

Solarsiedlung GmbH

## **Innovative Energiefassade für das Sonnenschiff der Solarsiedlung Freiburg**

Abschlussbericht  
gefördert unter dem Az: 22334-25 von der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Rolf Disch, Geschäftsführer Solarsiedlung GmbH  
Rainer Schüle, Geschäftsführer Energieagentur Regio Freiburg  
Silke Tebel-Haas, Projektmitarbeiterin Energieagentur Regio Freiburg

Freiburg im Mai 2009

**Projektkennblatt**  
der  
**Deutschen Bundesstiftung Umwelt**



Az	<b>22334-25</b>	Referat	<b>25</b>	Fördersumme	<b>125.000 Euro</b>
----	-----------------	---------	-----------	-------------	---------------------

<b>Antragstitel</b>	<b>Innovative Energiefassade für das Sonnenschiff der Solarsiedlung Freiburg</b>		
<b>Stichworte</b>	Ökobau, Baustoff, Bauteil, energieeffizientes Bauen, integrale Bauplanung, Neubau		
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
<b>51 Monate</b>	<b>17.6.2004</b>	<b>15.09.2008</b>	<b>3</b>
Zwischenberichte	15.08.2005		
<b>Bewilligungsempfänger</b>	Solarsiedlung GmbH Merzhauserstr. 177 79100 Freiburg		Tel 0761 – 45944-30
			Fax 0761 – 45944-39
			Projektleitung Rolf Disch
			Bearbeiter Arbeitsgruppe
<b>Kooperationspartner</b>			

### ***Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens***

Für das Sonnenschiff der Solarsiedlung Freiburg wurde vom Architekturbüro Disch ein innovatives Energiekonzept entwickelt. Gemeinsam mit dem Fachplanungsbüro Stahl und Weiss, Büro für Sonnenenergie, wurden die einzelnen Komponenten der bewährten Plusenergiehäuser der Solarsiedlung weiterentwickelt und mit dynamischen Simulationsberechnungen auf ihre Wirksamkeit überprüft. Die wesentlichen Elemente des Energiekonzepts basieren auf

- der Anbringung einer Vakuumdämmung in den Fassadenelementen,
- der Optimierung der Gebäudemassen (Wände, Decken, Böden) zur Wärme- und Kältespeicherung
- dem Einbau von zusätzlichen „Kälteakkus“ in Form von Latentspeicherplatten im Zwischenwandbereich (Leichtbau).

Durch die Wahl der Fenstergeometrie mit hochwertigen Spezialgläsern und entsprechenden Verschattungselementen wurde außerdem der passive Wärmegewinn optimiert und gleichzeitig die natürliche Beleuchtung maximiert.

Darüber hinaus wurde ein Lüftungssystem entwickelt, das den hohen lagebedingten schalltechnischen Anforderungen genügen soll und gleichzeitig einen großen Nutzerkomfort bei minimiertem Energiebedarf ermöglicht.

### ***Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden***

Das Projekt beinhaltet die Umsetzung der o.g. technischen Maßnahmen, die wissenschaftliche Begleitung zur Überprüfung der Ergebnisse und die Aufarbeitung des gesamten Prozesses für die Verbreitung der Erkenntnisse im Rahmen einer umfangreichen Presse- und Öffentlichkeitsarbeit sowohl für das breite als auch für das Fachpublikum.

- Arbeitsschritt 1: Prüfung eines Musterelements der Praxistauglichkeit im Labor und Optimierung in Bezug auf seine schalldämpfende Wirkung und der Effektivität der Nachtlüftung.
- Arbeitsschritt 2: Umsetzung der Baumaßnahmen und Vermietung
- Arbeitsschritt 3: Wissenschaftliche Begleitung der Nutzung durch Langzeitmessungen im Objekt
- Arbeitsschritt 4: Befragung per Interviews der Nutzer des Objekts zur Zufriedenheit und Verbesserungswünschen.
- Arbeitsschritt 5: Dokumentation und filmische Aufbereitung für DVD sowie Erstellung von Printmaterial

## **Ergebnisse und Diskussion**

### **Arbeitsschritt 1: Prüfung des Musterfassadenelements**

Ein Fassaden-Musterelement wurde im Schalltechnischen Laboratorium der ITA (Ingenieurgesellschaft für technische Akustik) in einer umfassenden Versuchsreihe überprüft. Dabei wurden Modifikationen im Hinblick auf ihre Einflüsse auf die Schalldämmung vorgenommen und das Element optimiert (siehe Arbeitsbericht der ita vom 18.8.2004). Gleichzeitig wurden Luftwechselfmessungen mit einer Tracergas-methode vom Ing. Büro Stahl und Weiß durchgeführt (siehe Arbeitsbericht Stahl+Weiß vom August 2004). Damit wurde sichergestellt, dass die Blenden und Lüftungsgitter Einbruchschutz, Witterungs-schutz Lüftungsquerschnitt ausreichend sind.

### **Arbeitsschritt 2: Umsetzung der Baumaßnahmen und Vermietung**

Die Dienstleistungsimmoblie Sonnenschiff wurde fertig gestellt und ist nun vollständig vermietet. Insgesamt wurden mehr als 20 Mio. Euro investiert Die einzelnen Elemente des Energiekonzeptes wurden planmäßig umgesetzt. Dazu zählt der Einsatz von Vakuumdämmelementen in der Fassade und das neuartige, speziell entwickelte Lüftungssystem. Das Objekt umfasst Gewerbeflächen für Einkaufsmärkte sowie Büro- und Praxisflächen. Das Spektrum der Mieter reicht von Gesundheit und Therapie über Kommunikationstechnologie bis hin zur Projektbetreuung im Umwelt- und Energiebereich.

### **Arbeitsschritt 3: Wissenschaftliche Begleitung der Nutzung durch Langzeitmessungen im Objekt**

Vom Büro Stahl und Weiss wurde die Funktion der Nachluftkühlung und der thermische Komfort für die Nutzer anhand einer Langzeitmessung überprüft (siehe Bericht „Messdatenauswertung Sonnenschiff...“ vom Januar 2008). Der gemessene thermische Komfort ist sehr zufriedenstellend. Im Sommer liegen die Temperaturen im untersuchten Büro deutlich unter den Außenlufttemperaturen. Ebenso wurde festgestellt, dass in der Winterzeit (bzw. niedrigen Außentemperaturen) bei zu hohem Luftwechsel die Innen-luftfeuchte mitunter sehr niedrig ist und unter dem Komfortbereich liegt. Im Sommer kann über die Nachluftkühlung eine Abkühlung von bis zu 4 Kelvin erreicht werden. Die Effizienz der Nachtlüftung wird im realen Betrieb aber häufig durch falsche Bedienung gemindert. Die Öffnung erfolgt abends zu früh und morgens zu spät. In den Bürozonon mit PCM Material wurde ein geringfügig höherer thermischer Komfort festgestellt. Ein kausaler Zusammenhang zum PCM konnte messtechnisch jedoch nicht erfasst werden.

### **Arbeitsschritt 4: Nutzerbefragung per Interviews zur Zufriedenheit und Verbesserungswünschen.**

Aus der im Frühjahr 2007 von der Energieagentur Regio Freiburg durchgeführten Nutzerbefragung geht allgemein hervor, dass die Nutzer sehr zufrieden mit dem Komfortempfinden sind. Jedoch scheint in der richtigen Bedienung des Sonnenschutzes und der Fensterlüftung noch viel Potenzial für ein besseres Raumklima zu liegen. Der Sonnenschutz wird oft zu spät heruntergefahren, wenn bereits über Blendung und starke Erwärmung geklagt wird.

### **Arbeitsschritt 5: Erstellung von Materialien zur Öffentlichkeitsarbeit**

Nach Durchführung einer filmischen Langzeitdokumentation über den gesamten Baufortschritt erstellte die Agentur triolog 2008 eine DVD mit 42 min Gesamtspiellänge. An einer hochfrequentieren Stelle wurde außerdem eine Anzeigetafel mit Informationen zum Objekt installiert. Außerdem erscheint eine Bro-schüre in der das Vorhaben für Fachbesucher dargestellt wird. Von der Agentur Akuantum wurde au-ßerdem eine eigene homepage für das Projekt entwickelt ([www.sonnenschiff.de](http://www.sonnenschiff.de)).

## **Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation**

Das Sonnenschiff wird seit Projektbeginn an zahlreichen Stellen einem nationalen und internationalem Publikum vorgeführt und hat sich ein hohes Renomee erworben. Bereits während der Bauphase wurden unzählige Führungen sowohl für interessierte Bürger und als auch für Fachpublikum durchgeführt. Es ist fester Bestandteil von Touren professioneller Agenturen, (Freiburg futour, Innovation Academy, Stadt-führung Vauban). Daneben wird über das Sonnenschiff im Zusammenhang mit der Solarstadt Freiburg, der Solarsiedlung und der Plusenergiebauweise des Architekten Disch in Pressemedien und Buch- und Zeitungspublikationen sowie Vortragsveranstaltungen unterschiedlichster Referenten immer wieder be-richtet.

## **Fazit**

Das Vorhaben wurde inhaltlich planmäßig umgesetzt. Zeitlich waren einige Verzögerungen hinzuneh-men, die insbesondere mit der baulichen Abwicklung des Gesamtvorhabens zu tun hatten. Die Erwar-tungen an das Energiekonzept wurden weitgehend erfüllt. Allerdings gestaltete sich der Einbau der wärmespeichernden PCM-Platten als sehr schwierig und wurde nicht in dem Umfang realisiert wie ur-sprünglich geplant. Außerdem waren die Erwartungen an deren Wirkung auf das Komfortempfinden der Bewohner zu hoch und konnte auch messtechnisch nicht kausal nachgewiesen werden. Das Nutzerverhalten in Bezug auf die Bedienung der eingesetzten Technik (insbesondere Sonnenschutz und Lüf-tungselemente) ist noch optimierbar und erfordert ggf. auch in Zukunft einer angepassten Vorgehens-weise.



## Inhaltsverzeichnis

Projektkennblatt.....	2
Verzeichnis von Bildern und Tabellen.....	6
Glossar .....	7
Zusammenfassung .....	9
1. Einleitung.....	10
2. Energiekonzept für das Sonnenschiff.....	13
2.1. Das Lüftungssystem.....	13
2.2. Aktivierung der Gebäudemasse .....	16
2.3. Vakuumisolationspaneele (VIP) .....	17
2.4. Latentwärmespeicher (PCM).....	18
2.5. Licht und passive Wärmenutzung .....	18
2.6 Holzfassade .....	20
3. Projektergebnisse.....	21
3.1. Messungen am Musterfassadenelement.....	21
3.2. Auswertung der Energiebilanz.....	22
3.2.1. Wärmeverbrauch.....	22
3.2.2 Stromverbrauch.....	25
3.2.3. Solarstromproduktion .....	26
3.2.3. Primärenergiebilanz .....	28
3.3 Thermischer Komfort und Funktion der Nachtluftkühlung .....	29
3.4 Nutzerbefragung zur Zufriedenheit.....	31
3.5 Öffentlichkeitsarbeit.....	38
3.5.1 Anzeigentafel .....	38
3.5.2 Informationsbroschüre .....	38
3.5.3 DVD „Innovative Energiefassade im Sonnenschiff“ .....	39
3.5.4 Führungen und Besuchergruppen.....	40
4. Fazit.....	40
Literatur- und Materialverzeichnis.....	42

## Verzeichnis von Bildern und Tabellen

Abb. 1: Solarsiedlung mit Sonnenschiff an der Merzhauser Straße in Freiburg .....	10
Abb. 2: Westfassade des Sonnenschiffs mit bunten Verblendungen .....	14
Abb. 3: Lüftungsflügel und Lüftungsgerät .....	15
Abb. 4: Horizontalschnitt Fassade mit Lüftungsklappe .....	15
Abb. 5: Rohbau Sonnenschiff .....	16
Abb. 6: Längsschnitt der Fassade .....	17
Abb. 7: Lichteinstrahlung in den Penthäusern .....	19
Abb. 8: Das Café mit Holzfassade im Erdgeschoss des Sonnenschiffes .....	20
Abb. 9: Schematische Aufteilung der Solarsiedlung am Schlierberg .....	22
Abb. 10: Aufteilung des Wärmeverbrauchs im Sonnenschiff .....	23
Abb. 11: Spezifischer Wärmeverbrauch der einzelnen Gebäudegruppen .....	24
Abb. 12: Stromverbrauch im Sonnenschiff .....	25
Abb. 13: Solarstromanlagen in der Solarsiedlung .....	26
Abb. 14: Leistungsvergleich der PV-Anlagen nach [SCH05] .....	27
Abb. 15: Behaglichkeitsfeld mit nach DIN 1946 bzw. VDI 2078 im Großraumbüro .	29
Abb. 16: Simulierter Temperaturverlauf in einem Einzelbüro mit und ohne PCM ....	30
Abb. 17: Anzeigetafel .....	38
Abb. 18: Cover DVD Energie im Sonnenschiff .....	39
Abb. 19: Internationale Führungen in der Solarsiedlung .....	40
Abb. 20: Modell des Sonnenschiffs .....	42
Tab. 1: Wärme- und Stromverbrauch der Gebäudeteile 2007 .....	23
Tab. 2: Solarstromanlagen auf dem Sonnenschiff .....	26
Tab. 3: Primärenergiebilanz der Sonnenschiffs .....	28

## Glossar

**Abluft** Die Abluft ist die aus einem Raum oder einer Wohnung abströmende bzw. über ein Abluftventil abgesaugte Luftmenge (verbrauchte Luft). Im Gegensatz zur Zuluft hat die Abluft im Winter eine erhöhte Temperatur, weshalb es energetisch interessant ist, die Wärmemenge von der Luft zu trennen und der kalten Zuluft zur weiteren Nutzung zuführen.

