

# DAS SONNENSCHIFF



Inklusive DVD mit Filmbeiträgen  
zum innovativen Energiekonzept

Dienstleistungszentrum  
mit innovativem Energiekonzept  
Ein ökologisches Modell  
für die Zukunft

Gefördert durch



Deutsche Bundesstiftung Umwelt

---

## HERAUSGEBER



Energieagentur Regio Freiburg GmbH  
Emmy-Noether-Strasse 2  
79110 Freiburg  
[www.energieagentur-freiburg.de](http://www.energieagentur-freiburg.de)

---

## KONZEPTION TEXT · REDAKTION

Silke Tebel-Haas  
Rainer Schüle  
Evelin Richter  
Energieagentur Regio Freiburg GmbH

---

## GESTALTUNG



[www.triolog-web.de](http://www.triolog-web.de)

---

## GEFÖRDERT DURCH



Deutsche Bundesstiftung Umwelt  
Postfach 1705  
49007 Osnabrück

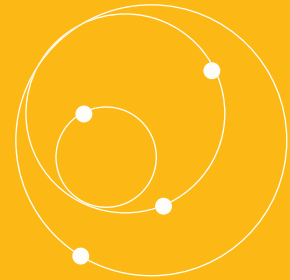
---

## BILDNACHWEIS

Solarsiedlung GmbH  
Stahl+Weiß, Büro für SonnenEnergie  
Energieagentur Regio Freiburg  
triolog-freiburg

---

1. Auflage, März 2010  
© Energieagentur  
Regio Freiburg GmbH  
Alle Angaben ohne Gewähr  
Die Vervielfältigung der  
Inhalte – auch auszugsweise –  
bedarf der Zustimmung durch  
die Solarsiedlung GmbH.



---

	<b>Vorwort</b>	<b>5</b>
--	----------------	----------

---

<b>1</b>	<b>Einführung: Das Schiff in der Stadt</b>	<b>6-9</b>
	Die Solarsiedlung: Ein ökologisches Wohnprojekt	
	Dienstleistungszentrum Sonnenschiff	
	Aufbau und Lage des Sonnenschiffs	
	Das Sonnenschiff als Plusenergiehaus®	

---

<b>2</b>	<b>Das innovative Energiekonzept</b>	<b>10-15</b>
	Klimatisierung und Lüftung	
	Vakuumisulationspaneele	
	Latentwärmespeicher (PCM)	
	Licht und passive Wärmenutzung	
	Holzfassade	

---

<b>3</b>	<b>Das Planungsbüro und der Bauherr</b>	<b>16-17</b>
	Rolf Disch SolarArchitektur	
	Solarsiedlung GmbH	

---

<b>4</b>	<b>Wissenschaftliche Begleitung und Auswertung der Energieeinsparung</b>	<b>18-25</b>
	Wärmeverbrauch	
	Stromverbrauch	
	Solarstromproduktion	
	Primärenergiebilanz	
	Thermischer Komfort und Funktion der Nachtlüftkühlung	
	Langzeitstudie der Bergischen Universität Wuppertal	

---

<b>5</b>	<b>Nutzung des Sonnenschiffs</b>	<b>26-28</b>
	Gewerbliche Nutzer des Sonnenschiffs	
	Nutzerbefragung	

---

	<b>Projektpartner und Publikationen</b>	<b>29</b>
	<b>Auszeichnungen</b>	<b>30</b>

---



## EIN SCHIFF AUF KURS IN EINE ERFOLGREICHE ZUKUNFT

In einer Zeit des Klimawandels, der auslaufenden Ressourcen und der vielen noch ungenutzten Chancen auf dem Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung ist es wichtig, Zeichen zu setzen für die Nutzung regenerativer Energieträger. Rolf Disch hat mit dem Sonnenschiff ein erfolgreiches Beispiel für modernes und zukunftsweisendes Bauen realisiert.

Das erste Dienstleistungsgebäude der Welt, das als Plusenergiehaus® gebaut wurde, setzt technisch neue Maßstäbe. Als Geschäfts- und Bürogebäude mit einer technisch optimierten und ästhetisch gestalteten Energiefassade zeichnet sich das Sonnenschiff durch einen besonders niedrigen Energiebedarf aus.

Kein Schiff ohne Besatzung: Die Firmen, die sich im Sonnenschiff angesiedelt haben, finden ein ausgezeichnetes Arbeitsklima vor. Mittlerweile wird das Sonnenschiff von vielen verschiedenen Nutzern bewirtschaftet und belebt. Es bietet den Bewohnerinnen der umliegenden Stadtviertel hervorragende Einkaufsmöglichkeiten.

Städtebaulich taucht das Schiff hervorragend in das Häusermeer ein: Zahlreiche Preise und Auszeichnungen, die sein Architekt in den vergangenen Jahren erhielt, bezeugen die architektonische Qualität. Das Sonnenschiff ist weit über die Region hinaus bekannt. Sein Konzept des energieeffizienten Bauens findet mittlerweile weltweit Beachtung und wir hoffen, dass sich das Sonnenschiff bald in eine ganze Flotte moderner zukunftsweisender Gebäude einreihen kann.

*Rainer Schüle*

Rainer Schüle  
Geschäftsführer der Energieagentur Regio Freiburg



## DIE SOLARSIEDLUNG

Ein innovatives Projekt mit einer visionären Idee ist Wirklichkeit geworden. Ein Projekt, das Maßstäbe setzt für ein neues Planen und Bauen in Zeiten des Klimawandels: In den Jahren 2000 bis 2006 realisierte Solararchitekt Rolf Disch in Freiburg Europas modernstes Wohnprojekt - die Solarsiedlung.

Auf 11.000 Quadratmetern errichtete die Solarsiedlung GmbH im Freiburger Stadtteil Vauban solare Reihenhäuser in Holzbauweise und den Gewerbebau „Sonnenschiff“ mit neun Penthäusern. Die 59 farbig unterschiedlich gestalteten Häuser bieten jeweils eine Wohnfläche von 79 bis 200 Quadratmetern. In der verkehrsberuhigten Siedlung haben rund 180 Bewohner ein neues Zuhause gefunden, darunter viele Familien mit Kindern.

Die Besonderheit der Solarsiedlung: Alle Gebäude wurden in der von Rolf Disch entwickelten Plusenergiebauweise realisiert. Das heißt, in der Jahressumme produzieren die Häuser mehr Energie, als sie verbrauchen. Laut einer Monitoringstudie wird von den Wohnhäusern im Jahresmittel ein Plus von 36 kWh/m<sup>2</sup>a (Primärenergie) erzielt. Mit einer ausgeklügelten Lüftung, einer bestmöglichen Wärmedämmung und Nutzung des Sonnenlichts wird eine optimale Energieeffizienz erreicht. Das Markenzeichen der neuen Häuser sind ihre blauen Dächer, die gänzlich aus Solarpaneelen bestehen und aus jedem Haus ein wirtschaftlich rentables Kraftwerk machen.

Für den Gewerbebau Sonnenschiff wurde vom Architekturbüro Rolf Disch ein innovatives Energiekonzept entwickelt, das die langjährigen Erfahrungen in der Plusenergiebauweise aufnimmt und fortführt. Gemeinsam mit dem renommierten Planungsbüro Stahl und Weiß, Büro für Sonnenenergie, wurden die einzelnen Komponenten der Plusenergiehäuser weiterentwickelt und mit dynamischen Simulationsberechnungen auf ihre Wirksamkeit überprüft.



### PLUSENERGIEHAUS®

Beim Plusenergiehaus® handelt es sich um ein Gebäude, das mehr Energie erzeugt, als es verbraucht.

Für Plusenergiehäuser wurde ein dreifaches Ziel gesetzt:

- 100% regenerative Energieversorgung
- emissionsfreier Betrieb
- positive Energiebilanz

Der gewonnene Strom wird ins öffentliche Stromnetz eingespeist. Hinzu kommen wohngesunde Baustoffe und die Umsetzbarkeit der Häuser zu einem marktfähigen Preis.

Die Solarsiedlung mit Sonnenschiff an der Merzhäuser Straße, Freiburg

## DIENSTLEISTUNGSZENTRUM SONNENSCHIFF

Der imposanteste Bau der neuen Solarsiedlung ist das Sonnenschiff: Ein modernes und zukunftsweisendes Wohn- und Geschäftsgebäude, das technisch neue Maßstäbe setzt. Das Sonnenschiff ist das erste Büro- und Dienstleistungsgebäude der Welt, in dem die Plusenergiebauweise angewandt wurde.

Das Sonnenschiff bietet 1.200 Quadratmeter Ladenfläche und 3.600 Quadratmeter Gewerbenutzfläche. Im Erdgeschoss befinden sich ein Supermarkt und eine Drogerie, sowie ein Café. In die zwei Obergeschosse sind Büros und Praxen eingezogen. Oben auf dem Dachgarten stehen neun zweigeschossige Plusenergie-Penthäuser mit markanten Pultdächern. In den beiden Tiefgeschossen befindet sich eine Garage mit 112 Stellplätzen für die Besucher der Ladengeschäfte und die Bewohner der Solarsiedlung. Dadurch bleibt die Solarsiedlung autofrei. Für den Bau der Dienstleistungsimmobilie Sonnenschiff wurden mehr als 20 Millionen Euro investiert.

Markant an dem neuen Bau ist die Farbgestaltung: Die vielfarbigen Lüftungsverblendungen des Berliner Künstlers Erich Wiesner verschaffen dem Sonnenschiff Aufmerksamkeit und einen hohen Wiedererkennungswert.



*„Das Sonnenschiff hat einen eigenen Ausdruck - ein unverwechselbares Erscheinungsbild, das durch den Ort, die Aufgabe, die Technik und den Gestaltungswillen der Architekten bestimmt wurde.“*

*Die hohen energetischen Anforderungen prägten sowohl die äußere als auch die innere Gestaltung. Sie zu einem gelungenen Ganzen zusammenzufügen, war beim Sonnenschiff für alle Beteiligten eine besondere Herausforderung. Diese gelungene Synthese verkörpert das realisierte Gebäude.“*

BERNHARD VESTER  
Dipl.-Ingenieur und Architekt



Das Erdgeschoss des Sonnenschiffs wird ausschließlich gewerblich genutzt.

