HAUS SOBEK / STUTTGART

48° 70` N / B.11

HAUS SOBEK R 128

B.11 STUTTGART 48° 70` N Dachintegration

Projekt	**R 128 / Haus Sobek** -`Experiment Wohnen´ Experimentalhaus Römerstraße 128
Standort	Stuttgart, Römerstraße 128
Architekten	Prof. Dr. Werner Sobek, Stuttgart
Bauherr	Ursula und Werner Sobek, Stuttgart
Energiekonzept	Transsolar Energietechnik GmbH, Dipl.-Ing. Matthias Schuler, Stuttgart
Regelungstechnik	Baumgartner GmbH, Dipl.-Ing. Siegfried Baumgartner, Kippenheim
Messdatenerfassung	Baumgartner GmbH , Dipl.-Ing. Siegfried Baumgartner, Kippenheim, IB Peter Kronthaler München
Gebäudeautomation	IB Jochen Köhnlein Albstadt
Tragwerksplanung	Werner Sobek Ingenieure GmbH, Stuttgart, Dipl.-Ing. Ingo Weiß
Sprachsteuerung und Sensortechnik	Jochen Köhnlein, Gebäudeautomation, Albstadt
Nennleistung PV-Anlage	6,9 KW peak auf Wohnhaus 3,45 KW peak auf Messcontainer
Erzeugte Energie / Jahr	6270 kWh/a auf Wohnhaus 3142 KWh/a auf Messcontainer
Planung	Baumgartner GmbH, Dipl.-Ing. Siegfried Baumgartner, Kippenheim
Fertigstellung	September 2001

Gebäudedaten

Konstruktionsfläche	69 m^2
Grundstücksfläche	4500 m^2
Gebäudenutzung	Privat / Wohnhaus
Neu/Altbau	Neubau

Photovoltaik

PV-Typologie	Netz-Anschluß
Anwendungstyp	Dachintegration
Fläche	52,16 m^2
Zellentechnologie-Typ	Monokristalline Siliziumzellen
Hersteller	BP-Solar Produkt: BP 5140L (144 Wp)

Veröffentlichungen

Zeitschriften
- db Deutsche Bauzeitung 7/01(Sonderausgabe)
- Arch+ 156 (5/2001)
- Arch+ 157 (9/2001) (Sonderheft über Haus R 128)

	- Architectural Review 9/2001
Zeitungen	- Jager, Markus; Aalund, Dagma: Living in a High-Tech Glass House, in: *Wall Street Journal Europe*, 9.-10.11.2001, S. 30
Bücher	- *R 128 by Werner Sobek. Architektur für das 21. Jahrhundert* (Blaser, Werner, Heinlein, Frank), weitere Angaben, siehe Bibliographie
Abbildungen	Dachaufsicht / Teilansicht / Energiekonzept

1) Beschreibung Experimentalhaus Römerstraße 128

¬ Allgemein

Das 2001 fertiggestellte viergeschossige Gebäude, Wohnhaus Römerstraße 128, befindet sich auf einem steilen Grundstück am Rande des Stuttgarter Talkessels. „Es wurde als vollkommen rezyklierbares, im Betrieb emmissionsfreies und energetisch autarkes Gebäude entworfen. Das Haus ist vollkommen verglast und besitzt keine inneren Trennwände. Es ist modular aufgebaut und aufgrund des Zusammenbaus durch Steck- und Schraubverbindungen nicht nur leicht auf- und abbaubar, sondern auch vollkommen rezyklierbar." Der im Haus benötigte elektrische Strom wird durch die integrierte Photovoltaikanlage erzeugt.
Die Erschließung des Gebäude erfolgt über eine Brücke, die in die oberste Ebene führt. In dieser Ebene befinden sich die Küche und Eßbereich. Nach unten schließen sich die Wohnebene, die Schlafebene und das Kinderzimmer mit Technikbereich an. Die vier Nutzungsebenen sind jeweils durch wenige Möbelstücke definiert. Hiermit wird das Konzept der maximalen Transparenz auch im Inneren des Bauwerks konsequent umgesetzt.