*Beispiel Strom:*

Um eine kWh Strom aus der Steckdose zu erhalten müssen ca. 3 kWh Primärenergie im Kraftwerk aufgewendet werden. Verluste entstehen durch Kraftwerkswirkungsgrade, Transport, Leckagen, etc.

**Empfindungstemperatur**

Die Empfindungstemperatur ist der Mittelwert aus Lufttemperatur und Oberflächentemperaturen der umgebenden Hüllflächen.

**g-Wert** 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 eingestrahnten Sonnenenergie in den Raum dringen. Bei Einfachverglasungen liegt dieser Wert etwa bei 0,87. Der Rest wird reflektiert oder von der Scheibe absorbiert.

**Kreuzstromwärmetauscher**

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

**PCM Phase Change Material**

PCM ändert im Bereich von ca. 23 - 26°C seinen Aggregatzustand von fest zu flüssig. Dieser Wechsel entzieht der Umgebung Wärmeenergie und bewirkt dadurch, dass sich die Raumtemperatur nicht weiter erhöht, ohne dass zusätzlicher Energieaufwand nötig wäre. In den Gipskartonplatten befinden sich winzige Kügelchen mit eingelagertem Paraffinwachs.

**Primärenergie**

Primärenergie 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 bei fossilen Energieträgern immer deutlich höher.

**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 Menschen darauf starken Einfluss, um sicherzustellen, dass wir uns wohl fühlen. Wir Menschen benötigen gleichmäßige bestimmte Zustände in einem Gebäude, in dem wir uns regelmäßig aufhalten. Größere Temperaturschwankungen von heiß und kalt während eines Tages, als auch von Tag zu Tag werden als ungemütlich empfunden.

### Tracer-Gas-Messverfahren

Bei der Tracergasmessung (auch als Spurengasmessung oder Indikatorgasmessung bezeichnet) wird die Raumluft oder ein Luftstrom mit einer geringen Menge Tracergas angereichert. In Folge der Verdünnung dieses Gases kann durch Messung des Konzentrationsabfalls der im Raum wirksame Volumenstrom bzw. ein Leakagevolumenstrom berechnet werden.

Die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten dieser Messmethode gestatten unter anderem die Messung des Wirkungsgrades einer Lüftungsanlage. Das Indikatorgasverfahren zur Bestimmung des Luftwechsels in Gebäuden ist in der DIN EN ISO 12569 detailliert beschrieben. Als Tracergase werden heute dank hochempfindlicher Gasanalytoren nur geringste Gasmengen verwendet, die keinerlei physiologische Wirkung auf den Menschen haben.

**U-Wert** Der U-Wert ist ein Maß für den Wärmedurchgang durch ein Bauteil und wird in Watt pro Quadratmeter und Kelvin ( $W/(m^2K)$ ) angegeben. Mit dem U-Wert wird ausgedrückt, welche Wärmeverlustleistung (in Watt) pro  $m^2$  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 g-Wert für ein Passivhausfenster eher bei 0.5 und niedriger.

### VIP Vakuumisulationspaneele

VIP 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 ein VIP eine 5 bis 10-fach geringere Dicke als herkömmliche, am Bau eingesetzte Dämmmaterialien wie z.B. Polystyrol, Polyurethan, Glas- oder Mineralwolle.

VIPs werden seit mehreren Jahren erfolgreich im Baubereich eingesetzt. Dort bilden sie eine platzsparende Alternative zu herkömmlichen Dämmstoffen. Die ersten Produkte erhielten im Juli 2007 ihre allgemeine bauaufsichtliche Zulassung.

### Wärmerückgewinnung

Mit Wärmerückgewinnung bezeichnet man einen Vorgang, bei dem Wärme, die ansonsten z.B. mit der Abluft oder dem Abwasser das Haus ungenutzt verlässt, zurückgewonnen wird. Die Wärmerückgewinnung macht energetisch Sinn, sofern die dafür aufgewendete Hilfsenergie (meist Strom für elektrische Antrieb) die zurückgewonnene Wärmemenge nicht erreicht oder gar übersteigt (primärenergetisch).

**Zuluft** Mit Zuluft bezeichnet man in der Lüftungstechnik die einem Raum oder einer Wohnung zuströmende Frischluft. Die gleiche Luftmenge muss zur selben Zeit abströmen (Abluft). Die erforderliche Zuluftmenge und ihre Eigenschaften ergeben sich aus den Anforderungen an eine hygienische Luftqualität. Durch den Luftwechsel entsteht in der kalten Jahreszeit ein Lüftungswärmeverlust.



## Zusammenfassung

Das Sonnenschiff ist ein gewerbliches Dienstleistungszentrum, das von der Solar-siedlung GmbH im Freiburger Stadtteil Vauban umgesetzt wurde. Das Mieterspektrum reicht von Gesundheit und Therapie über Kommunikationstechnologie bis hin zur Projektbetreuung im Umwelt- und Energiebereich. Das Energiekonzept des Sonnenschiffs beinhaltet eine Reihe von innovativen technischen Elementen, die aufbauend auf den Erfahrungen des Architekturbüros Disch mit der eigens entwickelten Plusenergiebauweise® und unter der wissenschaftlichen Begleitung des Fachplanungsbüros Stahl und Weiss weiterentwickelt wurden. Wesentlicher Bestandteil des Energiekonzeptes ist das neuartige in die Fassade integrierte Lüftungssystem mit manuell bedienbaren Lüftungsflügeln und dezentralen Lüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung. Unterstützend für einen hohen sommerlichen thermischen Komfort wirkt der automatisch betriebene Sonnenschutz mit außen liegenden Jalousien. Temperaturspitzen bzw. starke Schwankungen werden durch die Aktivierung der Gebäudemassen vermieden, indem die Decken und Böden in direkter Verbindung mit der Raumluft stehen. Eine höchst effiziente Wärmedämmung wird im Wandbereich mit Vakuumisulationspaneelen (VIP) erreicht, die aufgrund ihrer platzsparenden Bauart ermöglichen zusätzliche Mietfläche auf dem eng begrenzten Baufenster zu gewinnen. In einigen Büroflächen wurden außerdem im Innenwandbereich Leichbauplatten mit PCM eingesetzt, die wie „Kälteakkus“ wirken und die thermische Masse vergrößern. Die aus den vorangegangenen Simulationen zu erwartenden Effekte konnten hier allerdings messtechnisch nicht nachgewiesen werden. Großflächige Spezialfenster mit optimalen Dämmwerten vervollständigen das Energiekonzept. Die komplette Energiefassade ist in einer Holzpfosten- Riegelbauweise mit heimischen Hölzern ausgeführt. Der Wärmeverbrauch des Objektes liegt bei 36 kWh/m<sup>2</sup>a bzw. 17 kWh/m<sup>2</sup>a (ohne Supermärkte), der Stromverbrauch bei 85 bzw. 28 kWh/m<sup>2</sup>a. Durch die Stromproduktion von rund 107.000 kWh/a ergibt sich eine Primärenergiebilanz von 217 bzw. 27 kWh/m<sup>2</sup>a und erfüllt damit die Passivhausanforderungen für Wohngebäude. Die messtechnische Auswertung des thermischen Komforts und die Mieterbefragung ergab, eine hohe Nutzerzufriedenheit, die bei besserer Bedienung der Lüftung und Verschattungseinheiten vermutlich aber noch gesteigert werden könnte. Für die Öffentlichkeitsarbeit wurden diverse Materialien erstellt, die zum Bekanntheitsgrad der Immobilie und des ganzen Stadtteils beitragen.

# 1. Einleitung

Mit der Umsetzung der Solarsiedlung in Freiburg ist ein innovatives Projekt mit einer visionären Idee Wirklichkeit geworden. Auf 11.000 Quadratmetern errichtete die Solarsiedlung GmbH 50 solare Reihenhäuser in Holzbauweise und den Gewerbebau „Sonnenschiff“ mit 9 Penthäusern. Die Wohngebäude bieten jeweils eine Nutzfläche von 79 bis 200 Quadratmetern. In der verkehrsberuhigten Siedlung haben rund 180 Bewohner ein neues Zuhause gefunden, darunter viele Familien mit Kindern.



Abb. 1: Solarsiedlung mit Sonnenschiff an der Merzhauser Straße in Freiburg

Alle Gebäude wurden in der von Rolf Disch entwickelten Plusenergiebauweise® realisiert, das heißt, in der Jahressumme produzieren sie mehr Energie, als sie verbrauchen. Mit einer ausgeklügelten Lüftung und einer optimalen Wärmedämmung wird aus jedem Haus ein kleines, wirtschaftlich rentables Kraftwerk. Das Markenzeichen der Häuser in der Solarsiedlung sind ihre blauen Dächer, die gänzlich aus Solarpaneelen bestehen.

Unter städtebaulichen Gesichtspunkten schließt das Sonnenschiff die Solarsiedlung nach Westen ab. Das so genannte „Langschiff“ funktioniert mit seinen 125 m Länge als durchgängiger Schallriegel entlang der Merzhauser Straße und schützt so die

dahinter liegende Solarsiedlung vor Verkehr und Straßenlärm. Gleichermaßen bildet es eine Eingangsfassade für die Solarsiedlung.

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.

Das Objekt umfasst Gewerbeflächen für Einkaufsmärkte sowie Büro- und Praxisflächen. Das Spektrum der Mieter reicht von Gesundheit und Therapie über Kommunikationstechnologie bis hin zur Projektbetreuung im Umwelt- und Energiebereich.

Im Erdgeschoss sorgen der Öko-Supermarkt Alnatura, der DM-Drogeriemarkt für die wichtige Infrastruktur auch für die umliegenden Bewohner des Modellstadtteils Vauban. Unter anderem hat das bekannte Öko-Institut die Immobile bezogen. Daneben werden die Büro- und Praxisflächen von folgenden Firmen genutzt. Die Firma Aquantum entwickelt Web- und Softwarelösungen, bietet Informationsmanagement, Beratung, Konzeption und Umsetzungen von Web- und Softwarelösungen. Die Mitarbeiter des Ingenieurbüros Roth & Partner GmbH sind Spezialisten für Abfall und Altlasten, Wasser und Geotechnik. Sie übernehmen Planungen für Deponien, Oberflächen- und Abwasserprojekte und vieles mehr – mit höchstem ökologischem Anspruch. Die Particip GmbH ist ein weltweit agierendes Beratungsunternehmen mit Schwerpunkt Monitoring und Evaluation und mit umfassender Kompetenz in Fragen von Entwicklung und Ökologie. Die GLS Gemeinschaftsbank verbindet seit 33 Jahren professionelles Bankgeschäft mit verantwortungsvollem Handeln. Anvertrautes Geld wird ausschließlich in wirtschaftlich, ethisch und ökologisch vertretbare Projekte investiert. Ein Spezialgebiet der Anwaltskanzlei S. Sattler ist das Umweltrecht im nationalen und europäischen Bereich. Die Ökostrom Erzeugung GmbH ist Muttergesellschaft zahlreicher GmbH-Gesellschaften, welche derzeit 25 Windkraftanlagen, 6 Wasserkraftwerke und 70 Solarstromanlagen betreiben – mit einer Stromproduktion von 60 Millionen kWh jährlich.

Auf der obersten Ebene des Sonnenschiffs wurden neun zweigeschossige Plusenergie-Penthäuser mit markanten Pultdächern aufgebaut. 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.

Für den Gewerbebau das Sonnenschiff wurde vom Architekturbüro Disch ein innovatives Energiekonzept entwickelt, das auf umfangreichen Erfahrungen in der Passivhausbauweise und der Plusenergiebauweise® basiert. Gemeinsam mit dem renommierten Fachplanungsbüro Stahl und Weiss, Büro für Sonnenenergie, wurde die einzelnen Komponenten der Plusenergiehäuser weiterentwickelt und mit dynamischen Simulationsberechnungen auf ihre Wirksamkeit überprüft.

Im März 2004 beantragte die Solarsiedlung GmbH als Bauträgerin der Maßnahme bei der Deutschen Bundesstiftung DBU die Förderung der innovativen Energiefassade für das Sonnenschiff.

Das Projekt beinhaltet die Umsetzung einer Reihe von technischen Maßnahmen, die wissenschaftliche Begleitung zur Überprüfung der Ergebnisse und die Aufarbeitung des gesamten Prozesses für die Verbreitung der Erkenntnisse im Rahmen einer umfangreichen Presse- und Öffentlichkeitsarbeit sowohl für das breite als auch für das Fachpublikum.

