



BINE

Informationsdienst

Mit der Sonne arbeiten

Abb 1



- ▶ **Primärenergetische Kennwerte für Fabrikgebäude sehr niedrig**
- ▶ **Nullemission ist erreichbar**
- ▶ **Be- und Entladung der LKWs im Gebäude reduziert Lüftungswärmeverluste**
- ▶ **Wärmepumpenbetrieb muss optimiert werden**

Das Firmengebäude fasst Verwaltung und Produktion zusammen. Kollektoren und Solargeneratoren auf dem Dachtragwerk der Fabrik sorgen nicht nur für Energie, sondern zeigen auch weithin, was im Gebäude produziert wird.

Der Wunschzettel der Bauherren war lang: das neue Gebäude der Firma Solvis sollte Produktion und Verwaltung unter einem Dach vereinen, ökonomische Arbeits- und Produktionsabläufe und kurze Kommunikationswege ermöglichen sowie komfortable Arbeitsplätze mit Tageslicht und durchgehend angenehmen Innenraumtemperaturen bieten. Das Ganze mit ansprechender Architektur aus umweltfreundlichen Baumaterialien und der Energieverbrauch nach Möglichkeit komplett durch regenerative Energien gedeckt. Kurzum: der Neubau sollte Funktionalität, Ästhetik und Umweltfreundlichkeit vereinen. Und natürlich musste auch der Preis stimmen.

Eine intensive Zusammenarbeit zwischen Auftraggebern, Architekten und Ingenieuren war grundlegend für solche Ziele. Um ein stimmiges Konzept zu entwickeln, haben die Planer zuerst die Arbeits- und Produktionsabläufe der Fabrikation analysiert und optimiert, z. B. durch eine Produktion nach Kundenbedarf, die eine kundenspezifische Fertigung, verkürzte Lieferzeiten und gesenkte Materialbestände ermöglicht. Der Energiebedarf des Gebäudes und der Haustechnik wurde auf der Grundlage des Preis-Leistungs-Verhältnisses für jede

Einsparmaßnahme minimiert, dabei wurden sowohl Maßnahmen zur Energieeinsparung als auch zur Verbesserung der Energieversorgung in Betracht gezogen. Eine Herausforderung war es, ein energiesparendes Lüftungskonzept für die Produktion zu entwickeln, das die logistischen Anforderungen für einen reibungsfreien Betriebsablauf berücksichtigt.

Ergebnis ist ein sehr niedriger Wärmebedarf von 23 kWh/m²a (nach WSchVo 95), der 80% unter den Anforderungen für einen konventionellen Industrieneubau liegt. Das Gebäude wurde mit mehreren Preisen ausgezeichnet.

Und der ökologische Anspruch endet nicht an den Fabrikatoren: um einen umweltfreundlichen Arbeitsweg zu ermöglichen, bietet das Gebäude direkte Anbindung an den ÖPNV und eine Fahrrad-Parkanlage sowie Duschen für die Radler.

Der erhöhte Aufwand für die integrale Planung und das intensive Gebäudemonitoring wurden im Rahmen des Förderkonzepts SolarBau vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) finanziell unterstützt. Die sicherlich interessanteste Frage war, ob die Zielstellung "Nullemissionsfabrik" erreicht werden kann.

► Gebäudekonzept

Der Entwurf fasst alle Nutzungsbereiche in einem kompakten Bau zusammen. Die Produktion ist durch einen zentralen Flur gegliedert: auf der einen Seite die Montagebereiche, auf der anderen das Auslieferungslager. An diese Bereiche schließen jeweils Vorbauten an zur Warenanlieferung bzw. -verladung mit LKWs innerhalb der thermischen Hülle. Entlang des zentralen Flures liegen ebenerdig sämtliche Funktionsnebenräume und Sanitäreinrichtungen, auf einer Galerie im 1.OG ist die gesamte Lüftungstechnik sichtbar. Aufenthaltsräume und der Großteil der Büros sowie der Entwicklungsbereich sind über zwei Etagen mittig in das Produktionsgebäude integriert. Sie umfassen einen schmalen Hof. Ein weiterer zweigeschossiger Trakt mit Büros ist an der Südostseite des Gebäudes angeordnet. Markant ist das außen liegende Stahl-Tragwerk, das auch als Unterkonstruktion für die Solarsysteme dient. Der dadurch stützenfreie Produktionsbereich ist flexibel nutzbar, zugleich ist das beheizte Luftvolumen

Abb 4: Die Tore der Vorbauten für die Warenanlieferung sind in der Regel nie gleichzeitig geöffnet