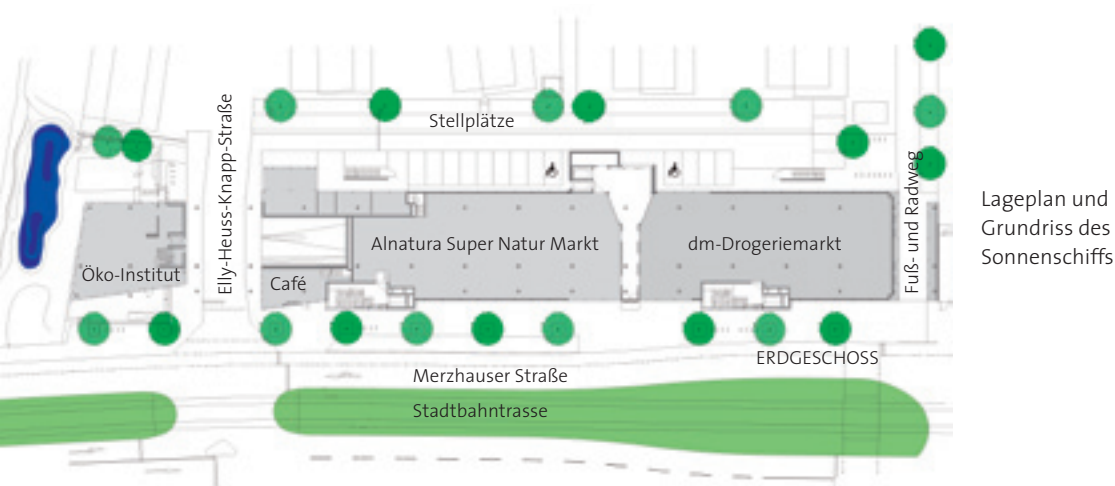
## AUFBAU UND LAGE DES SONNENSCHIFFS

Zum Westen hin wird die Solarsiedlung vom Sonnenschiff begrenzt. Mit einer Gesamtlänge von 125 Metern bildet es einen durchgängigen Schallriegel entlang der Merzhauser Straße und schützt so die dahinter liegende Solarsiedlung vor Verkehr und Straßenlärm.

Zur Straße hin wird die lang gestreckte Fassade des Sonnenschiffs durch zwei Aufzugs- und Treppentürme gegliedert. Eine großzügig gestaltete Vorzone ermöglicht das Bummeln vor den Schaufenstern der Geschäfte im Erdgeschoss. Ein weit auskragendes Dachgesims stellt die Reling dar und markiert als umlaufende Traufkante das darüberliegende Gartengeschoss.

Auf der obersten Ebene des Sonnenschiffs wurden vier Reihen mit neun Penthäusern integriert. Ein durchlaufendes, drei Meter hohes Glaselement auf der Reling schützt die dahinterliegenden Häuser und Gärten vor Schall und Wind. Hierdurch erhalten die Aufenthaltsbereiche zwischen den Penthäusern einen schalltechnischen Standard, der dem eines Wohngebiets entspricht.

Eine öffentliche Durchfahrt ist gleichzeitig Hauptzugang und Tor zur Solarsiedlung. Ein weiterer Durchgang als Fuß- und Radweg im Süden dient der direkten Verbindung der Solarsiedlung mit dem Wohn- und Erholungsgebiet Schlierberg nach Osten und dem neuen Stadtteil Vauban im Westen.



Lageplan und Grundriss des Sonnenschiffs



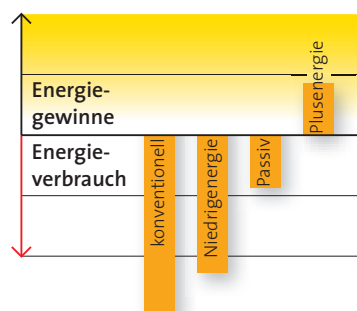


## DAS SONNENSCHIFF ALS PLUSENERGIEHAUS®

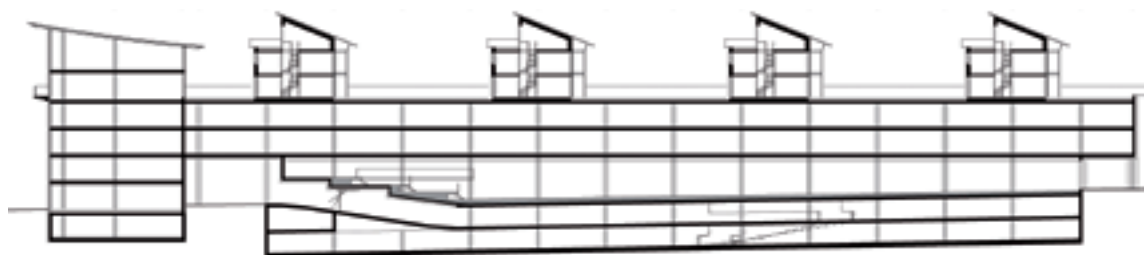
Mit dem Gebäudekonzept Sonnenschiff wurde erstmals die Realisierung eines Geschäftsgebäudes angestrebt, das in seiner Energiebilanz ein Plusenergiehaus® darstellt. Oberstes Ziel war es, den Heizwärmebedarf durch energieoptimiertes Bauen auf ein Minimum zu reduzieren ( $< 30 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ).

Ein Blockheizkraftwerk (BHKW) versorgt das Sonnenschiff mit Wärme. Die Solardächer erzeugen Sonnenstrom: Das Sonnenschiff und die Solarsiedlung erreichen zusammen eine maximale elektrische Leistung von 445 kWp (Kilowattpeak).

Die vom Sonnenschiff insgesamt eingespeiste Energie von rund 110.000 kWh pro Jahr entspricht dem jährlichen Verbrauch von 40 durchschnittlichen Zwei-Personen-Haushalten. Dieser Strom wird ins öffentliche Netz eingespeist und nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vergütet.



Vergleich der Energiebilanz verschiedener Bauweisen



Längsschnitt des Sonnenschiffs



In Zeiten des Klimawandels werden an moderne Büro- und Dienstleistungsgebäude vollkommen neue Anforderungen gestellt: Die Kühlung wird immer wichtiger, eine zentrale Aufgabe für Planer und Architekten. Wie klimatisiert man Gewerbegebäude, ohne dass „neuer Energiehunger“ entsteht?

Die Antwort des Sonnenschiffs ist seine neuartige Energiefassade. Das innovative Energiekonzept für das Sonnenschiff der Solarsiedlung basiert

- auf der Anbringung einer Vakuumdämmung in den Fassadenelementen,
- auf der Nachtlüftung zur Aktivierung der Gebäudemassen (Wände, Decken, Böden) als „Kältespeicher“,
- auf dem Einbau von zusätzlichen „Kälteakkus“ in Form von Latentspeicherplatten im Zwischenwandbereich (Leichtbau).

Durch die Wahl hochwertiger Spezialgläser und automatisch betriebener Verschattungselemente wurde der passive Wärmegewinn optimiert und gleichzeitig die natürliche Beleuchtung maximiert. Darüber hinaus wurde ein eigens entwickeltes Lüftungssystem eingebaut, das den lagebedingten schalltechnischen Anforderungen genügt und gleichzeitig einen großen Nutzerkomfort bei minimiertem Energiebedarf ermöglicht.

Bunte Fassadenelemente verbergen die Be- und Entlüftungstechnik.



## KLIMATISIERUNG UND LÜFTUNG

Zur Aufrechterhaltung einer komfortablen Raumluftqualität werden drei wesentliche technische Elemente eingesetzt:

- automatisch betriebener Sonnenschutz
- kipp- und drehbare Lüftungsflügel
- dezentrale Lüftungsgeräte mit Wärmetauscher

Ein außen liegender Sonnenschutz trägt ganz erheblich zum hohen thermischen Komfort während der Sommermonate bei. Um ein Überhitzen des Gebäudes im Sommer zu vermeiden, werden automatisch betriebene Außenjalousien eingesetzt. Ein manuelles Eingreifen durch den Nutzer ist jederzeit möglich. Im Winter wird die Automatik des Sonnenschutzes deaktiviert.

Die raumhohen Lüftungsflügel werden im Sommer über Nacht geöffnet. Warme Luft entweicht nach außen, kühle Nachtluft strömt nach. Die Raumtemperaturen werden deutlich gesenkt, und Büro- und Arbeitsräume sind so natürlich gekühlt. Ein Vorsatzelement ist als schalldämmende Blende angebracht. Die Lüftungsgitter dienen als Witterungs- und Einbruchschutz. Den über die gesamte Fassade verteilten Lüftungsflügeln sind farbige Blenden vorgesetzt.

Lüftungsflügel und Lüftungsgerät der Fassade



Die Maßnahmen zur thermischen Aktivierung der Gebäudemassen – etwa durch Sichtbetondecken ohne Verkleidungen, die den Effekt mindern würden – kommen so voll zum Zuge: Im Winter fungieren die Massen als Wärmespeicher, im Sommer absorbieren sie nach erfolgter natürlicher Nachtabkühlung tagsüber überflüssige Wärmeenergie aus der Raumluft.

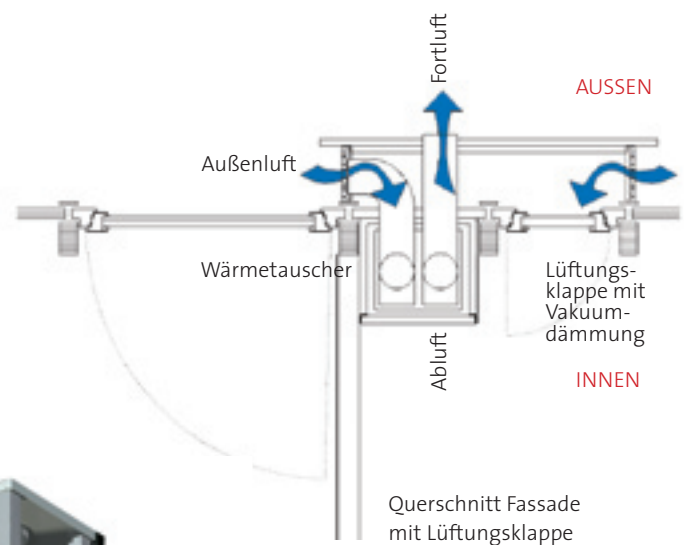
Durch die Nachtluftkühlung wird eine technische Kühlung überflüssig. In einem vergleichbaren konventionellen Bürogebäude müsste eine Kühlanlage mit einem Energiebedarf von ca. 30 kWh pro m<sup>2</sup> und Jahr die angenehmen Raumlufttemperaturen im Sommer bereitstellen.

Das individuell steuerbare Lüftungsgerät mit drei Schaltstufen sorgt für permanente Frischluftzufuhr. Es saugt die verbrauchte Luft im Rauminneren an und führt sie nach außen. Die Außenluft strömt in Gegenrichtung über einen Kreuzstromwärmetauscher im Lüftungsgerät und wird so an das Temperaturniveau der Innenluft angeglichen. Im Sommer wird so die Zuluft gekühlt und im Winter vorgewärmt.

Die dezentralen Lüftungsanlagen erlauben ein relativ kurzes Lüftungskanalnetz und geringe Luftgeschwindigkeiten. Dadurch werden auch die Strömungswiderstände minimiert. In den Lüftungsgeräten werden hocheffiziente Elektromotoren eingesetzt. Insgesamt wird damit ein sehr geringer Stromverbrauch der Lüftungsgeräte erreicht. Wichtigster Aspekt ist die individuelle Steuerungsmöglichkeit gegenüber einer großen zentralen Anlage.

Die Kreuzstromwärmetauscher reduzieren im Vergleich zu konventionellen Lüftungen die Wärmeverluste im Winter um 90%, ebenso effizient wirken sie im Sommer durch Reduktion eines unerwünschten Wärmeeintrags. Diese halten zugleich im Sommer die Raumluft kühl.

Die Grundrisse ermöglichen nachts in vielen Fällen Querlüftungssituationen und stellen damit fortwährend hohe Luftwechselraten sicher.