Im einzelnen beinhaltet das Förderprojekt fünf Arbeitsschritte, die in den Jahren 2004 bis 2008 nacheinander umgesetzt wurden:

1. Prüfung der Praxistauglichkeit eines Fassaden-Musterelements im Labor und Optimierung in Bezug auf seine schalldämpfende Wirkung und der Effektivität der Nachtlüftung.
2. Umsetzung sämtlicher Baumaßnahmen und Vermietung der Dienstleistungsimmobilität Sonnenschiff.
3. Wissenschaftliche Begleitung der Nutzung durch Langzeitmessungen in einzelnen Mietbereichen des Objektes
4. Befragung per Interviews der Nutzer des Objekts zur Zufriedenheit und Verbesserungswünschen.
5. Dokumentation des Bauvorhabens und filmische Aufbereitung für DVD sowie Erstellung einer Anzeigetafel und Printmaterialien für die Kommunikation mit Besucherpublikum.

## **2. Energiekonzept für das Sonnenschiff**

Das innovative Energiekonzept für das Sonnenschiff der Solarsiedlung basiert auf der Anbringung einer Vakuumdämmung in den Fassadenelementen, der Nachtlüftung zur Aktivierung der Gebäudemassen (Wände, Decken, Böden) als Kältespeicher (bzw. Wärmespeicher im Winter) und dem Einbau von zusätzlichen „Kälteakkus“ in Form von Latentspeicherplatten im Zwischenwandbereich (Leichtbau) einzelner Mietbereiche.

Durch die Wahl der Fenstergeometrie mit hochwertigen Spezialgläsern und entsprechenden Verschattungselementen wurde außerdem der passive Wärmegewinn optimiert und gleichzeitig die natürliche Beleuchtung maximiert. Darüber hinaus wurde ein eigens entwickeltes Lüftungssystem eingebaut, das den hohen lagebedingten schalltechnischen Anforderungen genügt und gleichzeitig einen großen Nutzerkomfort bei minimiertem Energiebedarf ermöglicht.

### **2.1. Das Lüftungssystem**

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

1. automatisch betriebener Sonnenschutz
2. kipp- und öffnenbarer Lüftungsflügel
3. Lüftungsgerät mit Wärmetauscher für Zu- und Abluft

Neben der Nachtlüftung trägt der außen liegende Sonnenschutz ganz erheblich zu dem hohen sommerlichen thermischen Komfort bei. Um ein Überhitzen des Gebäudes im Sommer zu vermeiden werden außen liegende Jalousien automatisch betrieben. 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 und die Lüftungsgitter dienen als Witterungs- und Einbruchschutz. Das effiziente System verbirgt sich hinter den farbigen, schallgedämmten Blenden an der Außenfassade des Gebäudes.



Abb. 2: Westfassade des Sonnenschiffs mit bunten Verblendungen

Das Sonnenschiff wird an seiner Westseite von der stark befahrenen Merzhauserstraße flankiert und dient der östlichen Wohnbebauung als Schallschutz. Diese Lage führt zu einer erheblichen Lärmbelastung, der mit der vorgesehenen Fassadenausführung begegnet werden muss.

Das individuell steuerbare Lüftungsgerät mit drei Schaltstufen sorgt für permanente Frischluftzufuhr. Es saugt die verbrauchte Luft im Rauminnen an und führt sie nach außen. Die kalte Frischluft strömt in Gegenrichtung über einen Wärmetauscher im Lüftungsgerät und wird so durch die Wärme der Abluft vorgewärmt und an das Temperaturniveau der Innenluft angeglichen.

Durch die Nachtluftkühlung wird eine konventionelle Klimaanlage 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.



Abb. 3: Lüftungsflügel und Lüftungsgerät

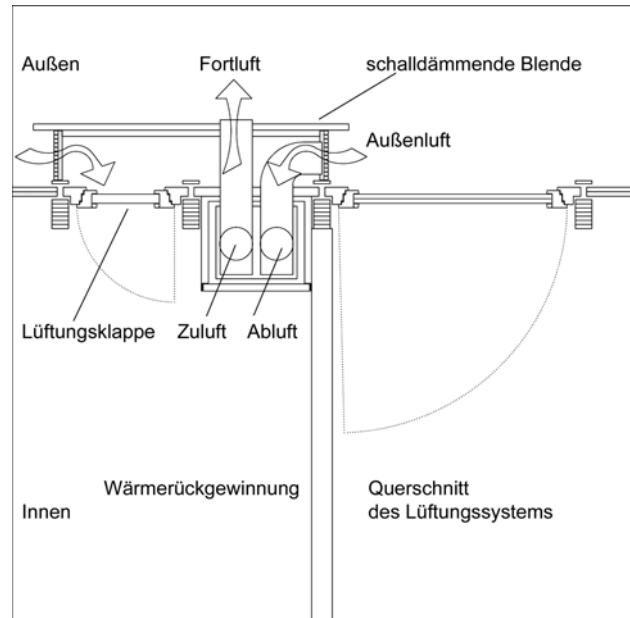


Abb. 4: Horizontalschnitt Fassade mit Lüftungs-  
klappe

Durch die dezentralen Lüftungsanlagen kann das Lüftungsnetz sowohl in seiner Länge als auch durch geringe Luftgeschwindigkeiten optimiert werden und gleichzeitig werden die Strömungswiderstände ebenfalls minimiert. In den Lüftungsgeräten werden hocheffiziente Elektromotoren eingesetzt. Insgesamt wird damit ein sehr geringer Stromverbrauch der Lüftungsgeräte erreicht.

Mit diesem Konzept können die Luftmengen in einzelnen Zonen geregelt werden, ohne die zusätzlichen Strömungswiderstände durch Volumenstromregler.

In der Heizperiode kommen hocheffiziente Kreuzstromwärmetauscher zum Zuge, mit denen in dieser Zeit die Wärmeverluste durch die Lüftung um mindestens 90% reduziert werden. Ebenfalls hinter der Verblendung wird Außenluft direkt in das Lüftungsgerät geleitet. Am Wärmetauscher wird kühle Frischluft mit Wärme angereichert. Diese Wärme stammt aus der Fortluft. Das Gebäude verliert somit kaum ungewollt Wärmeenergie. Über ein Abluftrohr wird die verbrauchte Luft direkt aus dem Lüftungsgerät durch die Verblendung nach außen geleitet.

Die Grundrisse ermöglichen für die Nachtlüftung in vielen Fällen Querlüftungssituationen und stellen damit sicher, dass immer hohe Luftwechselraten erreicht werden können.

## 2.2. Aktivierung der Gebäudemasse

Die große Masse des Gebäudes steht als Speicher für Wärme bzw. vor allem für (Nacht-) Kälte zur Verfügung. Die hohe thermische Masse der Gebäudewände, -decken und -böden, die in direkter Verbindung mit der Raumluft steht, kann eine große Wärmemenge speichern. Dadurch werden die Temperaturschwankungen im Gebäude stark reduziert. Im Winter können solare Wärmegewinne besser genutzt werden. Im Sommer verhält es sich durch die Nachtabkühlung genau umgekehrt. Die Kälte der Nacht wird von der Gebäudemasse gespeichert und in Kombination mit dem hochwertigen Sonnenschutz bleibt das Gebäude auf natürliche Weise insgesamt wesentlich länger kühl.



Abb. 5: Rohbau Sonnenschiff

Die Betondecken und Böden im Sonnenschiff sind massiv ausgeführt, die Außenfassade in einer leichten Holz-Riegelpfostenbauweise.



### 2.3. Vakuumisulationspaneele (VIP)

Die Außenwand des Sonnenschiffs ist mit neuartigen Vakuumisulationspaneelen 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: Im Passivhaus sind 25 cm Dämmung Standard. Im Sonnenschiff wurden über 1.000 Quadratmeter Vakuumpaneele eingebaut, zum Teil mit erhöhten Schallschutzanforderungen. Sie garantieren einen besseren Wärmeschutz als konventionelle Dämmstoffe. Hinzu kommt, dass durch die geringe Dicke im Bürogebäude Sonnenschiff mehr Raum gewonnen werden konnte.

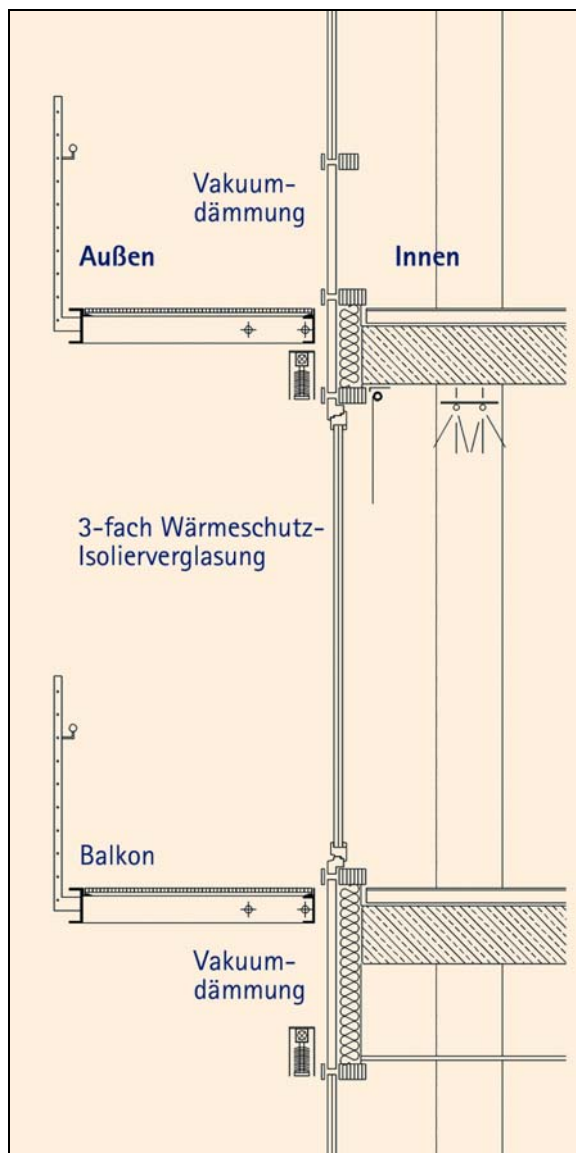


Abb. 6: Längsschnitt der Fassade

## **2.4. 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 Wachskügelchen - winzige Kügelchen mit eingelagertem Paraffinwachs. Dieses PCM (Phase Change Material) ändert im Bereich von ca. 23 - 26°C seinen Aggregatzustand von fest zu flüssig. Dieser Wechsel entzieht der Umgebung Wärmeenergie und bewirkt dadurch, dass sich die Raumtemperatur nicht weiter erhöht, ohne dass zusätzlicher Energieaufwand nötig wäre. Die thermische Masse der Leichtbaustoffe wird auf diese Weise stark erhöht.

Aufgrund von vorangegangenen Simulationen waren die Erwartungen an die Materialien sehr hoch. Es wurde erwartet, dass es zu einer Reduktion der Maximaltemperatur in Innenräumen von 2°C kommen wird und somit zu einer signifikanten Reduzierung der Kühllast im Sommer. In der Praxis trat dieser Effekt aber nicht so stark ein und konnte messtechnisch nicht nachgewiesen werden.

## **2.5. Licht und passive Wärmenutzung**

Um das Sonnenschiff als Dienstleistungszentrum attraktiv zu gestalten, wurde eine durchgehende Glasfassade für das lange, schmale Gebäude gewählt. Rund 63 Prozent der Außenwände sind großflächig mit raumhohen Spezialfenstern verglast. Die Fenster sind stark isoliert, ermöglichen aber gleichzeitig einem großen Teil des Lichtes, in die Räume zu gelangen. Im Sommer werden die Sonnenstrahlen von der außen liegenden Jalousie und den Vordächern abgehalten, während im Winter die Sonne tief ins Gebäude eindringen kann. Durch die Dämmung und die nach innen wirksame Infrarotreflexion der Scheiben bleibt die Wärme in den Räumen.

Konventionelle Fassade haben einen Fassaden U-Wert von 1,5 W/m<sup>2</sup>K (Verglasung 1,2 W/m<sup>2</sup>K) und einem g-Wert von 0,59. Im Sonnenschiff wurde eine Fassade mit einem U-Wert von 0,7 W/m<sup>2</sup>K und ein g-Wert von 0,6 eingesetzt. Diese Spezialfenster isolieren stark, ermöglichen aber zugleich, dass ein sehr großer Teil des Lichts in die Räume gelangt.

In den Penthäusern auf dem Sonnenschiff werden im Sommer die Sonnenstrahlen von den großen Südvordächern abgehalten, während im Winter die Sonne tief ins

Gebäude dringen kann. Und durch die nach innen wirksame Infrarot-Reflexion der Scheiben bleibt die Wärme in den Räumen. Die Spezialfenster lassen einen sehr großen Teil des Lichts in die Räume, sind im Sommer aber durch Vordächer geschützt.