Abb 2: Gebäudesteckbrief

Bauherr / Nutzer	SOLVIS GmbH & Co KG
Architektur	Banz + Riecks Architekten BDA, Bochum
Energiekonzept	Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg
Haustechnik	solares bauen GmbH, Freiburg
Standort	Braunschweig
Planungs- und Ausführungszeitraum	Wettbewerb 9/2000 · Fertigstellung Frühjahr 2002
Baukonstruktion	Stahltragwerk mit hochwärmegedämmten Holz-Leichtbauteilen
HNF (Hauptnutzfläche), beheizt	8.120 m ²
Mittlere Raumhöhe (NRI/NGF)	5,7 m
BRI (Bruttorauminhalt) nach DIN 277	54.740 m ³
A/V-Verhältnis	0,36 m ⁻¹
Bauwerkskosten (KG 300 + 400)	113 Euro pro m ³ BRI

Abb 3: Luftbild der Fabrikanlage



um 15% reduziert. Aus Gründen der Lastabtragung und der thermischen Speicherefähigkeit sind der Flurbereich genauso wie die Wände der Büros aus Stahlbeton. Flachdächer ($U=0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$) und Wände ($U=0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$) der Fertigungshalle sind statisch optimierte, hochgedämmte Leichtbauteile in Holzrahmenbauweise. Die Fensterbänder der Halle haben eine Zweifach-Wärmeschutzverglasung ($U_w=1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$; $g=58\%$). Die Fassade der Büros besteht aus einer hohen, teilweise mattierten Dreifach-Wärmeschutzverglasung ($U_w=1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$; $g=46\%$). Die Öffnungsflügel sind Holzpaneele mit Vakuumdämmung. Vor sommerlicher Überhitzung schützen außen liegende, zweigeteilte Lamellenjalousien.

„Nullemission“ erreichen

Nullemissionsgebäude haben das Ziel, ihren Energiebedarf ohne CO₂-äquivalente Emissionen zu decken. Dabei ist das Konzept flexibel bezüglich der Maßnahmen: je nach objektspezifischen Randbedingungen wird entschieden, ob es sinnvoller ist, weitere Energiesparmaßnahmen durchzuführen oder zusätzlich regenerative Energie zu erzeugen. In der Regel ist keine autarke Energieversorgung angestrebt, sondern eine ausgeglichene Bilanz.

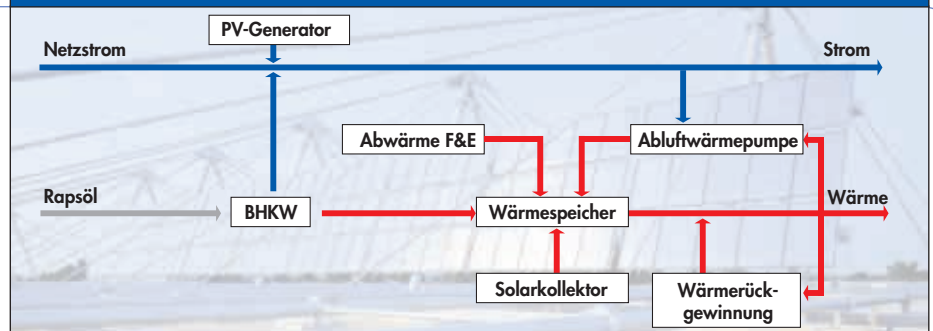
Als regenerative Energieträger kommen Sonne, Wind- und Wasserkraft oder Holz bzw. Rapsöl in Frage. Die konventionelle Produktion von Rapsöl verursacht allerdings CO₂-Emissionen. Durch die zusätzliche Netzeinspeisung von regenerativ erzeugtem Strom, beispielsweise aus einer Photovoltaik-Anlage, kann die Energieversorgung mit einem Rapsöl-BHKW rechnerisch auch bei konventionell erzeugtem Rapsöl CO₂-neutral erreicht werden.

► Energieversorgung

Um den Energiebedarf des Gebäudes CO₂-neutral zu decken, liefern ein Rapsöl-BHKW und eine PV-Anlage Strom, deren Überschüsse ins Netz eingespeist werden. Die Kapazitäten der wirtschaftlich und statisch auf 600 m² limitierten PV-Anlage setzen gleichzeitig die Grenzen für den maximal möglichen, CO₂-neutral gedeckten Strombedarf (12,5 kWh/m²a).