## KREUZWÄRMETAUSCHER

Ein Kreuzstromwärmetauscher ist ein Luft-Luft-Wärmetauscher zur kontrollierten Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung. Die warme Abluft wird durch einen Stapel speziell geformter und miteinander verbundener Bleche oder Kunststoffplatten geführt und erwärmt diese. Im Gegenstrom wird kühle Zuluft so durch den Stapel geleitet, dass sich die Luftströme nicht vermischen, die Wärme aber untereinander getauscht wird.

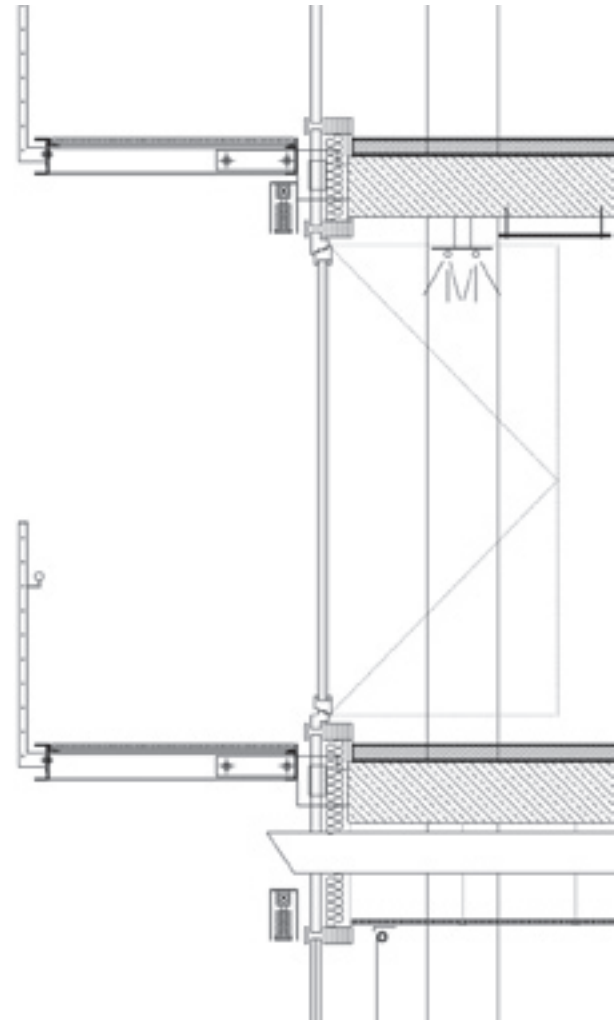


## VAKUUMISOLATIONSPANEELE

Schlanke Wände - Warme Räume

Die Betondecken und Böden im Sonnenschiff sind massiv ausgeführt, die Außenfassade in einer leichten Holz-Pfosten-Riegel-Konstruktion. Die Außenwand des Sonnenschiffs ist mit neuartigen Vakuumpaneelen hochwirksam gedämmt. Diese projektspezifisch entwickelte Wärme- und Schallschutzdämmung konnte optimal in die Pfosten-Riegel-Konstruktion eingepasst werden und erzielt eine ausgezeichnete Wärmedämmung mit sehr dünnen Elementen.

Die Vakuumisulationspaneele sind nur 5 cm dick. Zum Vergleich: Für einen entsprechenden Dämmeffekt wären ca. 30 cm Mineralstoffdämmung nötig. Im Sonnenschiff wurden über 1.000 Quadratmeter Vakuumpaneele eingebaut, zum Teil mit erhöhten Schallschutzanforderungen. Sie garantieren einen besseren Wärmeschutz als konventionelle Dämmstoffe. Außerdem führte der Einsatz der platzsparenden Paneele auch zu einer größeren Mietfläche des Gebäudes.



Längsschnitt  
der Fassade

### VAKUUMISOLATIONSPANEELE (VIP)

Vakuumisulationspaneele sind hochwärmeisolierende Platten, die bei minimaler Dicke eine extrem hohe Wärmedämmfähigkeit bieten. Das druckstabile Kernmaterial besteht aus einem verpressten, mikroporösen Pulver. Die Luft des porösen Kerns wird in einer Vakuumkammer evakuiert, d.h. luftleer gepumpt, und mit einer metallisierten Hochbarrierefolie gasdicht verpackt. Bei gleichem Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) hat eine VIP eine fünf- bis zehnfach geringere Dicke als herkömmliche am Bau eingesetzte Dämmmaterialien wie z.B. Polystyrol, Polyurethan, Glas- oder Mineralwolle.

Vakuumisulationspaneele werden im Hochbau seit mehreren Jahren erfolgreich eingesetzt und bieten eine platzsparende Alternative zu herkömmlichen Dämmstoffen. Die ersten Produkte erhielten im Juli 2007 ihre allgemeine bauaufsichtliche Zulassung.

Außenwand aus Vakuumisulationspaneelen

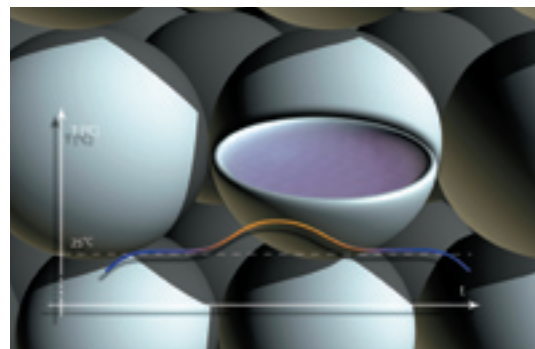


## LATENTWÄRMESPEICHER (PCM)

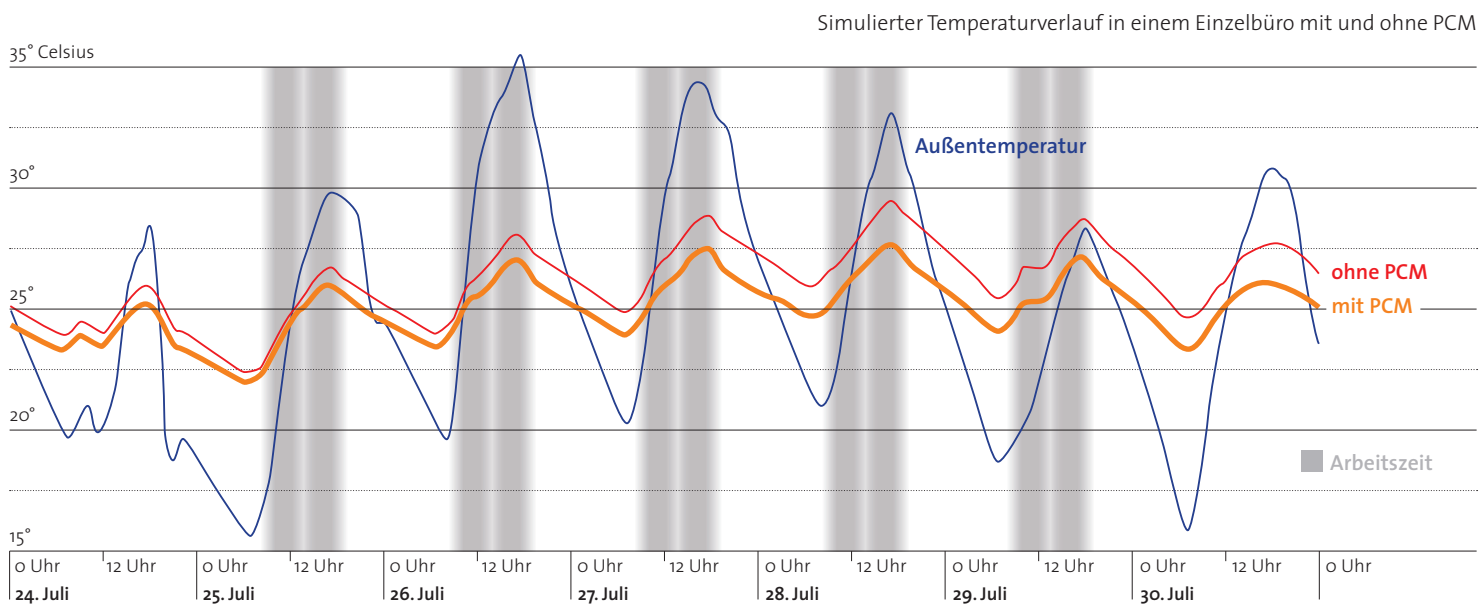
Im Sonnenschiff tragen in einzelnen Büros auch die Innenwände aus Gipskartonplatten mit speziellen Zusätzen zu einem angenehmen Raumklima bei: In den Leichtbauplatten befinden sich mikroverkapselte Kügelchen mit eingelagertem Paraffinwachs.

Dieses PCM (Phase Change Material) ändert im Bereich von ca. 23 bis 26°C seinen Aggregatzustand von fest zu flüssig. Der Wechsel entzieht der Umgebung Wärmeenergie und bewirkt dadurch, dass sich die Raumtemperatur nicht weiter erhöht, solange der Schmelzprozess Energie absorbiert. Die thermische Masse der Leichtbaustoffe wird auf diese Weise stark erhöht.

Aufgrund vorangegangener Simulationen waren die Erwartungen an die Materialien sehr hoch. Es wurde angenommen, dass es zu einer Reduktion der Maximaltemperatur in Innenräumen von circa 1 Kelvin kommen wird und somit zu einer signifikanten Reduzierung der Kühllast im Sommer. In der Praxis konnte der Effekt messtechnisch nicht in der Größe nachgewiesen werden.



Paraffinkügelchen in den Gipsplatten speichern besonders viel Wärme, indem sie ihren Aggregatzustand ändern.

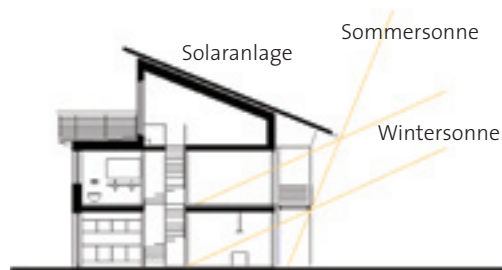


## LICHT UND PASSIVE WÄRMENUTZUNG

Um das Sonnenschiff als Dienstleistungszentrum attraktiv zu gestalten, wurde eine durchgehende Glasfassade für das Gebäude gewählt. Diese Fassade optimiert weiterhin das Energiekonzept. Rund 63 Prozent der Außenwände sind großflächig mit raumhohen, hochisolierten Spezialfenstern verglast. Diese Spezialfenster isolieren stark, ermöglichen aber zugleich, dass ein sehr großer Teil des Lichts in die Räume gelangt. Sie sorgen damit sowohl für eine großzügige Belichtung als auch für eine angenehme Temperatur der Räume. Im Sommer werden die Sonnenstrahlen von der außen liegenden Jalousie abgehalten. Deren Lamellen haben im oberen Teil eine Neigung, die einen noch ausreichenden Lichteintritt gewährleisten. Durch die Dämmung der Fassade und die nach innen wirksame Infrarotreflexion der Scheiben der Büro-, Gewerbe- und Wohnbereiche bleibt die Wärme in den Räumen.