„Das Tragwerk des Gebäudes besteht aus einem durch Diagonalen ausgesteiften Stahlskelett, das auf einer Stahlbeton-Bodenplatte steht. Die Tragstruktur des Gebäudes besteht im Wesentlichen aus einem geschraubten `Stahlskelett´. ...
Es sind 4 Geschoßebenen mit jeweils 2,80 m Höhe vorgesehen. Somit beträgt die Gesamthöhe des Gebäudes 11,20 m. Die Aussteifung erfolgt an drei Seiten durch Auskreuzungen mit Zugbändern (60 x 10 mm). Diese sind an der Nord- und Südseite versetzt, an der Ostseite übereinander angeordnet. In horizontaler Richtung werden die Decken ebenfalls durch Zugbänder (60 x 10 mm) ausgekreuzt. Somit bildet jede Geschoßebene eine `Scheibe´."

„Die Decken bestehen aus Elementen in Dickholzbauweise. Alle tragenden und nichttragenden Elemente sowie die Fassade sind modular aufgebaut und werden durch leicht lösbare Verbindungen zusammengehalten. Es gibt keinerlei Putz oder Estrich, so daß auch keine schwierig oder gar nicht zu entsorgenden Werkstoffverbunde entstehen. Entsprechend konsequent gibt es keine Unterputzleitungen. Alle Ver- bzw. Entsorgungssysteme sowie Kommunikationstrassen

liegen in Blechkanälen, die entlang der Fassaden angeordnet sind und die in die Deckenkonstruktion integriert sind. Es gibt keine Lichtschalter, Türgriffe, Fenstergriffe oder Armaturen, da sämtliche Bewegungs- und Steuerungsvorgänge durch berührungslose Sensoren bzw. *voice control* gesteuert werden.

Das Gebäude wird allseitig von einer Glasfassade eingehüllt. Diese wird umlaufend im Abstand von ca. 40 cm zur Hauptkonstruktion angebracht. Alle Scheiben haben eine Höhe von 2,80 m bei einer Breite von 1,36 m auf der Nord- und Südseite bzw. 1,42 m auf der West- und Ostseite. Ebenfalls in diesem Raster ist die Tragkonstruktion für die Scheiben angebracht. Jede Scheibe ist einzeln gelagert, und gibt ihr Eigengewicht an Zugstangen ab. So wird das gesamte Eigengewicht bis in die Dachebene weitergeleitet und hier über Kragarme an die Hauptkonstruktion abgegeben. Das vollkommen verglaste Gebäude besitzt eine hochwertige Dreifachverglasung mit einem k-Wert von 0.4.

Um das Haus als emissionsfreies Nullenergiehaus bauen zu können, wurde ein neuartiges computergesteuertes Energiekonzept entwickelt; dieses kann bei Bedarf von jedem Ort der Erde per Telefon und Computer kontrolliert werden. Die durch die Fassade in das Gebäude eingestrahlte Sonnenenergie wird über wasserdurchflossene Deckenelemente absorbiert und anschließend einem Wärmespeicher zugeführt, aus dem das Gebäude im Winter durch Umkehrung des Wärmeaustauschprozesses beheizt wird. Die Deckenelemente wirken dann als Wärmestrahler; eine zusätzliche Heizung ist nicht erforderlich. [1]

„Glashäuser waren schon vor fünfzig Jahren denkbar und sind sogar gebaut worden. Aber ihnen fehlte die technische Qualität und Perfektion. Der heutige Fortschritt führt im Haus Sobek allerdings zu einer Radikalität, die architektonisch nur noch ein »Nicht-Haus, ein Glasabstraktum« zurückläßt. Für Paulhans Peters ist die Makellosigkeit des Gebäudes eine Seite, die eindeutige Bestimmtheit durch die Technik die andere."
„... in diesem Haus gibt es keinen einzigen geschützten Platz außer dem WC. Selbst die Badewanne steht frei und kann nebst allen Zu- und Abläufen bis an die talseitige Glaswand verschoben werden. Wer hier lebt muß ohne Privacy auskommen, es gibt keine Rückzugsmöglichkeiten, auch keine temporäre,... ." [2]

¬ Besonderheiten
Das Haus zeichnet sich durch folgende Begriffe im Besonderen aus (db, 7/01):

`Experiment Wohnen´ - Transparenz
`Experiment Wohnen´ - Licht
`Experiment Wohnen´ - Reflexion
`Experiment Wohnen´ - Innere Räume
`Experiment Wohnen´ - Technik ohne Grenzen / Konstruktion und Haustechnik [3]

¬ Orientierung
Das Haus ist südorientiert (Süd 0°).