Das BHKW, thermische Solarkollektoren und die Abwärme der Entwicklungsabteilung (Versuchsstände für Heizkessel), die ebenfalls den Pufferspeichern zugeführt wird, decken den Wärmebedarf. Weiterhin

Abb 5: System der Energieversorgung



speichern die Tanks der Sprinkleranlage (500 m³) die Wärme der solarthermischen Anlage und wirken als Strahlungsheizung in

der Halle. Auch die Abwärme aus der EDV-Zentrale dient im Winter als Heizungsunterstützung der Lagerhalle.

► Heizung und Lüftung

Für Heizung und Lüftung wurden zwei unterschiedliche Systeme gewählt: Aufgrund des großen Volumens war es wesentlich preiswerter, die Hallen über die Lüftung mit Wärmerückgewinnung zu heizen als dafür Radiatoren oder Deckenstrahlplatten zu verwenden. Die Büros sind kleinteiliger und erfordern einen erhöhten Aufwand bei der Einzelraumregelung. Hierdurch ergab sich ein Investitionskostenvorteil für Radiatoren. Ein zusätzliches Lüftungssystem in den Büros gewährleistet im Winter eine hohe Raumluftqualität und dient im Sommer der passiven Kühlung über Nachtlüftung. Aufgrund des besten Kosten-Nutzen-Verhält-

nisses fiel die Entscheidung für ein einfaches Abluftsystem mit Wärmerückgewinnung über eine Abluftwärmepumpe. Die Frischluft wird im Brüstungsbereich durch einen Zuluftkasten in der Außenwand in den Raum geführt, im Winter in Verbindung mit Konvektion der Heizkörper. Die Abluft fließt über automatisch öffnende Klappen oberhalb der Bürotüren zunächst durch die Flure und wird in den Nebenräumen abgeführt. Tagsüber wird die Lüftungsanlage in Abhängigkeit der Außentemperatur mit einem Luftwechsel zwischen $0,5 \text{ h}^{-1}$ und $1,0 \text{ h}^{-1}$ betrieben. Die sommerliche Nachtlüftung erfolgt mit einem 2,5-fachen Luftwechsel.

Die EDV-Zentrale wird in der Übergangszeit mittels Umluft aus der benachbarten Produktionshalle gekühlt. Bei Raumtemperaturen von mehr als 25°C läuft eine konventionelle Kältemaschine.

Voraussetzung für die effektive Funktion der Lüftungssysteme ist eine hohe Dichtheit der Gebäudehülle (Blower-door-Testergebnis: $n_{50}=0,22 \text{ h}^{-1}$) und die Begrenzung des unkontrollierten Luftaustauschs bei der An- und Auslieferung. Dies wird dadurch erreicht, dass die LKWs im Gebäude beladen werden und dass die Schnellauftore gegeneinander verriegelt sind, also nicht gleichzeitig geöffnet sein können.

► Energiekonzept: Systemkomponenten

System	Komponenten	Details
Heizung	Thermische Solaranlage	171 m ² , 3 Felder auf Tragwerk, 20 MWh/a (Planung)
	Rapsöl-BHKW	Thermische Leistung 115 kW, Nutzwärme 180 MWh/a (Planung)
	Abwärme F&E-Abteilung / Verschiedene Kessel	Versuchsstände für Entwicklungsabteilung, speisen in Pufferspeicher der Heizzentrale
	Radiatoren	in Büros, Niedertemperatur-Flächenheizkörper
	2 Abluft-Wärmepumpen	9,5 kW / 6,1 kW Abluft aus den Büros, speisen in Heizung
	Lüftungsanlage mit WRG	in Halle, Wärmerückgewinnungsgrad 78%
Lüftung / Kühlung	Abluftanlage	in Büros, Zuluft über Brüstungselemente
	Sommerliche Nachtlüftung	2,5-facher Luftwechsel
	Kältemaschine (Serverraum)	Split-Gerät (nachgerüstet)
	Umluftkühler (Serverraum)	Luftverbund mit angrenzender Halle
Belichtung	Natürliche Belichtung	Büros: großflächige Verglasung Halle: Oberlichter und Fensterbänder
	Sonnen- und Blendschutz	Büros: Satinierte Gläser und zweigeteilte Lamellenjalousien
	Kunstlicht	TL 5 Leuchten, elektronische Vorschaltgeräte, tageslichtabhängig gesteuert
Regelung	EIB	Elektrik
	Bus	Haustechnik
Stromversorgung	PV-Anlage	auf Beladezonen und Flachdach, 52 kW _p , 45 MWh/a
	Rapsöl-BHKW	elektr. Leistung 100 kW, Stromerzeugung 160 MWh/a
Warmwasserbereitung	Thermische Solaranlage	s.o.