Konventionelle Fassaden haben einen Fassaden U-Wert von  $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Verglasung  $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) und einen g-Wert von  $0,95$ . Im Sonnenschiff wurde eine Fassade mit einem U-Wert von  $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$  und einem g-Wert von  $0,6$  eingesetzt.

In den Penthäusern, die im Gegensatz zur Ost-West-Ausrichtung des Sonnenschiffs nach Süden orientiert sind, werden im Sommer die Sonnenstrahlen von den großen Südvdächern abgeschirmt, während im Winter die Sonne tief ins Gebäude dringen kann.



Das Schema veranschaulicht die unterschiedliche Sonneneinstrahlung in die Penthäuser im Sommer und im Winter (Quelle: Solarsiedlung GmbH)

### U-WERT / g-WERT

Der **U-Wert** ist ein Maß für den *Wärmedurchgang* durch einen Bauteil und wird in Watt pro Quadratmeter und Kelvin ( $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) angegeben. Mit dem U-Wert wird ausgedrückt, welche *Wärmeverlustleistung* (in Watt) pro  $\text{m}^2$  des Bauteils bei einer Temperaturdifferenz von 1 Kelvin entstehen. Je kleiner der U-Wert, desto besser ist die Wärmedämmeigenschaft des Bauteils. Im Vergleich liegt der U-Wert für ein Standardfenster bei  $1,5$ , ein typischer U-Wert für ein Passivhausfenster eher bei  $0,8$  und niedriger.

Unter dem **g-Wert** versteht man jenen Anteil des Sonnenlichts, der durch eine Verglasung dringt. Bei modernen Zweifach-Wärmeschutzgläsern liegt der g-Wert in etwa bei  $0,6$ . Das bedeutet, dass  $60\%$  der eingestrahltten Sonnenenergie in den Raum dringen. Bei Einfachverglasungen liegt dieser Wert etwa bei  $0,87$ . Der Rest wird reflektiert oder von der Scheibe absorbiert.

Sommerliche Abschattung und Licht- und Wärmegewinne wurden durch die Fassadengestaltung optimiert.



## HOLZFASSADE

Das Konstruktionsmaterial der Energiefassade besteht aus Holz, einem traditionellen Baustoff, der sich zunehmend wieder im modernen Wohn- und Gewerbebau durchsetzt. Die Planung und Montage der Holzfassade leistete die Firma Finnforest Merk aus dem bayerischen Aichach.

Zum ersten Mal verwirklichte das Unternehmen eine Fassade nach Passivhausstandard für einen großen Gewerbebau. Verbaut wurden insgesamt 75 m<sup>3</sup> heimische Fichte als Brett-schichtholz in Auslesequalität.

An beiden Treppenhäusern wurden durchgehende Holz-Pfosten-Riegel-Fassaden mit einer Höhe von ca. 15 m ausgeführt, die die Dachkonstruktion – ebenfalls aus Holz – aufnimmt.

Die Wahl des Baustoffes Holz ist – neben seinen ästhetischen Vorzügen – vor allem in seinen ökologischen Qualitäten begründet. Auch bei der sonstigen Planung wurde auf die Verwendung natürlicher, nachwachsender, emissionsfreier und recycelbarer Baustoffe geachtet, um so den Nutzern eine Arbeitsumgebung zu garantieren, die gesundheitliche Belastungen ausschließt.



Rohbau des Sonnenschiffs Mitte 2003



Detail der Holz-Pfosten-Riegel-Fassade

Café im Erdgeschoss des Sonnenschiffes mit Holzfassade





Rolf Disch, Gesellschafter der Solarsiedlung GmbH  
Inhaber des Büros Rolf Disch SolarArchitektur

*„Plusenergie funktioniert – nicht nur architektonisch, sondern auch wirtschaftlich. Das Haus als Sonnenkraftwerk wird sich durchsetzen, denn bei schwindenden fossilen Ressourcen und fortschreitender Klimaerwärmung gibt es gar keine andere Möglichkeit.“*

ROLF DISCH,  
Architekt der Solarsiedlung

### DAS BÜRO ROLF DISCH SOLARARCHITEKTUR

Seit vierzig Jahren baut Rolf Disch mit der Sonne: Nach Gründung des Architekturbüros im Jahr 1969 rückte sehr bald – neben sozialen und politischen Aspekten des Bauens – das Thema Energie und Nutzung der Sonne ins Zentrum der Arbeit.

Schritt für Schritt, von Projekt zu Projekt wurde es möglich, energetisch immer effizientere Gebäude zu konstruieren. Vor fünfzehn Jahren gelang dann der Durchbruch mit dem weltweit ersten Plusenergiehaus®, dem Heliotrop®, welches das Vier- bis Fünffache seines Energieverbrauchs erzeugt.

Mit der Solarsiedlung in Freiburg hat das Büro Rolf Disch SolarArchitektur für den Wohn- und Gewerbebau den Beweis angetreten, dass Plusenergie nicht allein ökologisch sinnvoll und architektonisch gestaltbar, sondern auch wirtschaftlich erfolgreich ist.

Ausgehend von diesen Erfahrungen wurde das Plusenergiehaus® noch einmal weiterentwickelt, so dass es außerordentlich flexibel einsetzbar ist: Als Wohnhaus und als Siedlung kann das Plusenergiekonzept jetzt überall umgesetzt werden, so dass jetzt eine Reihe von Projekten in deutschen Städten und Gemeinden vor der Umsetzung stehen. Auch international steht das Konzept vor dem Durchbruch.

Plusenergiekonzepte können für jeden Gebäudetyp, für jede Nutzung angeboten und realisiert werden: Ideen für Wohnen oder Gewerbe, Verwaltung oder Industrie, für private oder öffentliche Bauherren. Von der solaren Siedlung bis zur solaren Fabrikhalle, von der Plusenergie-Schule bis zum Plusenergie-Hotel.



Das Heliotrop in Freiburg



## DIE SOLARSIEDLUNG GMBH

Eine Siedlung mit positiver Energiebilanz, ein Dienstleistungszentrum in Plusenergiebauweise – vor diesen Innovationen schreckten Ende der 1990er Jahre sowohl die Banken als auch die Bauträger zurück. Zu unwägbare schienen die ökonomischen Risiken eines solchen Sprunges in der Entwicklung nachhaltigen Bauens.

Um die Pionierleistung umsetzen zu können, musste also vom planenden Architekten eine eigene Bauträgergesellschaft anvisiert und privates Kapital akquiriert werden: Die Solarsiedlung GmbH wurde am 24. Juni 1998 mit Sitz in Freiburg gegründet. Ziel der Gesellschaft ist die Entwicklung, Realisierung und Errichtung des Plusenergiehaus®, insbesondere im Siedlungsbau. Hauptziel war aber zunächst die Realisierung der Solarsiedlung am Schlierberg mit dem Sonnenschiff.

Die Gründung – und damit das Projekt – wurde möglich, weil zwei Investoren überzeugt werden konnten, die im Bereich von Nachhaltigkeit und Ökologie ein außerordentliches wirtschaftliches Engagement bewiesen haben: Marli Hoppe Ritter und Alfred Ritter, u.a. Inhaber der Alfred Ritter GmbH & Co. KG Schokoladenfabrik. Zusammen mit dem Architekten Rolf Disch, der auch als Geschäftsführer fungiert, sind sie die Gesellschafter der Solarsiedlung GmbH.

So konnten dann die politischen Entscheidungsträger überzeugt und das Grundstück von der Stadt Freiburg erworben werden. Zwischen 2000 und 2006 wurden Reihe für Reihe die Wohnhäuser gebaut, jeweils wenn sich individuelle Bauherren gefunden hatten. Das Inkrafttreten des Erneuerbare Energien Gesetzes (EEG) im Jahr 2001 und die Einspeisevergütung für Solarstrom machte die Plusenergiehäuser auch wirtschaftlich attraktiv und erleichterte die Vermarktung.

Mehrere Wohnhäuser wurden in vier solaren Immobilienfonds zusammengefasst, die direkt von der Solarsiedlung GmbH emittiert und vermarktet wurden. Auch das gesamte Sonnenschiff wurde nach der Erstellung mit zwei solchen geschlossenen Fonds refinanziert. Die Idee war, vielen Anlegern (ab einem Einstiegsinvestment von 5.000,- Euro) die Möglichkeit einer ethisch-ökologischen Geldanlage zu eröffnen und so Kapital in ein nachhaltiges Investitionsobjekt umzuleiten – und zugleich eine sichere und einträgliche Rendite auszuweisen. Diese Refinanzierung wurde 2009 abgeschlossen.



Marli Hoppe-Ritter  
Gesellschafterin der Solarsiedlung GmbH  
Inhaberin der Alfred Ritter GmbH & Co. KG



Alfred Ritter, Gesellschafter der Solarsiedlung GmbH  
Inhaber der Alfred Ritter GmbH & Co. KG



Die Gesellschafter und Beiräte der Solarsiedlung GmbH

*„Ich engagiere mich gerne dort, wo sich solide, ausgefeilte Solartechnik mit einer besonders intelligenten Form zukunftsfähigen Wirtschaftens verbindet. Bei Rolf Disch und seinem Konzept des Sonnenschiffs habe ich beides beispielhaft vorgefunden.“*

ALFRED RITTER,  
Gesellschafter der Solarsiedlung GmbH

## 4 WISSENSCHAFTLICHE BEGLEITUNG UND AUSWERTUNG DER ENERGIEEINSPARUNG

Das Freiburger Ingenieurbüro Stahl und Weiß, Büro für Sonnenenergie, wurde mit der wissenschaftlichen Begleitung und Auswertung der Energiebilanz im Sonnenschiff beauftragt. Der Auftrag erfolgte im Rahmen des Antrags „Innovative Energiefassade für das Sonnenschiff Freiburg“ der Solarsiedlung GmbH an die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU). Die Schwerpunkte des Büros liegen in technischen Innovationen im Bereich Energiefassaden: Funktionen der Nachtluftkühlung, thermischer Komfort und Auswertung des Strom- und Wärmeverbrauchs.



„Schon in der Planungsphase konnten wir mit dynamischen Gebäudesimulationen und bauphysikalischen Berechnungen zum Erfolg des Projekts beitragen. Die Berechnungen haben zusammen mit Energieverbrauchsmessungen und Untersuchungen zum thermischen Komfort neue Erkenntnisse zur energetischen Gebäudeoptimierung erbracht.“

STAHL+WEISS · Büro für SonnenEnergie

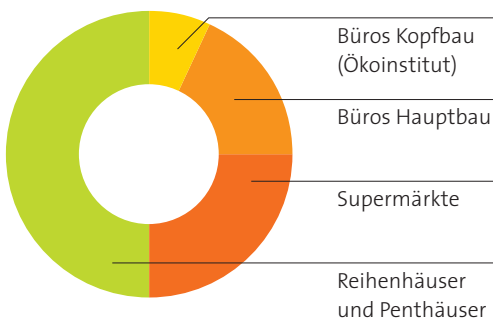
### WÄRMEVERBRAUCH

Die Solarsiedlung wird über einen Nahwärmeanschluss an das Heizkraftwerk Vauban mit Wärme versorgt. Die Wärmeabgabe im Sonnenschiff erfolgt über Heizkörper. Der Wärmeverbrauch wurde am Hauptzähler für das Sonnenschiff über den Zeitraum vom 1.12.06 – 11.12.07 erfasst. Umgerechnet auf ein Jahr verbraucht das Sonnenschiff 203 MWh Wärme.