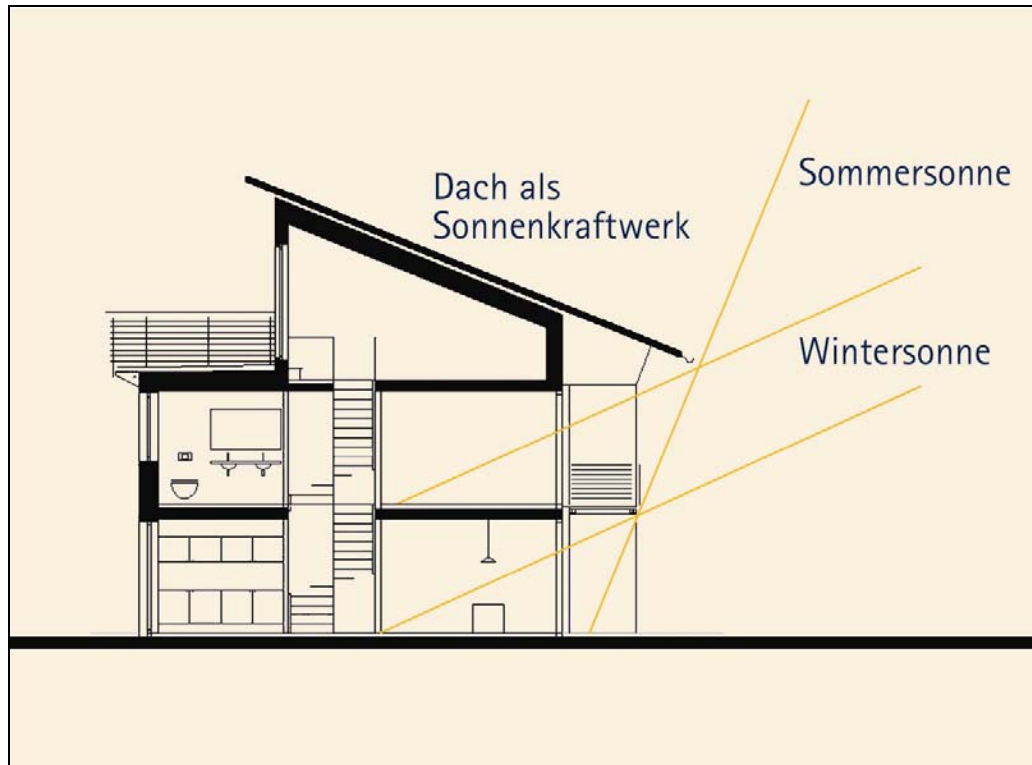


Abb. 7: Lichteinstrahlung in den Penthäusern

## 2.6 Holzfassade

Die tragenden Bauteile für die Energiefassade bestehen aus Holz, ein traditioneller Baustoff, der sich zunehmend wieder im modernen Wohn- und Gewerbebau durchsetzt. Die Planung und Montage der Holzfassade leistete die Firma Finnforest-Merk im bayerischen Aichach.

Zum ersten Mal konstruierte das Unternehmen eine Fassade nach Passivhausstandards für einen großen Gewerbebau. Verbaut wurden insgesamt 75 m<sup>3</sup> heimische Fichte als Brettschichtholz 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.

Mit der Holzfassade wird ökologisch, ästhetisch und für die Nutzer angenehm gebaut. Das Holz schafft eine angenehme Arbeitsumgebung. Bei der gesamten Planung des Gebäudes wurde auf eine gesundheitsbewusste Bautechnologie geachtet. Durch die Verwendung natürlicher, nachwachsender und recycelbarer Baustoffe gibt es keine Emissionen und Belastung von Innenräumen und Umwelt.



Abb. 8: Das Café mit Holzfassade im Erdgeschoss des Sonnenschiffes

## **3. Projektergebnisse**

### **3.1. Messungen am Musterfassadenelement**

Zur Überprüfung und Optimierung der Eigenschaften der Fassadenelemente wurde ein Muster hergestellt, das im Jahr 2004 im Labor im Schalltechnischen Laboratorium der ita Ingenieurgesellschaft für technische Akustik mbH in Wiesbaden vermessen wurde.

Ein Fassadenmusterelement in der Größe von 4,50 Meter mal 3,00 Meter wurde hergestellt, das damit von seinen Proportionen dem Einsatz im Sonnenschiff entsprach. Alle Bauteile und Komponenten wie Lüftungsflügel, Festverglasung und Vakuum-Isolier-Paneel, die auch im Sonnenschiff zur Anwendung kamen, wurden in das Fassadenelement eingebaut.

In einer umfassenden Versuchsreihe wurden Modifikationen des Fassadenelements im Hinblick auf ihre Einflüsse auf die Schalldämmung überprüft. Die Ergebnisse der Messungen an Modifikationen des Fassadenelements, die zur Ausführung am Bau übernommen werden sollten, wurden in Prüfberichten, die den Anforderungen nach ISO 140-3 genügen dargestellt.

Im Arbeitsbericht P 221/04 wurden die Ergebnisse zusammengefasst [WIL04].

An dem Musterfassadenelement wurden außerdem von der Firma Stahl und Weiß Messungen zum Luftwechsel mit einem Tracer-Gas-Messverfahren vorgenommen. Dabei wird der zu erreichende Luftwechsel durch die Nachlüftung in dem Musterraum mit einer Spurengasmessung bestimmt. Hierzu wird in den Musterraum eine abgestimmte Tracergasmenge eingebracht und durch das Abklingen der Konzentration die Lüftungseffektivität der Elemente in verschiedenen Situationen ermittelt (Flügel gekippt, geöffnet, geschlossen bei verschiedenen Temperaturdifferenzen).

### 3.2. Auswertung der Energiebilanz

Das Freiburger Ingenieurbüro Stahl + Weiß, Büro für SonnenEnergie, war mit der wissenschaftlichen Begleitung und Auswertung der Energiebilanz im Sonnenschiff beauftragt. Die Ergebnisse der Untersuchung wurden in einem Bericht [LIE08] veröffentlicht.

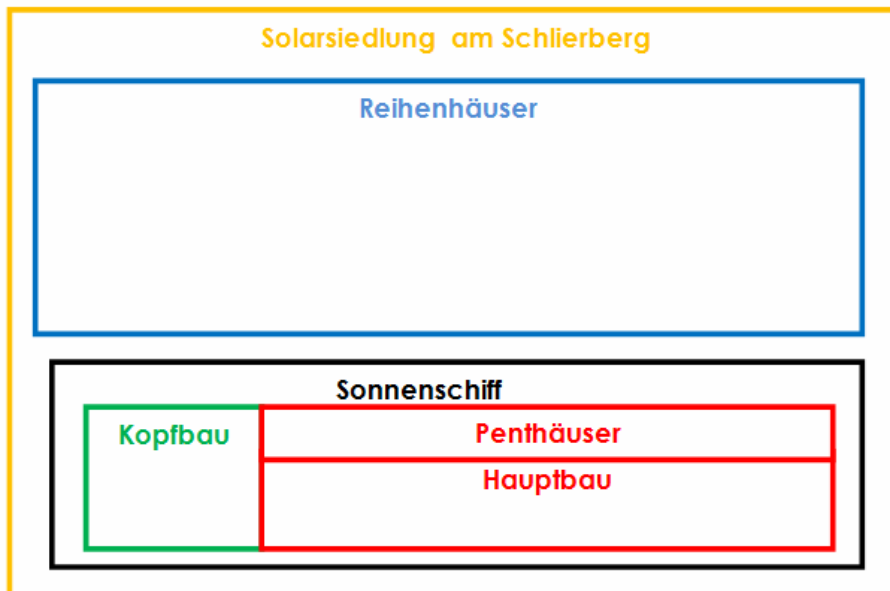


Abb. 9: Schematische Aufteilung der Solarsiedlung am Schlierberg

#### 3.2.1. Wärmeverbrauch

Die Solarsiedlung wird über einen Nahwärmeanschluss aus dem Holzhackschnitzel-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 bis 11.12.07 erfasst. Umgerechnet auf ein Jahr verbraucht das Sonnenschiff 203 MWh Wärme.

Bezogen auf die verschiedenen Nutzungsbereiche verteilt sich dieser Wärmeverbrauch folgendermaßen.

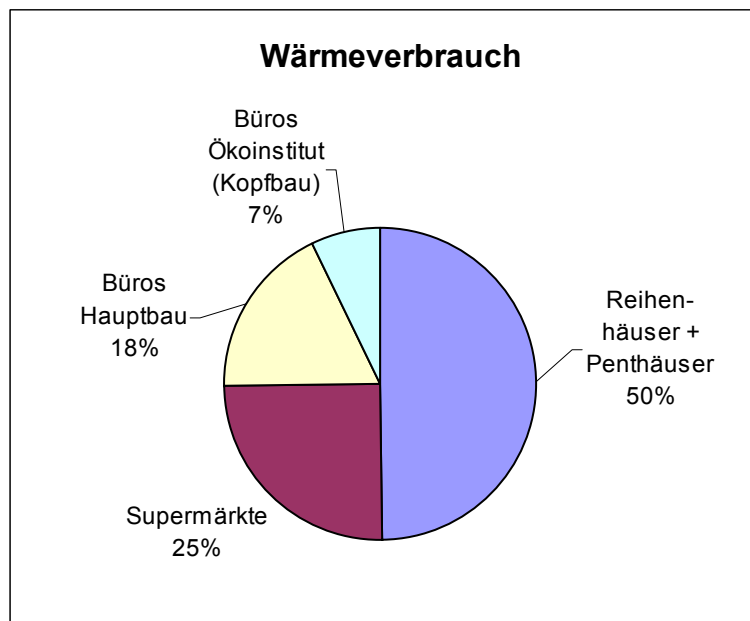


Abb. 10: Aufteilung des Wärmeverbrauchs im Sonnenschiff

Die Verbrauchsmessungen im Jahr 2007 zeigen, dass die Messergebnisse von den ursprünglichen Annahmen abweichen. Dies liegt vor allem an den beiden Supermärkten, deren Strom- und Wärmeverbräuche deutlich höher sind, als bei „normalen“ Geschäftsräumen.

Gebäude	Bezugsfläche	Wärmeverbrauch		Stromverbrauch	
	[m <sup>2</sup> ]	[kWh/m <sup>2</sup> a]	[kWh/a]	[kWh/m <sup>2</sup> a]	[kWh/a]
Reihen Häuser + Penthäuser	8.112	25 <sup>1</sup>	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
<b>Gesamt</b>	<b>17.617</b>	<b>23</b>	<b>405.725</b>	<b>42</b>	<b>746.018</b>
<b>Sonnenschiff<sup>2</sup></b>	<b>9.505</b>	<b>21</b>	<b>203.739</b>	<b>60</b>	<b>574.857</b>

Tab. 1: Wärme- und Stromverbrauch der Gebäudeteile 2007

<sup>1</sup> inklusive Warmwasserverbrauch

<sup>2</sup> ohne Reihenhäuser und Penthäuser

Um neben dem Gesamtgebäude auch Aussagen für die Einzelbüros treffen zu können, wurde der Wärmeverbrauch eines Büros (mit 289 m<sup>2</sup> Nutzfläche) einzeln vermessen. Der spezifische Wärmeverbrauch ist 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.

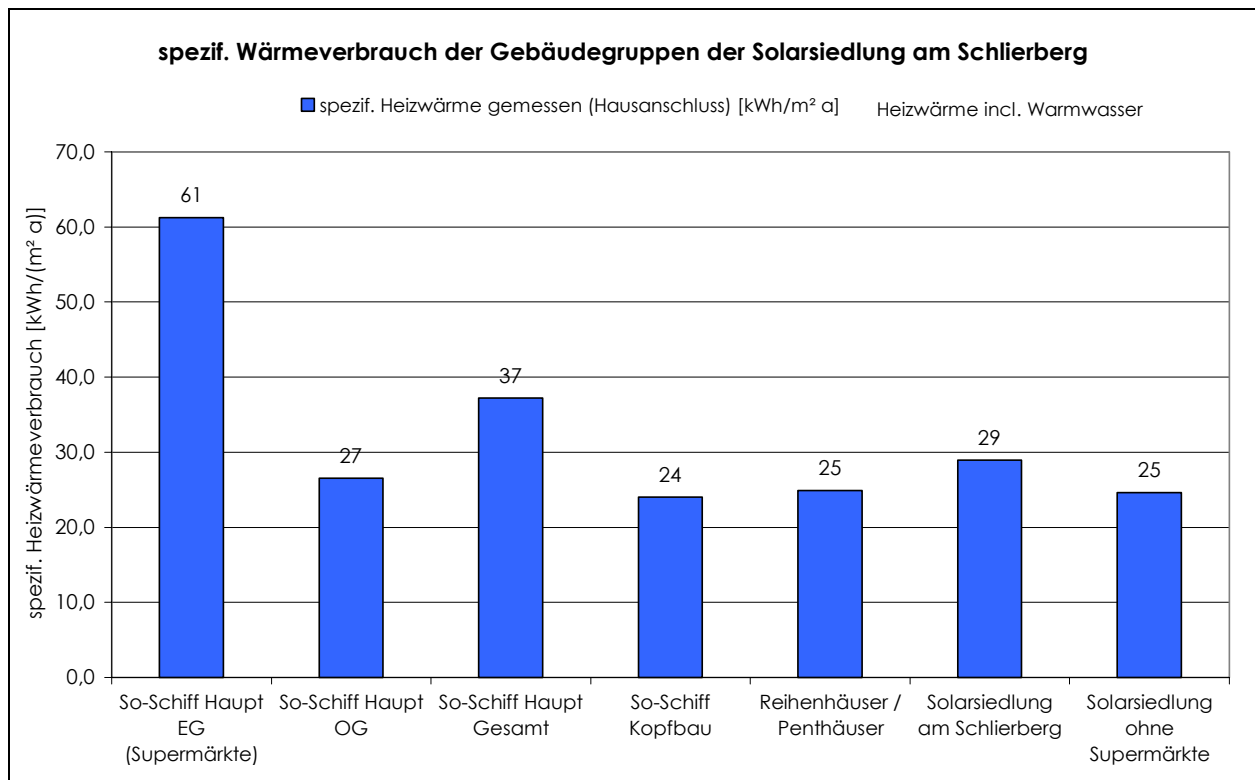


Abb. 11: Spezifischer Wärmeverbrauch der einzelnen Gebäudegruppen



### 3.2.2 Stromverbrauch

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

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.

