der Bauablauf musste intensiv betreut werden, um Baufehler und Problemereiche möglichst frühzeitig erkennen und beheben zu können bzw. um nach neuen technischen Lösungen zu suchen. Die intensive Betreuung hat dazu beigetragen, dass ein energieeffizientes Fabrikgebäude mit Baukosten von ca. 1000,- €/m² NGF realisiert werden konnte. Die gewonnenen Erkenntnisse können helfen, dass vergleichbare Bauvorhaben zukünftig schneller und möglicherweise noch kostengünstiger errichtet werden.

Die Erfahrungen mit dem Bauvorhaben haben gezeigt, dass im Baugewerbe ein großer Weiterbildungsbedarf besteht. Der Bau von energieeffizienten Gebäuden macht eine integrale Planung unter frühzeitiger Einbindung aller Fachrichtungen notwendig. Dies gilt auch für die bauausführenden Firmen, die gewerkeübergreifend den Bauprozess verfolgen sollten. So könnten viele Mängel in der Bauausführung, die auch für die Handwerksbetriebe zu höheren Kosten führen, vermieden werden.

Im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung des beschriebenen Bauvorhabens werden alle für die Erstellung des Fabrikgebäudes relevanten Stoffströme mit kumuliertem Energieverbrauch ermittelt und dokumentiert. Das bedeutet, dass der energetische Aufwand für die Herstellung, Nutzung und Entsorgung der verwandten Materialien errechnet werden kann. Die Ergebnisse sind Bestandteil einer Gebäudedokumentation, die zur Zeit erarbeitet wird.

► PROJEKTADRESSEN

- Technische Universität Darmstadt
Institut für Statik
Prof. Dr.-Ing.
Johann-Dietrich Wörner
Sabine Giebenhain
Alexanderstraße 7
64283 Darmstadt
 - SurTec GmbH
Patricia Preikschat
SurTec-Str. 2
64673 Zwingenberg
 - Passivhaus Institut Darmstadt
Dr. Wolfgang Feist
Søren Peper
Rheinstraße 44-46
64283 Darmstadt
 - Atelier für Architektur
Martin Zimmer
Gutenbergstraße 45
64289 Darmstadt
- Ansprechpartner SolarBau**
- Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Dr. Karsten Voss
Heidenhofstraße 2
79110 Freiburg

► ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

Literatur

- Voss, K.; Löhnert, G.; Wagner, A.:
SolarBau: MONITOR. Energieeffizienz und Solarenergienutzung im Nichtwohnungsbau. Konzepte und Bauten. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE), Freiburg. Gruppe Solares Bauen (Hrsg.): Jan. 2001. 80 S., 1. Aufl. € 14,32. Bezug: Informationsdienst BINE
- Peper, S.; Feist, W. (Passivhaus Institut, Darmstadt): Wissenschaftliche Begleitung, Qualitätssicherung und Messdatenauswertung beim Projekt „Fabrik als Passivhaus“. Zwischenbericht. Oktober 2001.
- Wörner, J.-D.; Boxheimer, K.; Giebenhain, S. (Technische Universität Darmstadt. Institut für Statik): Wissenschaftliche Begleitung des Vorhabens „Fabrik als Passivhaus“. Zwischenbericht. Okt. 2001.

Service

- Ergänzende Informationen wie Literatur, Adressen, Ansprechpartner und Internet-Links sind unter www.bine.info, „Service/Infoplus“ abrufbar

PROJEKTORGANISATION

■ Förderung

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)
Willemombler Str. 76
53123 Bonn

Projekttträger Jülich (PTJ) des BMWi
Forschungszentrum Jülich GmbH
Dr. Hans-Georg Bertram
52425 Jülich

■ Förderkennzeichen

0335006V, W

IMPRESSUM

■ ISSN

0937 – 8367

■ Herausgeber

Fachinformationszentrum Karlsruhe,
Gesellschaft für wissenschaftlich-technische
Information mbH
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.

■ Redaktion

Micaela Münter

BINE – INFORMATIONEN UND IDEEN ZU ENERGIE & UMWELT

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

BINE informiert über neue Energietechniken und deren Anwendung in Wohnungsbau, Industrie, Gewerbe und Kommunen.

BINE bietet Ihnen folgende kostenfreie Informationsreihen

- Projekt-Infos
- Profi-Infos
- basisEnergie

Nehmen Sie mit uns Kontakt auf, wenn Sie vertiefende Informationen, spezielle Auskünfte, Adressen etc. benötigen, oder wenn Sie allgemeine Informationen über neue Energietechniken wünschen



BINE

Informationsdienst

Fachinformationszentrum Karlsruhe
Büro Bonn
Mechenstr. 57
53129 Bonn

Fon: 0228 / 9 23 79-0
Fax: 0228 / 9 23 79-29

eMail: bine@fiz-karlsruhe.de
Internet: www.bine.info