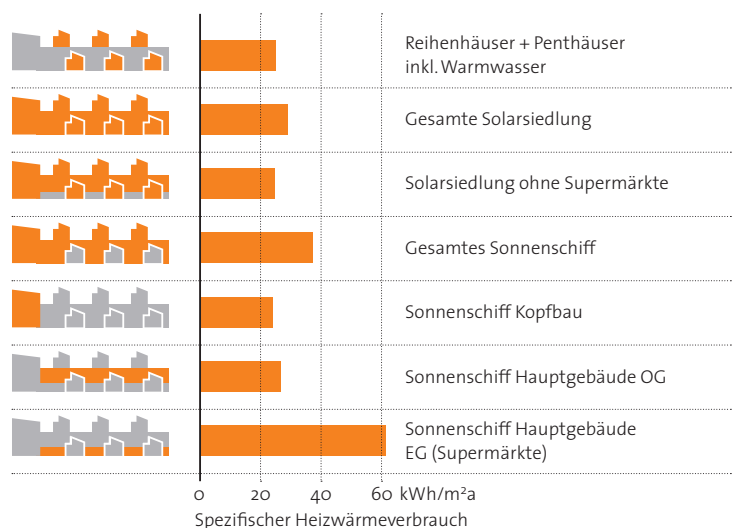
Die Verbrauchsmessungen im Jahr 2007 zeigen, dass die Messergebnisse von den ursprünglichen Annahmen abweichen. In der ursprünglichen Planung war für das Erdgeschoss ein gemischtes Ensemble von Einzelhandelsgeschäften vorgesehen. Tatsächlich konnten ein Bio-Supermarkt und ein in Sachen Nachhaltigkeit engagierter Drogeriemarkt als Mieter gewonnen werden, die für die Mieterstruktur im Haus und für die Infrastruktur im Stadtteil ideal sind. Der Supermarkt und der Drogeriemarkt weisen jedoch Strom- und Wärmeverbräuche auf, die deutlich höher sind als bei „normalen“ Geschäftsräumen: aufgrund der Lüftungsanlagen, der Kühltruhen sowie der längeren Öffnungszeiten.

Um neben dem Gesamtgebäude auch Aussagen für die Einzelbüros treffen zu können, wurde der Wärmeverbrauch eines Büros (mit 289 m<sup>2</sup> Nutzfläche) gemessen. Der spezifische Wärmeverbrauch ist für ein Büro mit 11,3 kWh/(m<sup>2</sup>a) sehr niedrig und liegt witterungsbereinigt mit 14,9 kWh/(m<sup>2</sup>a) noch unter der Passivhaus-Grenze von 15 kWh/m<sup>2</sup>a.

### Wärmeverbrauch im Sonnenschiff und in der Solarsiedlung



### Spezifischer Wärmeverbrauch der einzelnen Gebäudegruppen



## STROMVERBRAUCH

Der Stromverbrauch im Sonnenschiff wurde über die Stromzähler für die einzelnen Bürobereiche sowie Teile der Allgeinstrombereiche vom 01.12.06 bis 11.12.07 ausgewertet. Die Betreiber der Supermärkte haben ihre Stromverbrauchsdaten der letzten zwei Jahre zur Verfügung gestellt.

Der Stromverbrauch für die Wohnhäuser der Solarsiedlung wurde auf Grundlage der Befragung von Dezember 2007 und Werten einer empirischen Erhebung der Universität Wuppertal mit 21 kWh/(m<sup>2</sup>a) angesetzt und auf den gesamten Wohnbereich der Solarsiedlung und der Penthäuser übertragen.

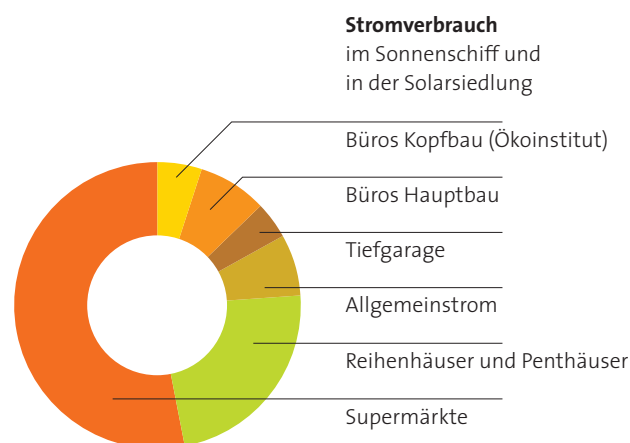
Der spezifische Stromverbrauch in den Büroräumen liegt zwischen 23 und 31 kWh/(m<sup>2</sup>a) und damit deutlich unter dem Standard für Bürogebäude.

Sowohl der im Sonnenschiff befindliche Drogerie- als auch der Supermarkt besitzen allerdings einen höheren Stromverbrauch. In dem Drogeriemarkt liegt er bei 150 kWh/(m<sup>2</sup>a) und in dem Supermarkt bei 436 kWh/(m<sup>2</sup>a). Verursacht wird dies durch die intensiven Verbraucher: Die intensive Beleuchtung, die Lüftungsanlage und die Klimatisierung (Raumluf wie Kühltruhen) in Verbindung mit einer hohen Anzahl von Betriebsstunden (Mo-Sa 8-20 Uhr/16 Uhr). Da in der Vorplanung des Plusenergiekonzepts keine Supermärkte vorgesehen waren, konnte auch dieser erhöhte Strombedarf nicht mitbedacht werden.

Im Supermarkt wurden nachträglich Verbesserungen im Kühlbereich der Lebensmittel vorgenommen. Die früher offenen Schränke wurden mit Glastüren geschlossen.



Der Stromverbrauch wurde in einzelnen Büros im Sonnenschiff ermittelt und ausgewertet.



Wärme- und Stromverbrauch der Gebäudeteile im Jahr 2007

Gebäude	Bezugsfläche [m <sup>2</sup> ]	Wärmeverbrauch		Stromverbrauch	
		[kWh/m <sup>2</sup> a]	[kWh/a]	[kWh/m <sup>2</sup> a]	[kWh/a]
Reihenhäuser + Penthäuser	8.112	25	201.986	21	171.161
Geschäftsräume (Supermärkte)	1.650	61	101.085	240	396.061
Büros Hauptbau OG	2.755	27	73.065	23	63.411
Büros Ökoinstitut (Kopfbau)	1.230	24	29.589	31	38.020
Treppenhäuser	276	0	0	0	0
Tiefgarage	3.594	0	0	8	27.442
Keller	-	-	0	-	0
Allgemeinstrom	-	-	0	-	49.923
Gesamte Solarsiedlung inkl. Sonnenschiff	17.617	23	405.725	42	746.018
Gesamtes Sonnenschiff	9.505	21	203.739	60	574.857

### SOLARSTROMPRODUKTION

Die Solardächer der gesamten Solarsiedlung (also einschließlich Penthäuser und Kopfgebäude des Sonnenschiffs) erzeugen elektrischen Strom, der ins öffentliche Netz eingespeist wird.

Insgesamt sind auf den Gebäuden der gesamten Solarsiedlung Photovoltaikanlagen mit einer Spitzenleistung von 445 Kilowatt (kWp) installiert. 40 kWp finden sich auf dem Dach des Kopfbaus des Sonnenschiffs, das vom Öko-Institut e.V. genutzt wird. Auf den neun Penthäusern sind 72 kWp installiert.

Der gemittelte spezifische solare Ertrag über alle Anlagen von Solarsiedlung, Sonnenschiff und Öko-Institut e.V. beträgt 955 kWh/(m<sup>2</sup>a).

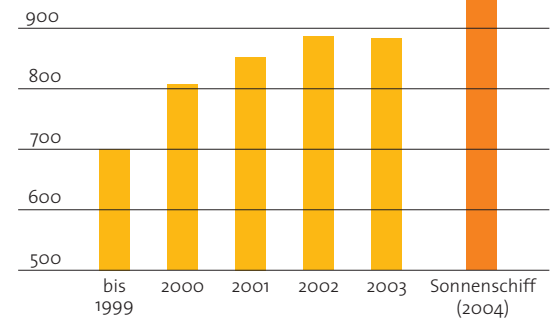
Die vom Sonnenschiff insgesamt eingespeiste Energie von rund 110.000 kWh pro Jahr entspricht dem jährlichen Verbrauch von ca. 40 durchschnittlichen Zwei-Personen-Haushalten.

Das Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (Fraunhofer ISE) erstellte im Jahr 2005 gemeinsam mit der Energieagentur Regio Freiburg einen Leistungsvergleich aller im Freiburger Raum installierten Photovoltaikanlagen. Die Ergebnisse zeigen, dass - je nach Installationsjahr der Anlagen - ihre mittleren Erträge angestiegen sind. Offensichtlich ist dies auf eine „Lernkurve“ bei Herstellern, Installationsbetrieben und Anlagenbetreibern zurückzuführen, die die Stromausbeute neuerer Anlagen kontinuierlich gesteigert hat.

Mit 955 kWh/(m<sup>2</sup>a) liegt das Sonnenschiff im Vergleich zu den Ergebnissen vom Fraunhofer genau im Schnitt.



1.000 kWh/kWp durchschnittlicher Jahresertrag



Vergleich Sonnenschiff mit der Feldstudie des Fraunhofer ISE:

- Durchschnittlicher Jahresertrag pro Kilowatt installierter Leistung in Abhängigkeit vom Jahr der Inbetriebnahme
- Sonnenschiff Jahresertrag 2004

Die Solarstromanlagen der Solarsiedlung

Gebäude	Gebäudenutzfläche [m <sup>2</sup> ]	Anlagenleistung [kWp]	Spezifischer Ertrag [kWh/a]	Strom-einspeisung [kWh/m <sup>2</sup> a]	Einspeisung pro Nutzfläche [kWh/a]
Ökoinstitut	1.004	39,6	955	37.818	37,7
Solarsiedlung	6.890	332,9	955	317.881	46,1
Sonnenschiff inkl. Penthäuser	4.948	72,6	955	69.333	14,0
<b>Gesamt</b>	<b>12.842</b>	<b>445,1</b>	<b>955</b>	<b>425.032</b>	<b>33,1</b>

## PRIMÄRENERGIEBILANZ

Die Primärenergiebilanz wird aus den Strom- und Wärmeverbräuchen als Aufwendung sowie den Erträgen der Solarstromanlagen als Gutschrift gebildet.

In der Planung wurde für Strom mit einem Primärenergiefaktor von 3,0 Kilowattstunden Primärenergie pro Kilowattstunde Endenergie gerechnet. Nach Angaben des Heizkraftwerkbetreibers im Stadtteil Vauban, in dem überwiegend Holzhackschnitzel zur Strom- und Wärmegewinnung eingesetzt werden, lag der Primärenergiefaktor für die Fernwärme bei 0,4.