► Tageslicht und Beleuchtung

Durch die konsequente Nutzung des Tageslichts in Kombination mit energieeffizienter künstlicher Beleuchtung ist der Energieverbrauch hier minimiert. Die Produktionshalle erhält Tageslicht über eine Vielzahl an Oberlichtern sowie Fensterbänder in der Fassade. Das Kunstlicht wird über einen Außenhelligkeitssensor automatisch tageslichtabhängig gedimmt. Die installierte Leistung beträgt 8 W/m^2 für eine Nennbeleuchtungsstärke von 200 lux im Lager und 300 lux in der Produktion. Einzelne Bereiche haben zusätzliche Arbeitsplatzleuchten.

Die Büros sind über Sichtfenster und lichtstreuende, satinierte Gläser oberhalb der Sichtbereiche natürlich belichtet. Simulationen ergaben einen Tageslichtquotient im Bereich der Arbeitsplätze von im Mittel 4,5%. Lamellenjalousien, die im oberen Bereich Tageslicht umlenken, bieten einen kombinierten Sonnen- und Blendschutz.

► Betriebserfahrungen

Seit Anfang 2003 wird das Gebäude mit seinen Energieflüssen kontinuierlich messtechnisch erfasst. Die Datenanalyse führte zu einer Reihe von Optimierungsvorschlägen und Fehlerkorrekturen, vor allem für Pumpenbetrieb und Software.

Der Energieverbrauch im Jahr 2004 unterbietet die Zielwerte des Förderkonzepts SolarBau deutlich. Der Primärenergieverbrauch liegt insgesamt bei $73 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, davon produzieren BHKW und PV-Anlage $41 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Der solare Deckungsgrad beträgt ca. 14,4%. Dennoch überschreiten die Werte im Betrieb die Planungsannahmen um 20% (Wärme) bzw. 25% (Strom).

Den erhöhten Wärmeverbrauch verursachen

u. a. die Wärmeverluste im Betrieb der Wärmerversorgungsanlagen. Außerdem wird bereits bei Außentemperaturen um die 15°C mit der Beheizung begonnen (Planung: 12°C). Ein Grund des um rund 45 MWh/a höheren Primärenergieverbrauchs beim Strom ist die im Vergleich zur Planung entscheidend erhöhte Produktion, die entsprechend mehr Energie benötigt. Im Bereich der Gebäudetechnik trägt eine unvollständige Umsetzung bzw. Änderung des Konzepts zum erhöhten Stromverbrauch bei. So benötigen die Lüftungsanlagen mehr Strom als konzipiert. Die nachgerüstete mechanische Kühlung des Serverraums schlägt mit ca. $7,5 \text{ MWh/a}$ zu Buche. Zudem wurden bis 2005 nur we-

nige energiesparende Computer und Monitore genutzt, da zunächst die vorhandene Ausstattung übernommen wurde.

Die Temperaturen einzelner Büroräume lagen im Sommer 2004 während 9% der Betriebszeit über 25°C und waren damit höher als geplant. Grund dafür dürften die nicht richtig funktionierenden Lüftungsanlagen bzw. Außenluftventile für Bürolüftung und Nachtkühlung sein. Da die geplanten Luftmengen nicht erreicht wurden, funktionieren auch die Abluft-Wärmepumpen der Bürobereiche nicht zufrieden stellend und bleiben im Betrieb deutlich hinter den Soll-Vorgaben zurück. An einer Verbesserung wird gearbeitet.

► Fazit

Das Fabrikgebäude ist mit seinem umweltorientierten Ansatz vorbildlich. Durch bauliche und technische Maßnahmen wurde der Energieverbrauch auf 28,9 kWh/m²a (Wärme) bzw. 25,1 kWh/m²a (Strom gesamt) minimiert. Damit liegen die Energiepreise des Gebäudes weit unter dem heutigen Standard. Unsichere Aussagen aufgrund größerer Störzeiten der Messtechnik sowie technische Anfangsschwierigkeiten, die sich im ersten Evaluationsjahr auf die Ergebnisse auswirkten, lassen für die Zukunft noch niedrigere Werte erwarten.

Durch das betriebsbegleitende Monitoring konnten Fehler entdeckt und beseitigt werden. Probleme bereiten vor allem die Wärmepumpen, die hinter der geplanten Leistung zurückbleiben.