Die im Sonnenschiff befindlichen Supermärkte, besonders mit Lebensmittel-Verkauf, besitzen allerdings einen deutlich höheren Stromverbrauch: Im Supermarkt 1 liegt er bei 150 kWh/(m<sup>2</sup>a) und im Supermarkt 2 bei 436 kWh/(m<sup>2</sup>a). Verursacht wird dies durch die intensiven Verbraucher: Die intensive Beleuchtung, die Lüftungsanlage und die Klimatisierung (Raumlufte wie Kühltruhen) in Verbindung mit einer hohen Anzahl von Betriebsstunden (Mo-Sa 8-20 Uhr/ 16 Uhr). Dieser Strombedarf der Supermärkte ist in der Vorplanung zum Plusenergie-Konzept nicht in dieser Höhe abgeschätzt worden.

Im Supermarkt 2 wurden nachträglich Verbesserungen im Kühlbereich der Lebensmittel vorgenommen. Die früher offenen Schränke wurden mit Glastüren geschlossen.

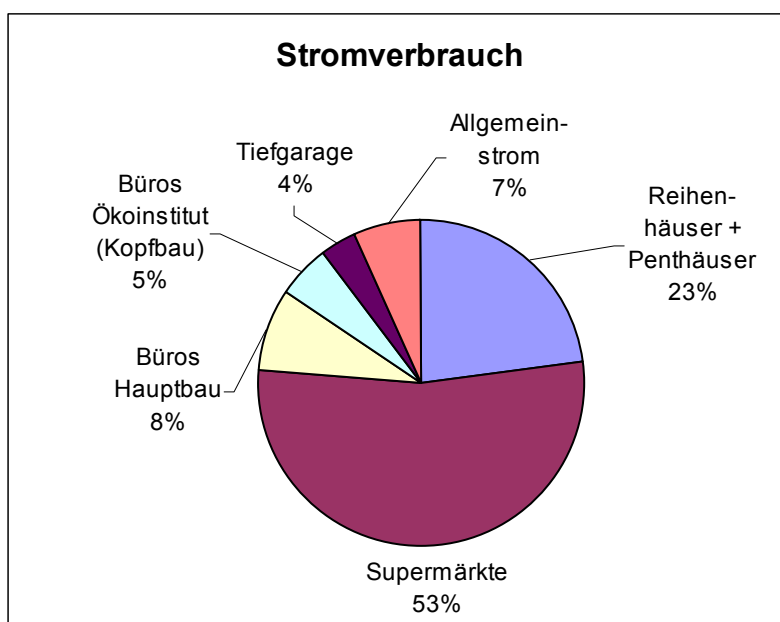


Abb. 12: Stromverbrauch im Sonnenschiff

### 3.2.3. Solarstromproduktion

Insgesamt sind auf den Gebäuden der Solarsiedlung rund 445 Kilowatt Spitzenleistung (kWp) Photovoltaikanlagen installiert. Rund 40 kWp finden sich auf dem Dach des Kopfbaus des Sonnenschiffs (grüne Markierung), das vom Öko-Institut genutzt wird. Auf den acht Penthäusern sind rund 72 kWp installiert (rote Markierung).



Abb. 13: Solarstromanlagen in der Solarsiedlung

Gebäude	Gebäude-nutzfläche [m <sup>2</sup> ]	PV-Anlagen-leistung [kWp]	spez. PV-Ertrag [kWh/kWp ]	PV-Einspeisung [kWh/a]	PV-Einspeisung pro Nutzfläche [kWh/m <sup>2</sup> Nutzfläche]
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>

Tab. 2: Solarstromanlagen auf dem Sonnenschiff

Der gemittelte spezifische solare Ertrag über alle Anlagen von Solarsiedlung, Sonnenschiff und Öko-Institut beträgt  $955 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ .

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

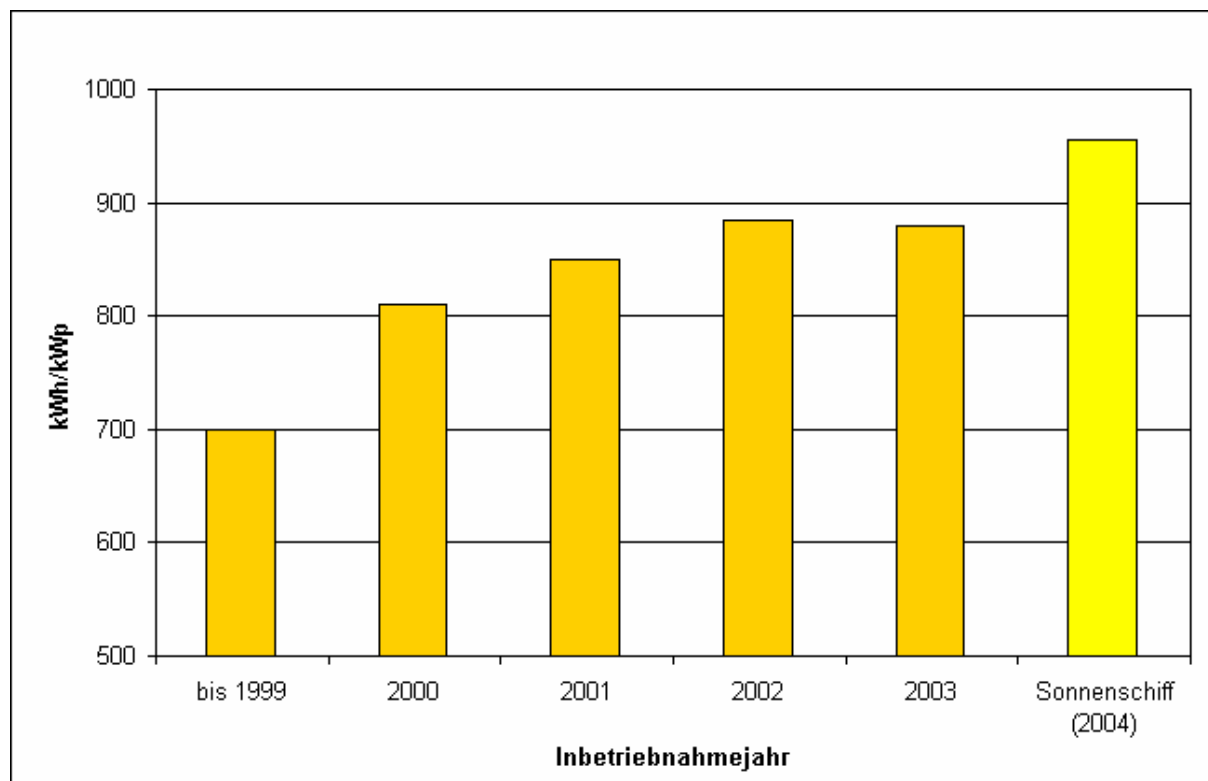


Abb. 14: Leistungsvergleich der PV-Anlagen nach [SCH05]

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 (zum damaligen Zeitpunkt ca. 500 Anlagen mit einer Gesamtleistung von 6,1 Megawatt) [SCH05]. Die Ergebnisse zeigen, dass je 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  $955 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$  liegen die PV-Anlagen auf dem Sonnenschiff auf der Höhe der in 2004 installierten Anlagen in Freiburg.

### 3.2.3. 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 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 sowie einem Faktor von 0,9 für die Fernwärme gerechnet. Ursache ist ein größerer Anteil an Gas bei der Verbrennung im Heizkraftwerk entgegen der ursprünglichen Planung. Diese beiden Aspekte wirken sich ungünstig auf die Primärenergiebilanz des Sonnenschiffs aus.

		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

Tab. 3: Primärenergiebilanz der Sonnenschiffs

Die Primärenergiebilanz für das Sonnenschiff liegt bei 152 kWh/ m<sup>2</sup>a. Dieser hohe 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, die bei Null liegt, bzw. im leicht positiven Bereich.

Mit einem Primärenergieverbrauch von 36 kWh/a erfüllt das Sonnenschiff (ohne Supermärkte) die Passivhaus-Anforderungen für Wohngebäude.

### 3.3 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 hohen Außentemperaturen deutlich unter der Außentemperatur.

Überprüfungen ergaben, dass der Sonnenschutz gut funktioniert. Er verhindert einen deutlich erhöhten Temperaturanstieg bei hoher solarer Einstrahlung.

Über die Nachtluftkühlung kann eine Abkühlung von bis zu 4 Kelvin festgestellt werden. Die Abkühlung mit Nachtluftkühlung ist sehr deutlich von der Situation ohne geöffnete Fenster zu unterscheiden. Werden z.B. über das Wochenende keine Fenster bzw. Nachtlüftungsflügel geöffnet, so bleibt die Temperatur (bei geschlossenem Sonnenschutz) nahezu konstant. Auch nachts kommt es nicht zu einer Abkühlung, da die hoch gedämmte Fassade nur einen geringen Wärmeverlust aufweist.

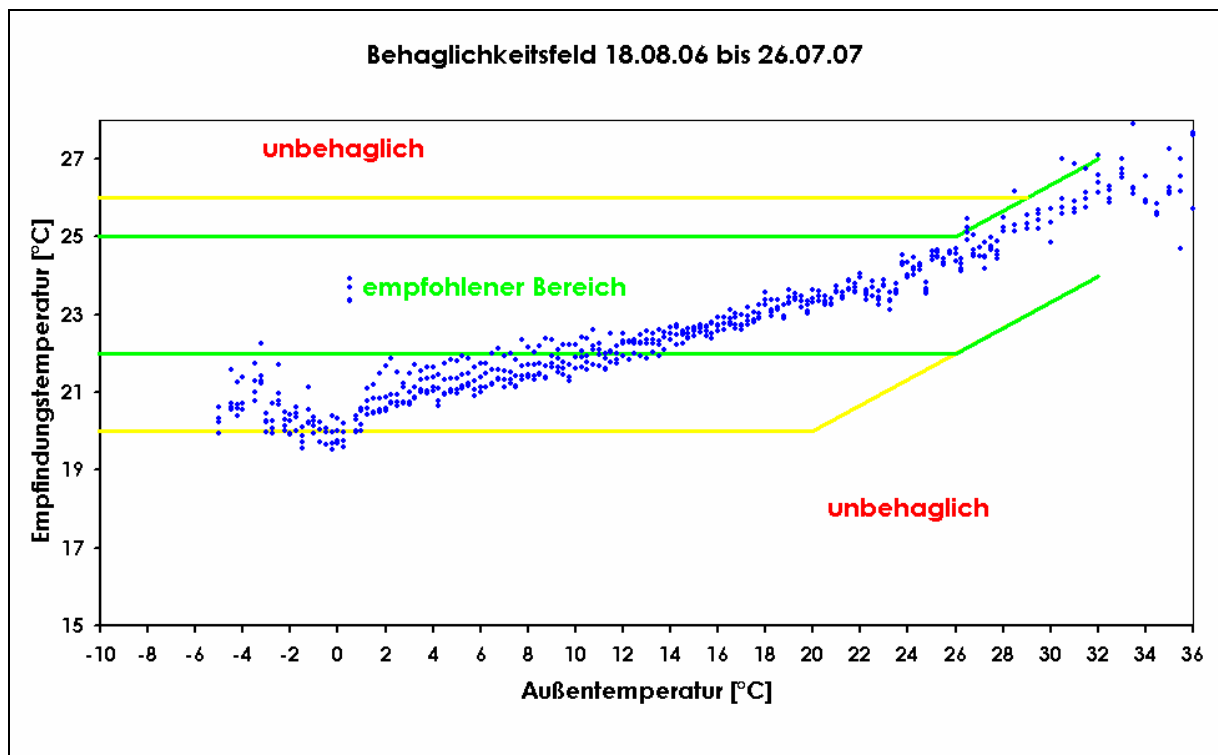


Abb. 15: Behaglichkeitsfeld mit nach DIN 1946 bzw. VDI 2078 im Großraumbüro

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 besseres Raumklima zu liegen. Der Sonnenschutz wird oft zu spät heruntergefahren, wenn bereits über Blendung und starke Erwärmung geklagt wird. Gegen das Gefühl von schlechter oder zu warmer Luft wird über die Fenster gelüftet, anstelle die Lüftungsanlage so zu betreiben, dass diese Luftzustände gar nicht erst auftreten.