In der vorliegenden Bilanz wurde mit einem nach EnEV 2007 (Energieeinsparverordnung) aktualisierten Faktor für Strom von 2,7 gerechnet. Für die Fernwärme ist zudem lediglich ein Faktor von 0,9 anzusetzen, da entgegen der ursprünglichen Zusagen des Betreibers ein großer Anteil von Erdgas anstelle von Biomasse verfeuert wird. Von Betreiberseite sind aber deutliche Verbesserungen angekündigt, so dass dann die Primärenergiebilanz des Sonnenschiffs die in der Planungsphase berechneten Werte erreicht oder sogar unterschreitet.

Die Primärenergiebilanz für das Sonnenschiff liegt bei 152 kWh/m<sup>2</sup>a. Dieser Wert ist vor allem auf den Strombedarf der Supermärkte zurückzuführen. Wenn diese Sondersituation herausgerechnet wird, liegt die Primärenergiebilanz nur noch bei 36 kWh/m<sup>2</sup>a. Wenn die Überschüsse in der Primärenergiebilanz der Wohngebäude in der Solarsiedung mit berücksichtigt und die Energieverbräuche der Supermärkte vernachlässigt werden, ergibt sich für das ganze Baugebiet eine Bilanz,

## PRIMÄRENERGIEBEDARF

Der Primärenergiebedarf umfasst zusätzlich zum eigentlichen Energiebedarf eines Energieträgers die Energiemenge, die durch vorgelagerte Prozessketten bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung des Energieträgers benötigt wird. Um eine kWh Energie beim Endverbraucher nutzen zu können, ist der Verbrauch von Primärenergie immer deutlich höher.

Beispiel Strom: Um eine kWh Strom aus der Steckdose zu erhalten müssen ca. 3 kWh Primärenergie im Kraftwerk aufgewendet werden. Verluste entstehen durch Kraftwerks-Wirkungsgrade, Transport, Leitungsverluste, Leckagen, etc.

die bei Null liegt, bzw. im leicht positiven Bereich. Mit Ausweitung der Wärme-Kraft-Kopplung bei der Nahwärmever-sorgung kann die Energiebilanz durch die Stromgutschriften weiter verbessert werden, so dass sich der Primärenergiefaktor von derzeit 0,9 deutlich verringert.

Angesichts des Nutzungsprofils und der derzeitigen externen Probleme beim Heizwärmeeintrag ist bereits die tatsächliche Bilanz des Sonnenschiffs beachtlich. Als reines Bürogebäude läge es sogar bei unter einem Drittel des Energiebedarfs nach Passivhausstandard.

Primärenergiebilanz der Sonnenschiffs

		Wärme	Strom	PV-Ertrag	Primärenergiebilanz [kWh/a]	[kWh/m <sup>2</sup> a]
	Primärenergiefaktor	0,9	2,7	-2,7		
<b>Sonnenschiff (ohne Supermärkte)</b>	Endenergieverbrauch [kWh/a]	102.654	178.796	107.151		
	Primärenergieverbrauch [kWh/a]	92.389	482.749	-289.308	285.830	36
<b>Sonnenschiff (mit Supermärkten)</b>	Endenergieverbrauch [kWh/a]	203.739	574.857	107.151		
	Primärenergieverbrauch [kWh/a]	183.365	1.552.114	-289.308	1.446.171	152
<b>Sonnenschiff (ohne Supermärkte) + Reihenhäuser</b>	Endenergieverbrauch [kWh/a]	304.640	349.957	425.032		
	Primärenergieverbrauch [kWh/a]	274.176	944.884	-1.147.586	71.473	4

### THERMISCHER KOMFORT UND FUNKTION DER NACHTLUFTKÜHLUNG

Mit dem Sonnenschiff wurde ein zukunftsweisendes Bürogebäude geschaffen, das ohne aktive Klimatisierung einen hohen thermischen Komfort bietet: Die Temperaturen in den Büros liegen auch bei sehr heißem Wetter deutlich unter der Außentemperatur.

Überprüfungen ergaben, dass Sonnenschutz und Nachtlüftung gut funktionieren. Ersterer verhindert deutlich erhöhte Temperaturen bei großer Sonneneinstrahlung. Über die Nachtlüftungskühlung kann eine Abkühlung von bis zu 4 Kelvin festgestellt werden.

Werden über das Wochenende keine Fenster bzw. Nachtlüftungsflügel geöffnet, so bleibt die Temperatur (bei geschlossenem Sonnenschutz) nahezu konstant. Weder kommt es tagsüber im Sommer zu einer erheblichen Erwärmung, noch kommt es in Winternächten zu einer unerwünschten Abkühlung, was durch die hochgedämmte Fassade verhindert wird.

Da jede Art von Haustechnik nutzerabhängig ist, sind mit dem Sonnenschutz und der Nachtlüftung einfache, bedienerfreundliche Lösungen gewählt worden. Die Nutzer der Büros, Praxen, Geschäfte und Wohnungen werden über die Haustechnik informiert und verfügen über ein ausführliches Handbuch.

Die Effizienz der Nachtlüftung wird im realen Betrieb oft durch die Bedienung gemindert. Die Öffnung erfolgt abends zu früh (gegen 18 Uhr bei noch hohen Außentemperaturen, besser wäre gegen 21 Uhr) und morgens zu spät (zwischen 8 und 9 Uhr, besser 7 Uhr), da zu den günstigeren Bedienzeiten kein Personal in den Büroräumen anwesend ist. Eine automatische Regelung der Nachtlüftung wäre jedoch unverhältnismäßig teuer gewesen.

Jedoch scheint in der richtigen Bedienung des Sonnenschutzes und der Fensterlüftung noch viel Potenzial für ein noch besseres Raumklima zu liegen. Der Sonnenschutz wird oft durch individuelle Bedienung hochgefahren, so dass eine vermeidbare Erwärmung der Räume erfolgt. Gegen das Gefühl von schlechter oder zu warmer Luft wird über die Fenster gelüftet, anstatt die Lüftungsanlage so zu betreiben, dass diese Luftzustände gar nicht erst auftreten.



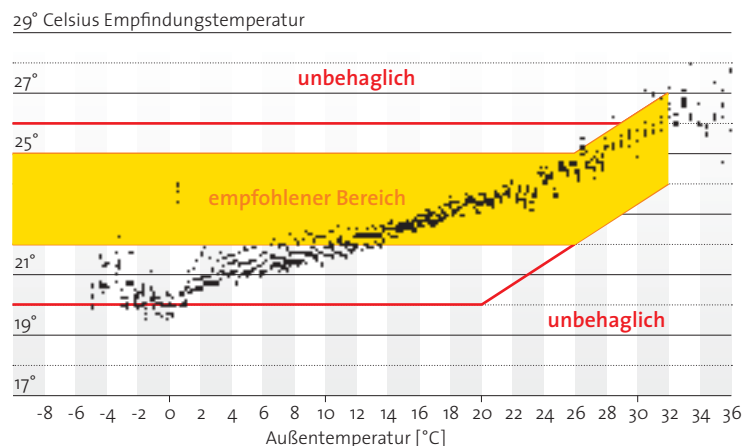
*“Im Sonnenschiff sind mehrere technologische Neuerungen erstmals auf einer kommerziellen Basis zum Einsatz gekommen. Die thermische und architektonische Qualität der Fassaden ist mit der Vakuumdämmung und der Pfosten-Riegel-Konstruktion einmalig. Neue Latentspeichermaterialien und optimierter Sonnenschutz führen zu sehr gutem thermischen Komfort.“*

VOLKER WEISS,  
Stahl+Weiß · Büro für SonnenEnergie

### THERMISCHER KOMFORT

Thermischer Komfort definiert den Sinneszustand der Zufriedenheit von uns Menschen bezogen auf thermisch abstrahlende Umgebungen. Wie Menschen die thermische Umgebung empfinden, wird nicht nur durch Lufttemperatur, Raumoberflächentemperaturen, Luftgeschwindigkeit und Luftfeuchte beeinflusst, sondern auch durch Bekleidung, die man trägt sowie die Aktivität, die man ausübt. Nach Möglichkeit nehmen wir darauf starken Einfluss, um sicherzustellen, dass wir uns wohl fühlen. Wir benötigen gleichmäßige Zustände in einem Gebäude. Größere Temperaturschwankungen von heiß und kalt während eines Tages, als auch von Tag zu Tag werden als ungemütlich empfunden.

Behaglichkeitsfeld mit nach DIN 1946 bzw. VDI 2078 im Großraumbüro



Jeder eingezeichnete Punkt entspricht einem Messwert in den jeweiligen Büros des Sonnenschiffs. Die Punkte liegen weitgehend im Bereich der Behaglichkeitsgrenzen.



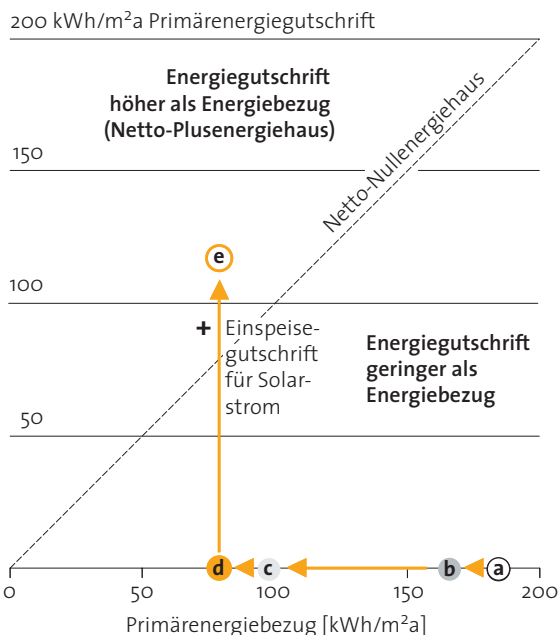
### DIE LANGZEITSTUDIE DER BERGISCHEN UNIVERSITÄT WUPPERTAL

Dass das Prinzip Plusenergiehaus® in der Solarsiedlung in der Praxis funktioniert, hat eine Langzeitstudie erwiesen. Im Rahmen des Forschungsprojekts Bauen und Energie in der Lehre evaluierte die Universität Wuppertal die 50 Reihenhäuser der Solarsiedlung. Ziel war die vollständige Bilanz des Verbrauchs – Wärme und Strom auf der Soll-, Solarstromerzeugung auf der Habenseite. Die Ergebnisse wurden im Januar 2009 in der Deutschen Bauzeitschrift veröffentlicht.

Aus den erhobenen Daten der Solarsiedlung in Freiburg wurden die Werte im Mittel bestimmt: mit durchschnittlich 2,9 Bewohnern, 137 m<sup>2</sup> beheizter Wohnfläche und 49 m<sup>2</sup> Solarstromanlage bei 6,3 kWp Nennleistung. Dieses Haus verbraucht lediglich 79 kWh/m<sup>2</sup> pro Jahr, doch es erzeugt jährlich 115 kWh/m<sup>2</sup>. Der Überschuss liegt also bei 36 kWh/m<sup>2</sup> an Primärenergie.