Die Umsetzung des Anspruchs „Nullemissionsfabrik“ zu beurteilen, ist kompliziert. Vereinfachend kann man die Primärenergiebilanz heranziehen. Die CO₂-Bilanz ergibt sich unter Berücksichtigung der jeweiligen Emissionsfaktoren für Energiebereitstellung und Energiebezug. De facto ist die Primärenergiebilanz zwischen Verbrauch und Produktion zur Zeit nicht ausgeglichen. Weil die Abwärme aus der Entwicklungsabteilung in das Heizkonzept einbezogen ist, ist der Energieverbrauch immer an den Betrieb gekoppelt. In diesem Falle entstand durch Versuche an Heizkesseln mehr Abwärme als in der Planung angenommen, die damit Wärme aus dem BHKW ersetzt. Dies zieht eine entsprechend geringere Stromproduktion durch das BHKW nach sich. Es ersetzt also mit seiner Netzeinspeisung weniger Strom aus konventioneller Erzeugung. Schwierig ist es weiterhin, die in den Versuchsständen produzierte Wärme primärenergetisch zu beurteilen: Handelt es sich um Abwärme, die ohnehin produziert und bei Nicht-Berücksichtigung verloren ginge oder muss man die Wärme als reguläre Heizenergie ansetzen? Würde man die Energieversorgung des Gebäudes von der Abwärme der Entwicklungsabteilung abkoppeln, könnte zwar auf dem Papier eine ausgeglichene Bilanz entstehen, aber die Wärme bliebe ungenutzt. Da der zusätzlich gekaufte Strom ebenfalls aus regenerativen Energiequellen stammt, wird das Ziel Nullemission letztlich doch erreicht, wenn auch nicht aus eigener Kraft. Würde das Gebäude planungsgemäß betrieben, kann man davon ausgehen, dass das Nullemissions-Konzept aufginge. Das Thema Nullemission ist also stark von Rechenansätzen abhängig. Ziel muss es in jedem Fall bleiben, die CO₂-neutrale Energieversorgung wirtschaftlich und zweckgemäß zu erreichen.

► PROJEKTADRESSEN

- **SOLVIS GmbH & Co KG**
Helmut Jäger
Grotian-Steinweg-Str. 12
38112 Braunschweig
- **Architektur**
Banz + Riecks Architekten BDA
Dietmar Riecks
Friederikastr. 86
44789 Bochum
- **TGA, Energiekonzept**
solares bauen GmbH
Martin Ufheil
Emmy-Noether-Str. 2
79110 Freiburg
- **Energiekonzept, Tageslichtplanung, Gebäudesimulation**
Fraunhofer ISE
Sebastian Herkel
Heidenhofstr. 2
79110 Freiburg
- **Monitoring**
Trainings- und Weiterbildungszentrum Wolfenbüttel e. V.
Michael Voigt
Am Exer 9
38302 Wolfenbüttel

► ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

Literatur

- Banz + Riecks Architekten, Bochum (Hrsg.): Solvis – Auf dem Weg zu Nullemissionsfabrik. Leinfelden-Echterdingen: Koch, 2002. 98 S., ISBN 3-87422-803-7. AIT-Edition. 29,00 Euro
- Voss, K. (Hrsg.); Löhnert, G. (Hrsg.); Herkel, S. (Hrsg.) u.a.: Bürogebäude mit Zukunft. Konzepte, Analysen, Erfahrungen. Köln: TÜV-Verl., 2005. 282 S. + CD-ROM. 1. Aufl., ISBN 3-8249-0883-2. 49,00 Euro

Internet

- www.solarbau.de
- www.solvis.de

Service

- Ergänzende Informationen wie Literatur, Adressen und Internet-Links sind bei BINE erhältlich oder im Internet unter www.bine.info (Service/Infoplus) abrufbar

Abbildungsnachweis

- Abb. 1, 3, 4: SOLVIS, C. Richters
Abb. 5: SolarBau:MONITOR

PROJEKTORGANISATION

■ Förderung

Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA)
11019 Berlin

Projekträger Jülich (PTJ) des BMWA
Forschungszentrum Jülich GmbH
Markus Kratz
52425 Jülich

■ Förderkennzeichen

0335007H
0335007O

IMPRESSUM

■ ISSN

0937 – 8367

■ Herausgeber

FIZ Karlsruhe GmbH
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 Arbeit geförderter Informationsdienst der Fachinformationszentrum (FIZ) Karlsruhe GmbH.

Kontakt:

Fragen zu diesem **projektinfo**?
Wir helfen Ihnen weiter – wählen Sie die BINE Experten-Hotline:

Tel. 0228 / 9 23 79 - 44



BINE

Informationsdienst

FIZ Karlsruhe GmbH, Büro Bonn
Mechenstraße 57
53129 Bonn

Fon: 0228 / 9 23 79-0

Fax: 0228 / 9 23 79-29

E-Mail: bine@fiz-karlsruhe.de

Internet: www.bine.info