### Einfluss von PCM auf die Temperatur

Im Sonnenschiff wurden in einzelnen Bereichen thermisch aktive Leichtbaurenwände mit Latentspeicher-Gipskartonplatten eingebaut.

Eine vorangehende Simulation hatte ergeben, dass im idealisierten Fall, d.h. ohne Einflüsse wie z.B. die falsche Bedienung des Sonnenschutzes oder der Nacht- und Fensterlüftung, zu den problematischen Zeiten eine Temperaturabsenkung von ca. 1 Kelvin zu erwarten wäre.

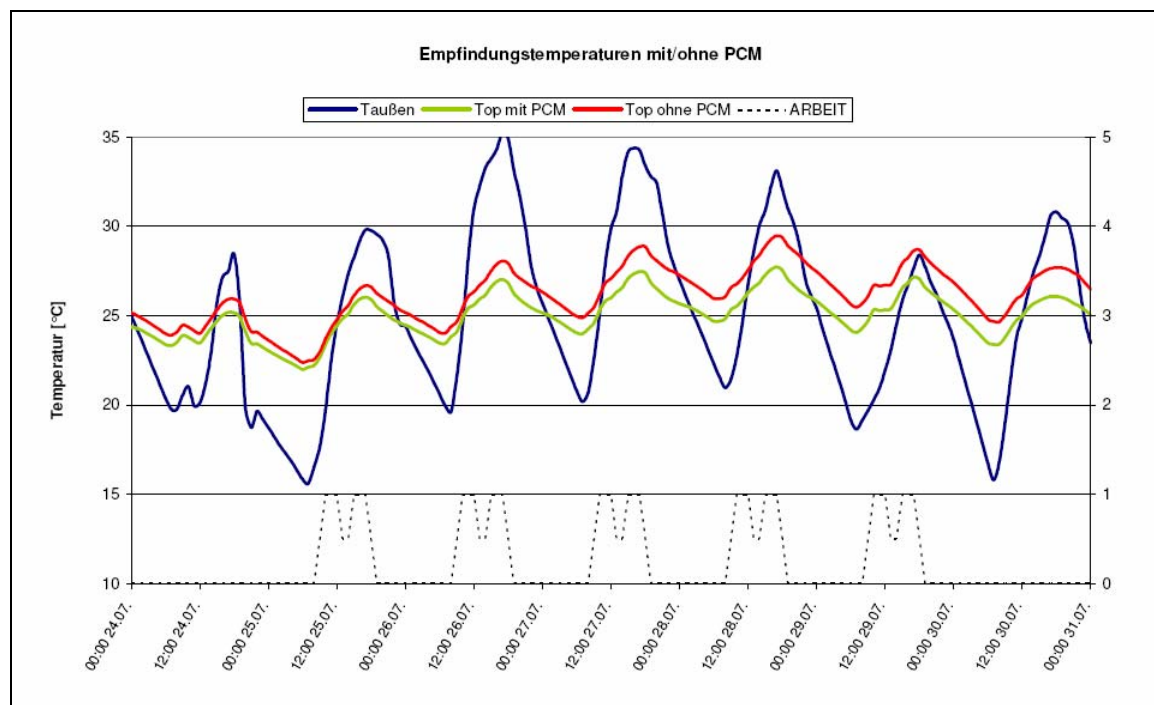


Abb. 16: Simulierter Temperaturverlauf in einem Einzelbüro mit und ohne PCM

Die nachfolgende Temperaturmessung zeigte, dass in den Räumen mit PCM ein höherer sommerlicher Komfort erreicht wurde als in Räumen ohne PCM. Die Raum-

Lufttemperaturen der dieser Bürozonon liegen bei hohen Außentemperaturen niedriger als bei anderen Bürozonon. Ob dies auf den Einsatz von PCM-Platten zurückzuführen ist, konnte messtechnisch nicht nachgewiesen werden.

Aus der im folgenden dargestellten Nutzerbefragung geht eine recht hohe Zufriedenheit der Nutzer, in deren Räumen PCM verarbeitet wurde, hervor.

Ein kausaler Zusammenhang zwischen dem PCM und dem besseren thermische Komfort kann messtechnisch allerdings nicht belegt werden.

### **3.4 Nutzerbefragung zur Zufriedenheit**

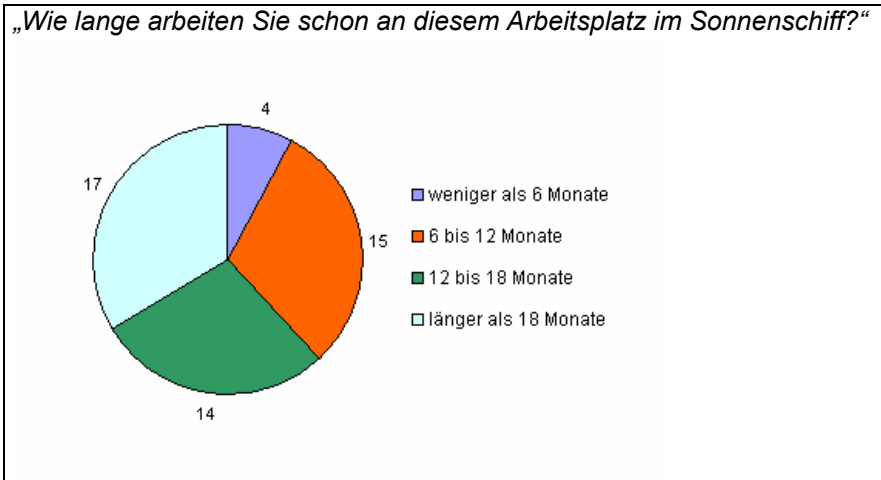
Die Zufriedenheit der Nutzer des Gebäudes wurde mit einer repräsentativen Umfrage erfasst und ausgewertet. Dazu wurde ein sechsseitiger Fragebogen entwickelt, der Fragen zu folgenden Kategorien aufweist: Allgemeines, Temperaturempfinden, Sonneneinstrahlung, Luftqualität, Gesundheit, Lärmbelästigung, Haustechnik, Persönliches und Fazit.

Die Energieagentur Regio Freiburg erarbeitete den Fragebogen im Juli 2006. Die Umfrage wurde jedoch auf März 2007 verschoben, um eine höhere Aussagekraft der Ergebnisse zu garantieren. Viele Mieter hatten die betreffenden Räumlichkeiten zum ersten Zeitpunkt noch nicht hinreichend lange genutzt, um valide Aussagen treffen zu können.

Von im März 2007 versendeten 165 Fragebögen ergab sich ein Rücklauf von 51 beantworteten Fragebögen (31%). Von 16 angeschriebenen Unternehmen beteiligten sich letztlich 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.

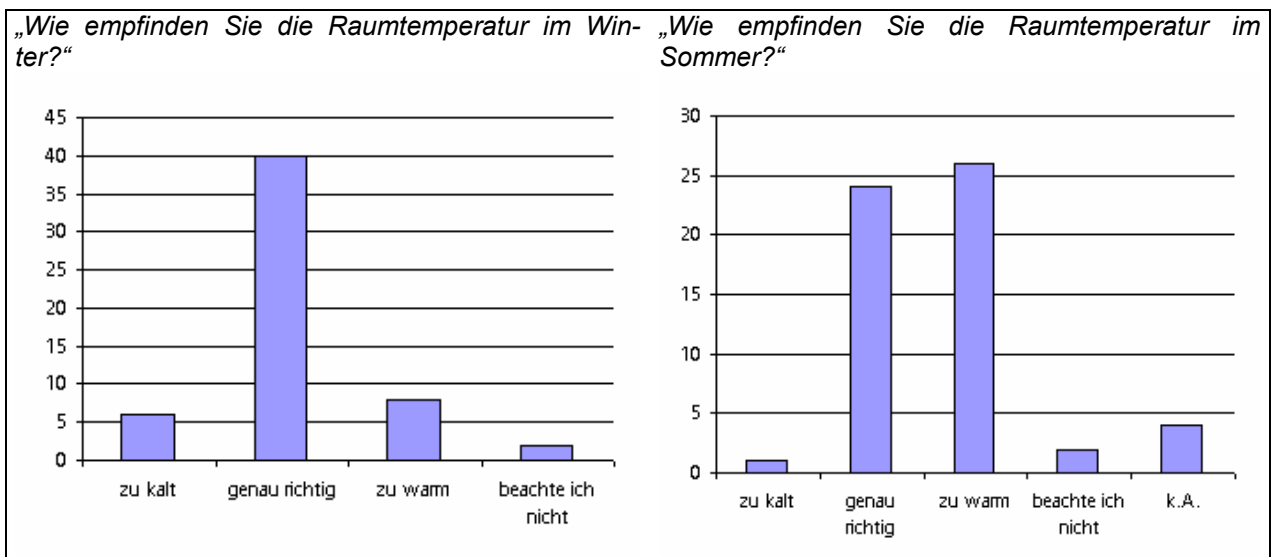
Die gute Beteiligung an der Umfrage kann auf die intensive Vorbereitung zurückgeführt werden. Dazu zählt das Knüpfen der Kontakte in den jeweiligen Unternehmen und die im Zeitraum der Umfrage erneute telefonische Kontaktaufnahme zu diesen Ansprechpartnern.

Um die Aussagekraft der Ergebnisse zu garantieren wurden im ersten Teil verschiedene Fragen zur Anwesenheit im Sonnenschiff gestellt.



Fast alle Teilnehmer lebten oder arbeiteten zum Zeitpunkt der Befragung seit mindestens sechs Monaten im Sonnenschiff (92%). Ca. 75% der Teilnehmer haben mindestens einen Sommer, einen Herbst und einen Winter im Sonnenschiff verbracht.

Da im Sonnenschiff innovative Heiz- und Kühlsysteme zum Einsatz kommen, spielt die Zufriedenheit mit der Raumtemperatur, sowohl im Sommer als auch im Winter, eine zentrale Rolle.

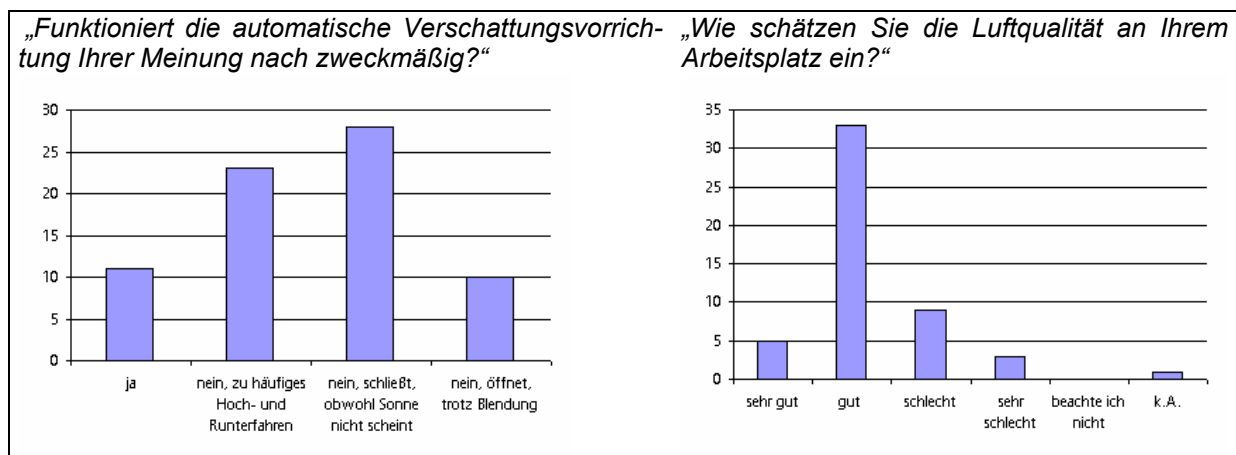


Etwa 80% der Befragten gaben an, die im Winter vorherrschende Raumtemperatur als genau richtig zu empfinden. Daneben bemängelten etwa 23% der Befragten eine zu hohe bzw. zu niedrige Raumtemperatur an. Als Ursache hierfür werden am häufigsten die Heizungsregelung und die Lüftungsanlage genannt.



Im Sommer empfindet mehr als die Hälfte der Befragten die Raumtemperatur als zu warm. Bei der Frage nach Gründen hierfür werden am häufigsten die Sonneneinstrahlung und die Lüftungsanlage bemängelt.