Exemplarisch für die Plusenergiehäuser in der Solarsiedlung: Ca. ein Viertel Primärenergie wird zu gleichen Teilen für Wärme und Warmwasser verbraucht, drei Viertel für Strom. Hier zeigen sich die Potenziale von Energiespargeräten und Nutzerverhalten. Der festgestellte Stromverbrauch in der Siedlung liegt etwas unter dem bundesdeutschen Durchschnitt.

Der Weg zum Plusenergiehaus® auf der Basis der Datenerhebung für das gemittelte Haus.



- a Haus EnEV Standard
- b stromsparender Haushalt
- c Passivhausbauweise
- d erneuerbare Energien
- e Einspeisegutschrift für Solarstrom

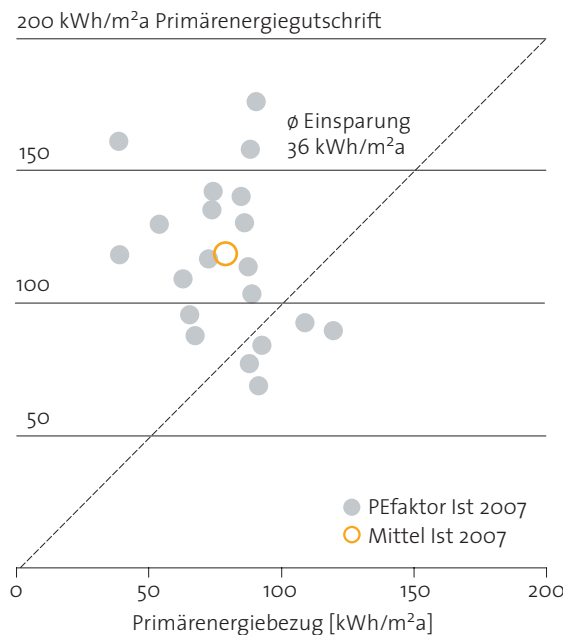
Bilanziert werden können Plus- oder Nullenergiehäuser nach der Primärenergie, den CO<sub>2</sub>-Emissionen und den Energiekosten. Untenstehende Grafik veranschaulicht das Prinzip der Bilanzierung der Primärenergie.

Die x-Achse gibt den Energieverbrauch pro Kilowattstunde an, bezogen auf den Quadratmeter und auf ein Jahr. Die y-Achse weist die Primärenergiegutschrift aus. Die 45-Grad-Achse markiert die Koordinaten, die einem Nullenergiehaus entsprechen. Alle Werte, die links oberhalb dieser Achse liegen, weisen entsprechend eine Plusenergiebilanz aus.

Das gemittelte Haus der Freiburger Solarsiedlung erzeugt in der Jahressumme ein Plus von 36 kWh/m<sup>2</sup>a Primärenergie.

- a Wären die Häuser nach EnEV-Anforderungen gebaut worden, würden sie im Mittel 185 kWh/m<sup>2</sup>a verbrauchen.
- b Die Bewohner der Häuser verbrauchen weniger Strom als der Durchschnittshaushalt, was den Verbrauch auf 165 kWh/m<sup>2</sup>a reduziert.
- c Die Umsetzung des Passivhausstandards reduziert den Verbrauch weiter auf 98 kWh/m<sup>2</sup>a.
- d Der Anschluss an die quartiersbezogene Nahwärmeversorgung, die mit Holzverbrennung unterstützt wird, senkt die Bilanz auf 79 kWh/m<sup>2</sup>a.
- e Die Stromproduktion mit der PV-Anlage erwirtschaftet für das Plusenergiehaus im Mittel eine Primärenergiegutschrift von 115 kWh/m<sup>2</sup>a und führt im Durchschnitt aller Häuser der Solarsiedlung zu einem bilanziellen Plus von 36 kWh/m<sup>2</sup>a.

Solarsiedlung: Primärenergiebilanz der 20 Plusenergiehäuser, von denen ausreichend Daten erfasst werden konnten



Bildquelle Grafiken: btga, Bergische Universität Wuppertal





Das Dienstleistungsgebäude Sonnenschiff wird von 22 Mietern gewerblich genutzt.

Den Kopfbau des Sonnenschiffs mit seinen 960 m<sup>2</sup> Gewerbefläche hat der Öko-Institut e.V. als Arbeitsdomizil erworben.

Im Erdgeschoss befinden sich – auf einer Fläche von 1.200 m<sup>2</sup> – der Öko-Supermarkt Alnatura und der dm-Drogeriemarkt. Sie schließen eine wichtige Dienstleistungslücke für die Bewohner des Modellstadtteils Vauban.

Das erste und zweite Obergeschoss mit 3.600 m<sup>2</sup> wurde von Arztpraxen und Büros bezogen. Das Mieterspektrum reicht von Gesundheit und Therapie über Kommunikationstechnologie bis hin zur Projektbetreuung im Umwelt- und Energiebereich.

Auf Grund der durchgehenden Glasfassade des Sonnenschiffs sind helle Arbeitsräume entstanden. Der Einbau von ausschließlich natürlichen, hochwertigen und emissionsfreien Materialien hat zudem ein angenehmes, gesundes Raumklima zu Folge.



Architekturbüros, Rechtsanwälte, Banken, Ärzte:  
22 Mieter haben ihr Arbeitsdomizil im Sonnenschiff.



*„Das Sonnenschiff symbolisiert die von uns vertretene Energiewende perfekt: massive Senkung des Energieverbrauchs und ausschließlicher Einsatz erneuerbarer Energien. Das Plus-Energie-Büro ist auch ein Plus für unsere Außendarstellung. Und sehr angenehm für die Arbeit: schönes Licht, gute Schallisolation gegen die verkehrsreiche Strasse, die Luft ist nicht so trocken und es zieht nicht.“*

DR. RAINER GRIESSHAMMER, Öko-Institut

## NUTZERBEFRAGUNG

Die Energieagentur Regio Freiburg führte eine Studie mit den Nutzern des Sonnenschiffs durch, in welcher deren Zufriedenheit mit dem Raumklima abgefragt wurde. Der Auftrag erfolgte im Rahmen des Antrags „Innovative Energiefassade für das Sonnenschiff Freiburg“ der Solarsiedlung GmbH an die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)

Für die Erhebung der Nutzerzufriedenheit entwickelte die Energieagentur Regio Freiburg GmbH einen sechsseitigen Fragebogen, der Fragen zu folgenden Kategorien beinhaltet: Allgemeines, Temperaturempfinden, Sonneneinstrahlung, Luftqualität, Gesundheit, Lärmbelästigung, Haustechnik, Persönliches und Fazit.

Von 165 Fragebögen, die im März 2007 versendet wurden, wurden 51 Bögen (31 Prozent) beantwortet zurück geschickt. Von 16 angeschriebenen Unternehmen beteiligten sich Mitarbeiter von zehn Unternehmen. Von den fünf angeschriebenen Bewohnern der vier Penthäuser beteiligten sich drei an der Umfrage. Die Nutzererhebung wurde für die Befragten anonym konzipiert.

Die Aussagekraft der Umfrage ist dadurch gewährleistet, dass sowohl eine hinreichend große Stichprobe der im Sonnenschiff arbeitenden Nutzer erhoben wurde (Quantitätskriterium), als auch die geeigneten Nutzer für die Umfrage gewonnen werden konnten (Qualitätskriterium). Etwa gleich viele Männer wie Frauen beantworteten die Fragen. Die Altersverteilung ergibt ein für die Arbeitswelt typisches Bild. Alle befragten Personen bewerteten die Arbeitsatmosphäre an ihrem Arbeitsplatz als sehr gut.



*„Das Sonnenschiff lebt durch die Menschen, die in ihm leben und arbeiten. Die Nutzerbefragung zeigt, wie zufrieden die Menschen mit ihrem Arbeitsplatz sind.“*

RAINER SCHÜLE  
Energieagentur Regio Freiburg

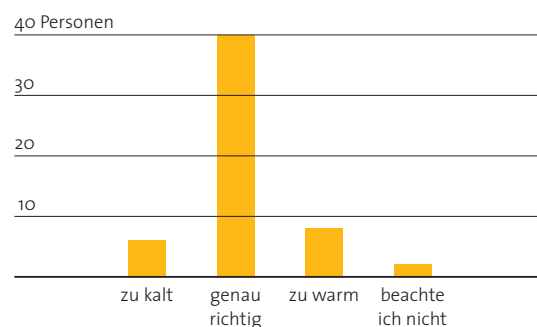


*„Das besondere Augenmerk bei der Nutzerbefragung galt den neuen Techniken, die in Bezug auf Luftqualität, Lärmfreiheit und Aufenthaltsbehaglichkeit im Sonnenschiff zur Anwendung kommen. Über einen längeren Zeitraum gesehen – wie empfinden die Mieter die technischen Innovationen?“*

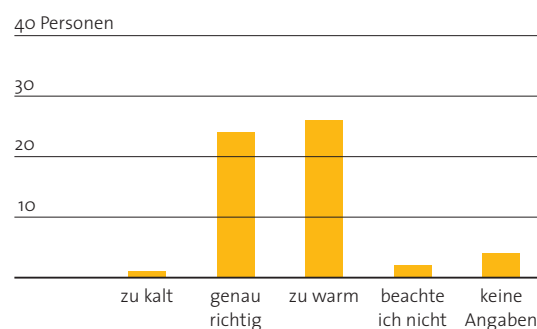
EVELIN RICHTER  
Energieagentur Regio Freiburg

Die Tatsache, dass im Sonnenschiff innovative Heiz- und Kühlsysteme Verwendung finden, wird von den Nutzern mit großem Interesse wahrgenommen; die sommers wie winters erzielten Raumtemperaturen spielen bei der Beurteilung des Wohlbefindens eine zentrale Rolle.

Wie empfinden Sie die Raumtemperatur im Winter?

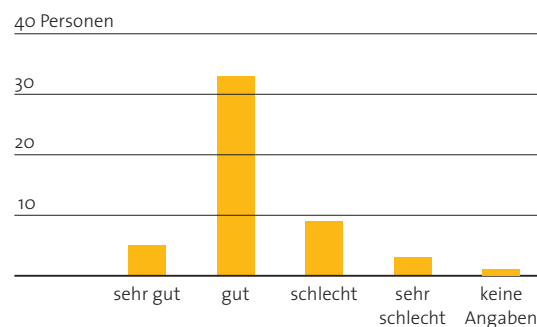


Wie empfinden Sie die Raumtemperatur im Sommer?



Die Fragen zur Luftqualität zielen im wesentlichen auf die Zufriedenheit der Nutzer mit dem innovativen Lüftungssystem des Sonnenschiffs ab. Die befragten Teilnehmer zeigen sich insgesamt zufrieden mit der Luftqualität an ihrem Arbeitsplatz: Rund 75 Prozent der Befragten bewerteten die Qualität als sehr gut bzw. gut.