¬ Erschließung
Das viergeschossige „Glashaus“ wird durch einen Steg vom Hang aus erschlossen. Hierzu ein Zitat aus der Gebäudebeschreibung über das Haus R128: „Der Mensch erschließt das Gebäude über einen Steg, die Technik die die Menschen in dem Gebäude zum Leben benötigen wird ebenso prominent wie der Fußgängersteg als Technikbrücke in Szene gesetzt. In dieser „Technikbrücke“ laufen sämtliche Ver- und Entsorgungsleitungen wie Frischwasser, Strom, Antennen- und Datenkabel bis zum Schmutz- und Abwasser.“

¬ Glas und Fassade
Verglasung der Fassadenflächen aus 3-fach Isolierverglasung bzw. einer Doppelverglasung mit einer im Luftzwischenraum liegenden speziell beschichteten Folie. Durch die unterschiedliche Beschichtung und Befüllung der Scheibenzwischenräume mit Edelgasen, werden bei hervorragenden Lichtdurchlässigkeitswerten (der Reflexionsgrad dieses Glases ist mit normalem Glas vergleichbar) extrem hohe Kälteschutzwerte erreicht. Die Aufheizung des Wohnraumes im Sommer wird durch die wärmeregulierende Wirkung der Klimafolie verhindert. Das eingesetzte Glas hat zusätzlich noch den Vorteil gegenüber einer 3-fach-Verglasung, daß es in puncto Gewicht und Gesamtdicke eher einer konventionellen Doppel-Isolierglasscheibe ähnelt.
Hier noch mal genauer der Sommerfall: Dem für den Treibhauseffekt verantwortlichen Infrarotbereich wird hier folgendermaßen begegnet:
Aufgrund der speziellen Klimafolienbeschichtung wird der Großteil der Infrarotstrahlen des Sonnenlichtes reflektiert. Genau diese langwelligen Wärmestrahlen sind es nämlich, die normale Scheiben nahezu ungehindert passieren können und aufgrund der physikalischen Eigenschaften den Innenraum des Gebäudes nicht mehr verlassen und es somit zu einer unangenehmen Überhitzung im Innenraum kommt.

Die fünfte Ansicht, die horizontale Fassade dieses Gebäudes – das Dach
Auf dem Dach des Gebäudes wurden horizontal und flächenbündig (dem Prinzip der vertikalen Fassade folgend) rahmenlose Photovoltaikelemente angebracht. (Weitere Beschreibung der PV-Anlage, *Punkt 4*).

¬ Die Innere Struktur /
Verteilung der Medien - horizontalte und vertikale Installationsschächte
„Die Verteilung der Medien erfolgt in Kanälen. Es gibt also sowohl den fußbodenbündigen Kanal entlang der Fassade (Aluminiumblechabdeckung geschraubt) als auch die 8 vertikalen Installationsrohre für Strom, Wasser, Zuluft (Edelstahlrohre glasperlgestrahlt).
Durch diese Art der reversiblen Installation kann je nach Bedarf mit geringem Aufwand nachinstalliert werden.“ [4]