Ähnlich verhält es sich mit Aussagen zur Sonneneinstrahlung. Das Sonnenschiff verfügt über große Fensterflächen, die im Sommer automatisch verschattet werden. Die Ermittlung der Zufriedenheit mit der Funktionsfähigkeit der Jalousien steht hier im Mittelpunkt.

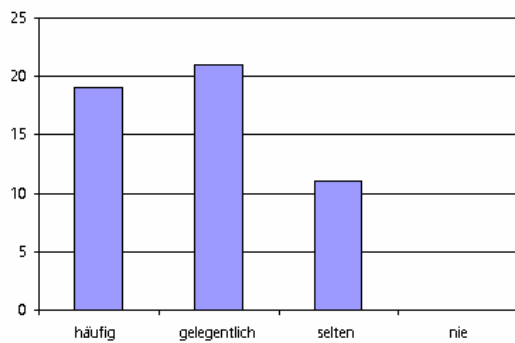


Die automatische Verschattungsvorrichtung funktioniert nach Angabe von 76% der Befragten nicht zweckmäßig: Als häufigstes Problem wird ein automatisches Schließen, obwohl die Sonne nicht scheint, genannt. Daneben bemängeln 45% der Befragten ein zu häufiges Hoch- und Runterfahren der Jalousien. Nur 22% zeigen sich mit der automatisierten Jalousie zufrieden.

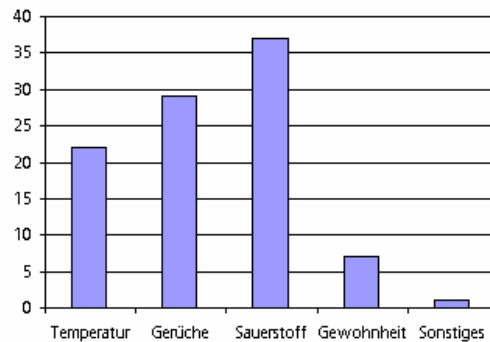
Die befragten Teilnehmer zeigen sich insgesamt zufrieden mit der Luftqualität an ihrem Arbeitsplatz: Rund 75% der Befragten bewerten die Qualität als sehr gut bzw. gut.

Die Fragen zur Luftqualität zielen im Wesentlichen auf die Zufriedenheit der Nutzer mit der einzigartigen Lüftungsanlage des Sonnenschiffs ab. Fragen zur allgemeinen Zufriedenheit bezüglich der Luftqualität, zu Unterschieden im Tagesverlauf und zum Nutzerverhalten beim manuellen Lüften stehen im Vordergrund.

„Wie häufig öffnen Sie die Fenster manuell?“

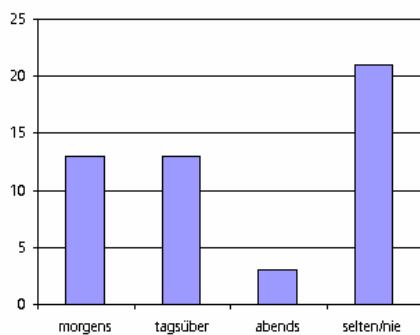


„Aus welchem Grund öffnen Sie die Fenster manuell?“

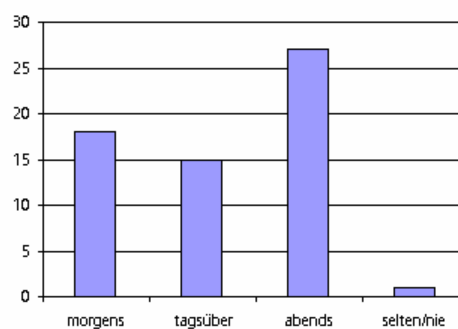


Hier zeichnet sich ab, dass die Fenster von jedem Teilnehmer geöffnet werden. Rund 37% der Befragten öffnen sie sogar häufig. 41% geben an, die Fenster gelegentlich zu öffnen. Als subjektive Gründe für manuelles Öffnen der Fenster werden die folgenden drei Aspekte mit abnehmender Häufigkeit genannt: Sauerstoffzufuhr, Geruchsbelästigung und Raumtemperatur.

„Die Lüftungsflügel öffne ich im Winter:“



„Die Lüftungsflügel öffne ich im Sommer:“



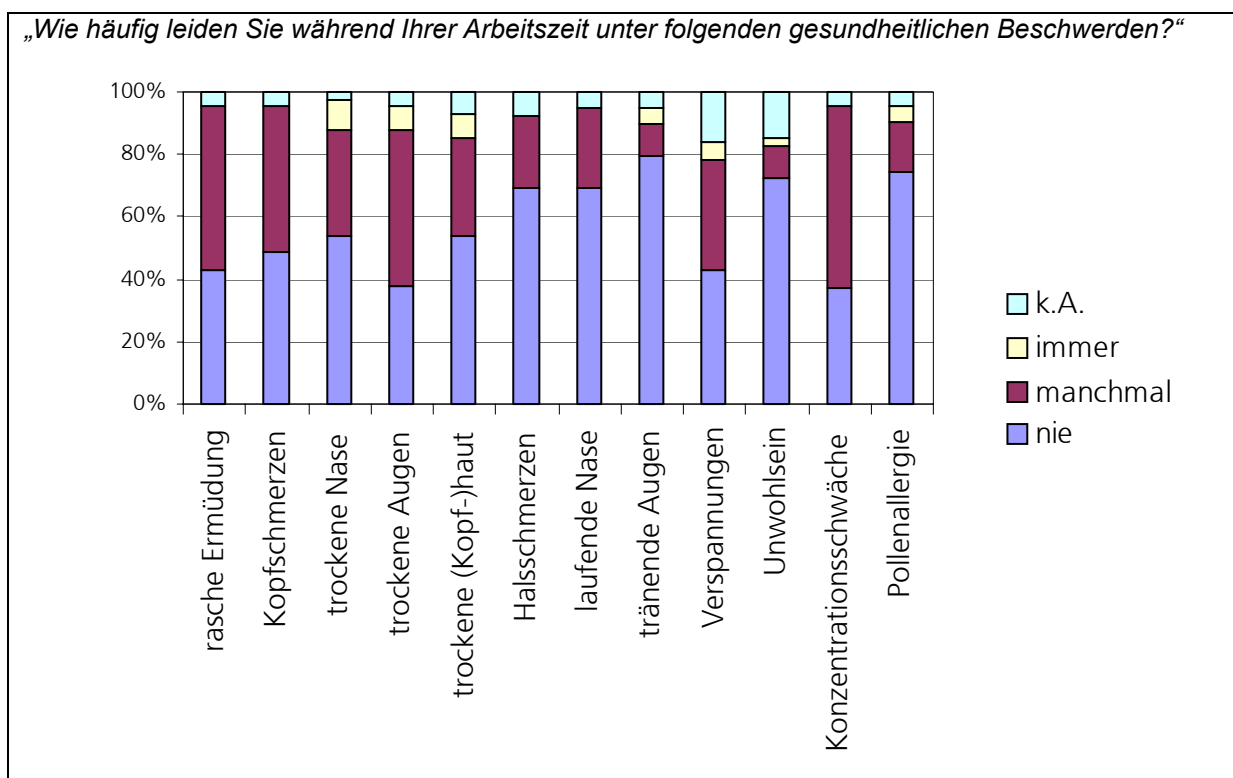
Es fällt auf, dass insgesamt 29 Mal angegeben wird, dass die Lüftungsflügel im Winter geöffnet werden. Es ist offensichtlich, dass die Funktion der Lüftungsflügel einer signifikanten Anzahl von Nutzern nicht bekannt ist.

Auch für den Sommer liegt offensichtlich Erklärungsbedarf hinsichtlich der zweckmäßigen Bedienung der Lüftungsflügel vor. Nur knapp über 50 % der Befragten geben an, die Lüftungsflügel im Sommer abends zu öffnen. Dieses richtige Nutzerverhalten führt zu einer sommerlichen Nachtkühlung der Räumlichkeiten. Dennoch geben fast 30% der Befragten an, die Lüftungsflügel tagsüber zu öffnen, ein Verhalten, das ihrer funktionellen Konzeption vollkommen entgegen wirkt. Ein Öffnen der Lüftungsflügel während der heißen Stunden im Tagesverlauf heizt die Räumlichkeiten zusätzlich

auf. Immerhin 13 % der Antwortenden wissen überhaupt nicht, was mit den Lüftungsflügeln gemeint ist.

Verbessert werden könnte die Situation mit weiteren Erklärungen zum Thema Haustechnik und zum richtigen Lüften.

Die Fragen zur Gesundheit der Nutzer stellen vor allem auf eine eventuelle Anhäufung von bestimmten Krankheiten ab, die auf haustechnische Mängel, wie beispielsweise Zuglufterscheinungen durch die Lüftungsanlage.

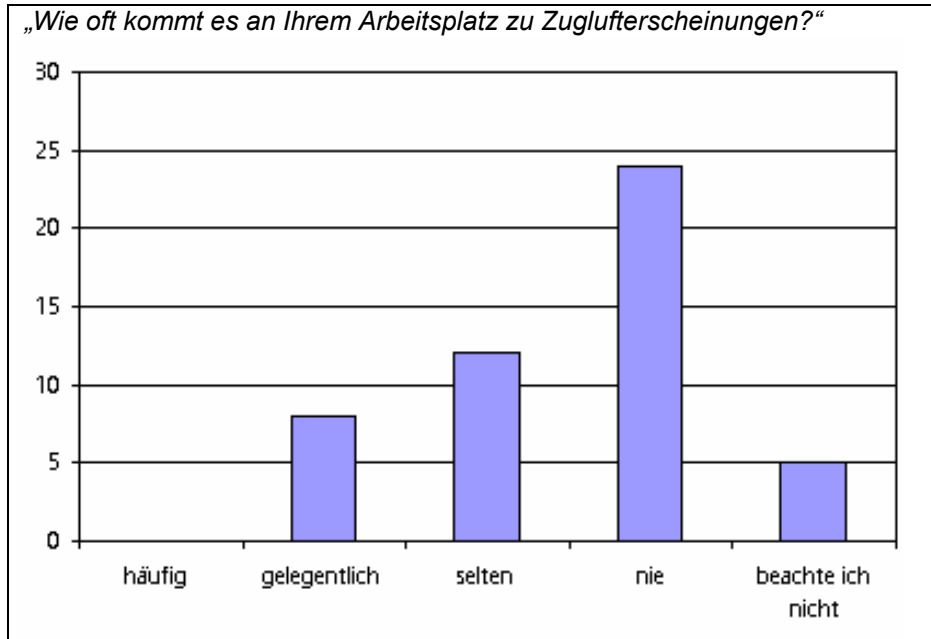


Die Befragung zum gesundheitlichen Wohlbefinden zielt vor allem darauf ab, ob bestimmte Beschwerden häufiger auftreten als andere und ob diese auf die besondere Haustechnik zurückzuführen sind. Aus den Ergebnissen können keine besonderen Auffälligkeiten herausgelesen werden.

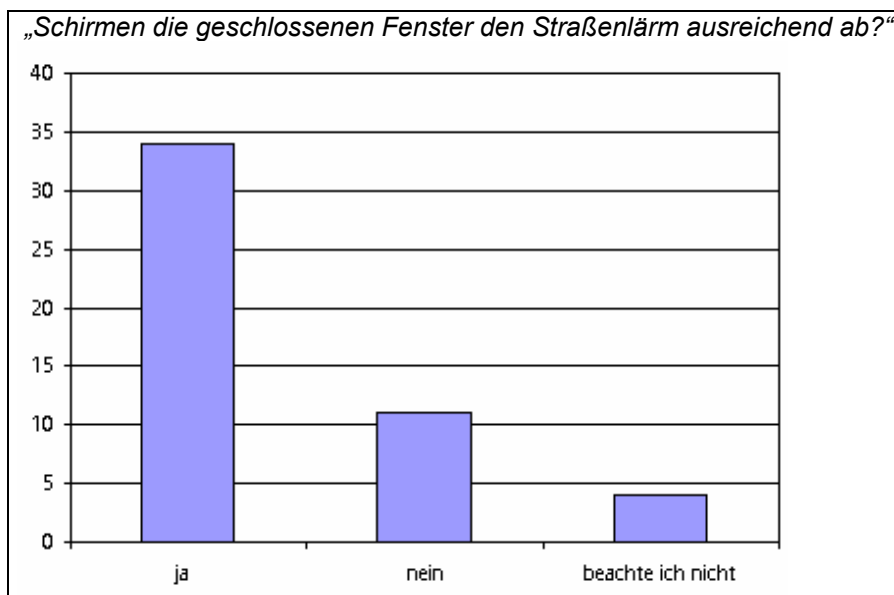
Am häufigsten beklagen die Nutzer Konzentrationsschwächen und rasche Ermüdung, Kopfschmerzen und trockenen Augen. Dies sind typische Beschwerden, die bei andauernder Arbeit vor dem PC auftreten und nicht auf das Raumklima zurückzuführen sind.