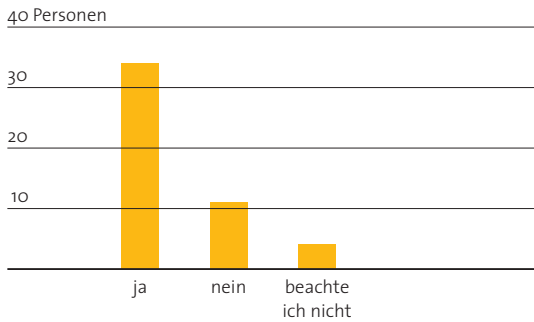
Wie schätzen Sie die Luftqualität an Ihrem Arbeitsplatz ein?



Die positive Wirkung des in der Lüftungsanlage eingebauten Pollenfilters bestätigt sich in der Umfrage. Lediglich 4 Prozent der Befragten (2 Nennungen) klagen über Probleme mit einer Pollenallergie an ihrem Arbeitsplatz. 6 Prozent der Teilnehmer machen keine Angaben. Weitere 15 Prozent geben an, manchmal unter den Symptomen einer Pollenallergie zu leiden. 74 Prozent der Befragten geben an, an ihrem Arbeitsplatz nie unter Symptomen einer Pollenallergie zu leiden.

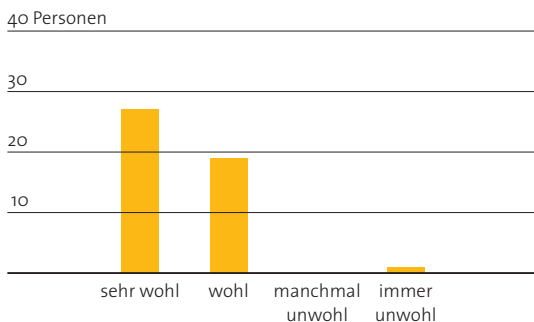
Der Lärmschutz war ein wichtiges Thema beim Bau der Fassade: Die Antworten auf diese Frage zeigen, dass rund 70 Prozent der Nutzer mit der lärm-dämmenden Wirkung der Fenster zufrieden sind. Nur 22 Prozent bemängeln die Dämmwirkung. Etwa 8 Prozent vernachlässigen das Thema gänzlich.

Schirmen die geschlossenen Fenster den Straßenlärm ausreichend ab?

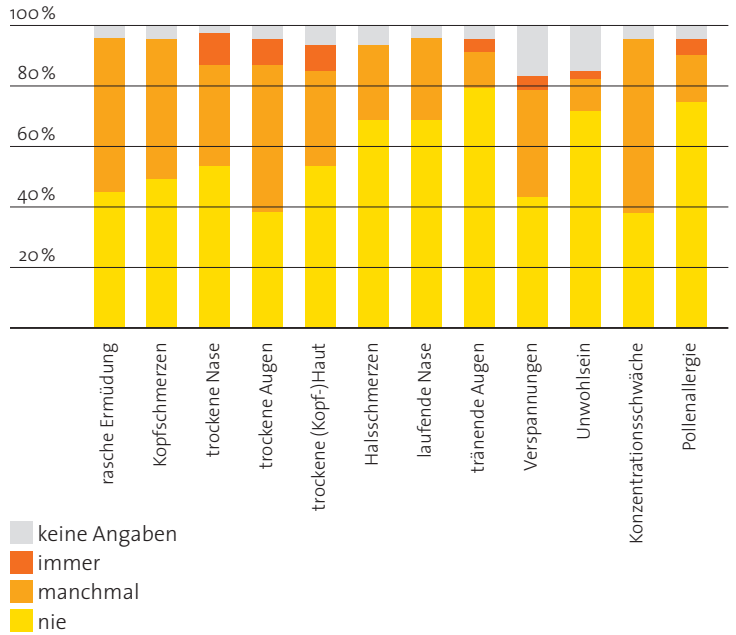


Im Teil „Persönliches“ werden beispielsweise die allgemeine Arbeitsatmosphäre im Kollegium oder das allgemeine Wohlbefinden der Befragten ermittelt. Der Grad der allgemeinen Zufriedenheit kann als Maßstab und Referenzwert für die Validität der übrigen Ergebnisse herangezogen werden.

Wie wohl fühlen Sie sich ganz allgemein an Ihrem Arbeitsplatz?



Wie häufig leiden Sie während Ihrer Arbeitszeit unter folgenden gesundheitlichen Beschwerden?



**BAUHERR**

Solarsiedlung GmbH  
 Sonnenschiff  
 Merzhauser Straße 177  
 79100 Freiburg  
 Tel: 0761 / 45944-31  
 Fax: 0761 / 45944-39  
 info@solarsiedlung.de  
 www.solarsiedlung.de

**ARCHITEKTUR**

Rolf Disch SolarArchitektur  
 Sonnenschiff  
 Merzhauser Straße 177  
 79100 Freiburg  
 Tel: 0761 / 45944-0  
 Fax: 0761 / 45944-44  
 info@rolfdisch.de  
 www.rolfdisch.de

**rolfdisch**  
 SolarArchitektur

**Wichtige Fachplaner  
der Energiefassade:****ENERGIEKONZEPT**

Stahl+Weiß,  
 Büro für SonnenEnergie  
 Basler Straße 55  
 79100 Freiburg

**AKUSTIK**

ITA Ingenieurgesellschaft  
 für technische Akustik mbH  
 Beratende Ingenieure VBI

Max-Planck-Ring 49  
 65205 Wiesbaden-  
 Delkenheim

**HAUSTECHNIK**

Krebser und Freyler  
 Planungsbüro GmbH  
 für Technische  
 Gebäudeausrüstung

Tscheulinstraße 2a  
 79331 Teningen

**STATIK**

Theobald + Partner  
 Ingenieure GbR

Alte Säge 1  
 79199 Kirchzarten

ALT, FRANZ: Der Sonnenpapst  
 aus Freiburg.

**IN:** Krieg um Öl oder Frieden durch  
 die Sonne. Goldmann Verlag,  
 München, 2004, S. 225-238

BUBE, TOBIAS:  
 Das Plusenergiehaus.

**IN:** Christoph Jehle: Photovoltaik.  
 Strom aus der Sonne.  
 C. F. Müller Verlag, Heidelberg, 5.  
 Aufl., 2008, S. 63-70

CHAN, YENNA:  
 Conservation of Resources.  
**IN:** Sustainable Environments.  
 Rockport Publishers, Gloucester /  
 Massachusetts, 2007, S. 118-124

Eurosolar Austria (Hrsg.):  
 Zukunftssicherheit durch  
 Sonnenkraft.

**IN:** Solare Stadterneuerung – eine  
 soziale und ökologische Aufgabe.  
 Wien, 2003, S. 202-207

GEGE, MAXIMILIAN:  
 Vorbilder und Pioniere.

**IN:** Die Zukunftsanleihe. Oekom-  
 Verlag, München 2004, S. 203

INGRAM, JAY: The Daily Planet  
 Book of Cool Ideas. Global  
 Warming and What People  
 Are Doing About It.  
 Penguin, Toronto, 2008, S. 207 f.

LUTZENBERGER, JOSÉ:  
 Das Vermächtnis: Wir können  
 die Natur nicht verbessern.  
 RETAP-Verlag, Bonn, 2003, S. 143-151

MAURER, FRIEDEMANN, RAINER-  
 OLAF SCHULTZE U. THEO STAM-  
 MEN (Hrsg.): Wege aus der  
 Treibhausfalle – Vom Klima-  
 killer zum Plusenergiehaus.

**IN:** Kulturhermeneutik und kritische  
 Rationalität. Kunstverlag Josef Fink,  
 Lindenberg im Allgäu, 2006,  
 S. 384-394

MORENO, ESTHER, VRANCKX,  
 BRIDGET: 200 Outstanding  
 House Ideas.

Firefly books, Buffalo/New York  
 2008, S. 428-437

NEIMKE, GABRIELE, ERLÉNBECK,  
 MARCO: Ökologisch wohnen,  
 bauen und sanieren.

Humboldt Verlag, Hannover,  
 2008, S. 10 ff.

OESTERREICHER, MARIANNE:  
 Im Zeichen der Sonne.

Verlag Herder, Freiburg  
 2000, S. 46-53, 62-63, 78-79

VOLKER QUASCHNING:

Erneuerbare Energien und  
 Klimaschutz. Hintergründe,  
 Techniken, Anlagenplanung,  
 Wirtschaftlichkeit.

Hanser, München, 2008, S. 308 f.

SCHARF, ARMIN: Farbe in der  
 Architektur. Gestaltungskri-  
 terien und Beispiele für den  
 Wohnungsbau.

DVA, München 2002

STAUD, TORALF U. NICK REIMER:  
 Niedrig-Energie-Städte Bauen.

**IN:** Wir Klimaretter – So ist der Wan-  
 del noch zu schaffen. Kiepenheuer &  
 Witsch, Köln 2007, S. 203-22

WITZEL, WALTER U. DIETER  
 SEIFRIED: Plusenergiehäuser.

**IN:** Das Solarbuch. Fakten, Argu-  
 mente und Strategien für den  
 Klimaschutz. 3. Aufl. Energieagentur  
 Regio Freiburg 2007, S. 72-74.

WATKINSON, GORDON:  
 Bauhaus Zwanzig – 21. Ideen  
 für ein neues Jahrhundert.  
 Birkhäuser, Basel, 2008, S. 91-106

Aktuelle Presseartikel unter:  
[www.rolfdisch.de](http://www.rolfdisch.de)

- 2009**  
Utopia Award
- 2008**  
Innovationspreis der  
Arbeitsgemeinschaft  
der Selbstständigen  
in der SPD
- 2008**  
Deutscher Lokaler  
Nachhaltigkeitspreis
- 2008**  
„Focus in Silber“  
bei Focus Green -  
Internationaler Designpreis  
Baden-Württemberg
- 2008**  
Sonderpreis  
Energie + Architektur,  
Gebäude- und Energietechnik  
Deutschland
- 2007 / 2008**  
Creative Award 2007 - 2008  
des Japanischen  
PEN-Magazins
- 2005**  
Wuppertaler Energie-  
und Umweltpreis für  
das „Sonnenschiff“
- 2003**  
World Energy Globe
- 2002**  
Europäischer Solarpreis
- 2002**  
Innovationspreis des  
Landes Baden-Württemberg,  
Dr.-Rudolf-Eberle- Preis-2002
- 2002**  
1. Preis bei dem  
bundesweiten Wettbewerb  
„Wer baut für die Zukunft?“  
der Dresdner Bauspar AG  
und der Zeitschrift CAPITAL
- 2001**  
Photovoltaik-Architekturpreis  
des Landes Baden-Württem-  
berg
- 2000**  
Holzkreativpreis des BUND  
für die „Solarsiedlung am  
Schlierberg in Freiburg“
- 1998**  
Kritiker-Preis für Architektur  
des Bundesverbandes  
Deutscher Kritiker e.V.
- 1997**  
„Ökomanager des Jahres“,  
verliehen von der Zeitschrift  
CAPITAL und dem WWF
- 1996**  
1. Preis beim Innovations-  
wettbewerb der Zeitschrift  
„Immobilien Manager“  
für das Projekt „Solarsiedlung  
am Schlierberg in Freiburg“

\*Auszeichnungen und Preise  
für das Sonnenschiff und die  
Solarsiedlung





Schutzgebühr: 10 Euro

Gefördert durch



Herausgeber



Projektträger