Die positive Wirkung des in der Lüftungsanlage eingebauten Pollenfilters bestätigt sich in der Umfrage. Lediglich 4% der Befragten (2 Nennungen) klagen immer über

Probleme mit einer Pollenallergie an ihrem Arbeitsplatz. 6% der Teilnehmer machen keine Angaben. Weitere 15% geben an, manchmal unter den Symptomen einer Pollenallergie zu leiden. 74% der Befragten geben an, an ihrem Arbeitsplatz nie unter Symptomen einer Pollenallergie zu leiden.



Etwa 16% der Befragten geben an, dass es an ihrem Arbeitsplatz gelegentlich zu Zuglufterscheinungen kommt. Weitere 24% geben an, dass es dort selten zieht. Mit 49% der Angaben gibt die Mehrheit der Teilnehmer an, dass es an ihrem Arbeitsplatz nie zu Zuglufterscheinungen kommt.

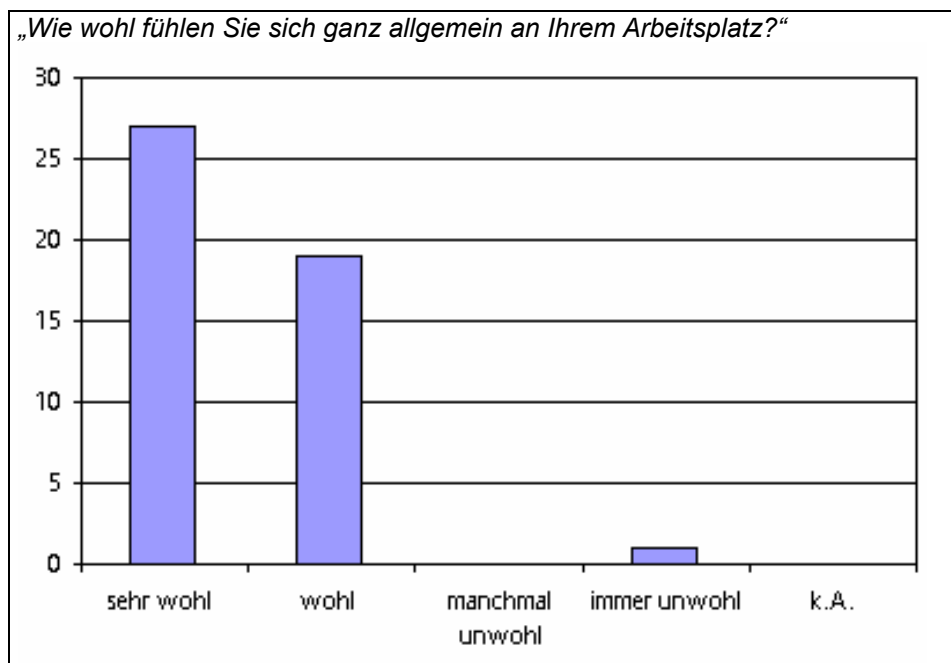


Um die Belastung der Nutzer durch Nebengeräusche bzw. Lärm einschätzen zu können, werden die Nutzer zu ihrem individuellen Geräuschempfinden befragt. Vor

allein die Nähe zur stark frequentierten Merzhauser Straße im Westen könnte zu einer erheblichen Lärmbelästigung führen. Daneben werden Vergleichswerte für Nebengeräusche wie etwa störende Telefongespräche abgefragt.

Die Antworten auf diese Frage zeigen, dass rund 70% der Nutzer mit der lärmdämmenden Wirkung der Fenster zufrieden sind. Nur 22% bemängeln die Dämmwirkung. Etwa 8% nehmen darauf keine Rücksicht.

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.



Eine hinreichende Aussagekraft der Umfrage ist dadurch gewährleistet, dass sowohl eine hinreichend große Stichprobe der im Sonnenschiff arbeitenden Nutzer (quantitativ) als auch die geeigneten Nutzer (qualitativ) für die Umfrage gewonnen werden konnten. 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. Negative Verzerrungen aus diesem Grund können folglich ausgeschlossen werden.

### 3.5 Öffentlichkeitsarbeit

Das Projekt hat bereits jetzt eine hohe Aufmerksamkeit bei zahlreichen gesellschaftlichen Gruppen ausgelöst. Zahlreiche Besuchergruppen aus Politik, Wirtschaft und wissenschaftlichen Einrichtungen aus In- und Ausland besichtigten regelmäßig die Solarsiedlung und das Dienstleistungszentrum Sonnenschiff.

#### 3.5.1 Anzeigetafel

Eine Anzeigetafel wurde errichtet, mit der in einem ablaufenden Film die energetisch optimierte Funktion des Gebäudes verdeutlicht wird.



Abb. 17: Anzeigetafel

#### 3.5.2 Informationsbroschüre

Eine Informationsbroschüre zum Energiekonzept des Sonnenschiffes wurde erstellt [TEB09]. Sie dient insbesondere als Handout für Fachpublikum, das das Objekt vor Ort besucht, wird aber auch bei Anfragen postalisch verschickt.

### 3.5.3 DVD „Innovative Energiefassade im Sonnenschiff“

Es wurde eine DVD erstellt [LEU07], die in ansprechender, leicht verständlicher und qualitativ hochwertiger Form die innovative Energiefassade des Sonnenschiffs darstellt. Die DVD kann gegen eine Schutzgebühr von 5 Euro bei der Solarsiedlung GmbH oder unter [www.energieagentur-freiburg.de/verlag](http://www.energieagentur-freiburg.de/verlag) bezogen werden. Die DVD ist zweisprachig in Deutsch und in Englisch realisiert.

Die filmische Präsentation ermöglicht es wie kein anderes Medium, ein lebendiges Bild von diesem Projekt zu zeichnen. Mit Interviews, aufwändigen Computeranimationen werden Prinzip und Funktion der Energiefassade selbst interessierten Laien verständlich gemacht.

Die Einzelkapitel der DVD sind

- Einführung:
- Energieplanung
- Holzfassade
- Lüftungskonzept
- Gebäudenutzer
- Statements Rolf Disch

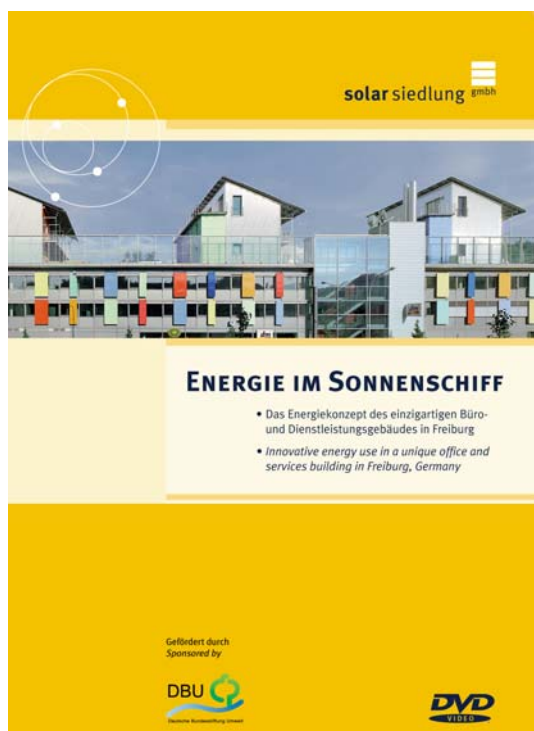


Abb. 18: Cover DVD Energie im Sonnenschiff

### 3.5.4 Führungen und Besuchergruppen

Das Projekt kontinuierlich mit presse- und öffentlichkeitswirksamen Maßnahmen und Aktionen begleitet. Freiburg mit dem Stadtteil Vauban, der Solarsiedlung und insbesondere dem Sonnenschiff ist ständige Anlaufstelle zahlreicher Besuchergruppen aus dem In- und Ausland. Sie sind fester Bestandteil verschiedener Touren, die von Organisationen wie Freiburg futur, Energie Cité und der Stadt Freiburg (Solarregion) angeboten werden.



Abb. 19: Internationale Führungen in der Solarsiedlung



## 4. Fazit

Das Vorhaben wurde im Sinne des Förderzwecks der DBU vollständig umgesetzt. Das Konzept des Sonnenschiffs lässt sich auf zukünftige Bürobauten übertragen. Brandschutz, moderne Kommunikationstechnologien und innere Gestaltung erfüllen alle Anforderungen an heutige moderne Büro-Immobilien.

Es handelt sich um ein besonders gutes Beispiel dafür, dass mit der Berücksichtigung ökologischer Kriterien keine Komfort- oder Qualitätseinbußen verbunden sind. Im Gegenteil: Durch die verwendeten umweltverträglichen Baustoffe, die Lüftung mit Wärmerückgewinnung und die natürliche Belichtung der Arbeitsplätze wird die Qualität der Räume für die Nutzer sogar erheblich gesteigert.

Das Gebäude zeichnet sich durch einen sehr geringen Energieverbrauch, die Verwendung nachwachsender Rohstoffe, die Nutzung regenerativer Energiequellen und die Vermeidung großer (Bau-)Stoffströme aus.

Die Erwartungen an das Energiekonzept wurden weitgehend erfüllt. Allerdings gestaltete sich der Einbau der wärmespeichernden PCM-Platten als sehr schwierig. Die Innenraumzonierungen – und damit die Bereiche, die für die PCM-Platten geeignet sind - wurden im Einvernehmen mit den Mietern jeweils erst zu einem sehr späten Zeitpunkt festgelegt. Zusätzlicher Aufwand aufgrund der daraus resultierenden anderen Wandstärken musste im Bereich der Türcargen getrieben werden. Messtechnisch konnte der Effekt der PCM-Platten zudem nicht nachgewiesen werden.

Die wissenschaftliche Auswertung der Funktion der Nachlüftung des daraus resultierenden thermischen Komforts zeigte, dass das Konzept einer natürlichen Klimatisierung funktioniert. Wichtig dabei ist allerdings, dass der automatische Sonnenschutz konsequent eingesetzt wird und nicht durch „manuelles Gegensteuern“ seine Wirkung außer Kraft gesetzt wird. Ebenso zeigte sich, dass die Bedienung der Fenster bzw. Nachlüftungsflügel evident für die Wirkung ist und die Effizienz der Nachlüftung im realen Betrieb oft gemindert wird, weil durch die Büroarbeitszeiten morgens zu spät und abends zu früh geöffnet wird. Hier scheint die Bedienung von Fensterlüftung und Sonnenschutz noch einiges Potenzial für ein besseres Raumklima zu bieten. In der repräsentativen Umfrage unter den Nutzern wurde trotzdem eine hohe Zufriedenheit festgestellt. Nach Vorstellung der Ergebnisse werden weitere Optimierungen in Absprache mit den Mietern erfolgen.



Abb. 20: Modell des Sonnenschiffs

## Literatur- und Materialverzeichnis

- [DIS07] DISCH, R, *1. Sonnenschiff-Fonds – Der zukunftsfähige Immobilienfonds*. Solarsiedlung GmbH, Informationsbroschüre 2007.
- [DIS09] DISCH, R, *Das Sonnenschiff in Freiburg – Ein Dienstleistungszentrum mit 8 Penthäusern*. Solarsiedlung GmbH, Informationsbroschüre 2008.
- [LEU07] LEUCHTNER, J.: *Solar City Freiburg – Know-how to power the future*. DVD mit 42 min Spiellänge (deutsch/ englisch), Agentur tiolog – kommunikation mit Energie, 2008.
- [LEU08] LEUCHTNER, J.: *Energie im Sonnenschiff*. DVD mit 62 min Spiellänge (12-sprachig), Agentur tiolog – kommunikation mit Energie, 2008.
- [LIE08] LIEBECK, JACOB, WEISS, STAHL: *Messdatenerfassung Sonnenschiff und Plusenergiebilanz Solarsiedlung für eine Demonstrationsprojekt der DBU*. Arbeitsbericht Stahl + Weiß Büro für SonnenEnergie, 2008.
- [SCH05] SCHOOF, U.; SCHÜLE, R; KIEFER, K. HELD, A; SEITZ-SCHÜLE, W.; *Wegweiser Solarstromanlagen – Anlagenauswertung zur Qualitätssicherung – Feldstudie des Fraunhofer ISE, Erkenntnisse für Handwerk und Betreiber*, Informationsbroschüre 2005.
- [SCH08] SCHLEICHER, T, RICHTER, E: *Nutzerbefragung Raumklima im Sonnenschiff*. Arbeitsbericht Energieagentur Regio Freiburg GmbH, 2008.
- [STA04] STAHL, W.: *Messung des Luftwechsels an der Musterfassade „Sonnenschiff“*, Arbeitsbericht Stahl und Weiß Büro für SonnenEnergie, August 2004.
- [TEB09] TEBEL-HAAS, S: *Das Sonnenschiff - Dienstleistungszentrum mit innovativem Energiekonzept- Ein ökologisches Modell für die Zukunft* Informationsbroschüre (in Bearbeitung).
- [WIL04] WILHELM: *Bauvorhaben Wohn- und Geschäftsgebäude „Sonnenschiff“ Freiburg Luftschalldämmung einer Musterfassade*, Arbeitsbericht: P 221/04 ITA Ingenieurgesellschaft für Technische Akustik mbH Beratende Ingenieure VBI, August 2004.