2) Gestalt
¬ Auf der Suche nach neuen Formen - Betrachtungen der Bauherren

Ursula Sobek „Ein Urlaubserlebnis in Nordjemen löste bei der Bauherrin

den Wunsch aus, in absoluter Freiheit wohnen zu wollten. Der Wunsch ist inszwischen Wirklichkeit geworden: Im Haus in der Römerstraße lebt es sich wie in einem Adlershorst. Diese Architektur hat selbstverständlich ein anderes Verhältnis zur Umwelt, zu ihren Nutzern und zur Technologie. Das Haus stellt kein Musterbeispiel dar, sondern ist eine ganz persönliche Manifestation seiner Bewohner." (Ursula und Werner Sobek, db 7/01).
Die Bauherrin Ursula Sobek bezeichnet das Haus als "Mafradsch des 21. Jahrhunderts" [Erläuterung zu Mafradsch: `Im obersten Stockwerk der Turmhäuser in Nordjemen - die wie Adlernester auf Bergspitzen gebaut sind - befindet sich der Mafradsch, der Raum, in dem die Männer die wichtigen Dinge des Lebens besprechen.´]. Sie sagt weiter: „Dieser Mafradsch, dieses Baumhaus, dieses Glashaus, der Natur und der Stadt so nah, mit dieser innovativ eingesetzten Technik ist für mich ein Ort der absoluten Erholung geworden. Man ist hier auf Dauer im Urlaub."

Werner Sobek
äußerte zu der Konzeption des Gebäude folgende Überlegungen:
„Es gibt eine Architektur, die sich in ihren gestalterischen und konzeptionellen Zielsetzungen als eine Architektur des dritten Jahrtausends versteht. Eine Architektur, die den Anspruch besitzt, eine unserer und der kommenden Zeit entsprechende Haltung zu formulieren. Eine Architektur, die ihre Gestalt nicht durch Setzung unter Rückgriff auf tradierte Formen und Materialien, sondern durch Entwicklung auf der Basis integraler Planungs- und Organisationsprozesse mit Hinblick auf aktuelle und zukünftige Formen des menschlichen Lebens findet. Diese Architektur hat ein radikal anderes, jetzt positives Verhältnis zur natürlichen Umwelt, zu ihren Nutzern und zu der ihr inhärenten Technologie. Selbstverständlich impliziert eine derartige Architektur auch die gesellschaftlich bereits allgemein akzeptierten und genutzten Technologien unserer Zeit. Dies bedeutet nicht weniger, als daß ein heute gebautes Wohnhaus absolut emissionsfrei und in seiner Jahresbilanz ausschließlich mit Wind- und/oder Solarenergie betreibbar sein kann und muß. Die Einpassung in die Natur hat nur mit minimalen Eingriffen zu erfolgen, alle Versorgungssysteme und die zugehörigen Leitungen bleiben an Bord. Das Gebäude muß vollkommen rezyklierbar sein, was eine Konstruktionsweise, die eine spätere Aufteilung in sortenreine Ein-Werkstoff-Komponenten ermöglicht, erzwingt. Dies wiederum schafft neue Möglichkeiten in der Herstellung und Montage. Flexible Wohnformen werden durch offene Grundriss- und Erschließungsgestaltung ermöglicht. Flexible Wohnformen erfordern aber letztlich auch vollkommene Flexibilität in der Führung von Ver- und Entsorgungssystemen, Energie und Kommunikationssystemen, ortsfeste Installationen wie Schalter und Steckdosen gibt es deshalb nicht mehr. Selbstverständlich bedingt eine derartige Architektur andere Planungs- und Herstellungsprozesse. Modulare und hochintegrierte Systeme erfordern nicht nur viel Wissen und Fantasie in der Planung, sondern auch eine sehr enge Kooperation zwischen den Planern und den Herstellern. ...
Man betritt das Haus aufgrund seiner Steilhanglage über eine Brücke. .... Der Mensch betritt den Lebensraum der Pflanzen und Tiere nicht.
Es gibt keine Innenwände. Die 4-geschossige Treppe .... (schafft) einen vertikal

durchgehenden Innenraum. Die Komplettverglasung schafft einen horizontal durch das Gebäude gehenden Außenraum.
Man wohnt somit weniger in einem Haus als in einem durch eine transparente Hochleistungshülle gefaßten Außenraum."
Das Haus ist mit einer komplett elektronischen Regelungs- und Sicherheitstechnik ausgestattet. Es existieren kein Schalter, Tür- oder Fenstergriffe mehr. „Über den Internetanschluß kann das Gebäude von jedem Punkt außerhalb der Stadt gesteuert werden."

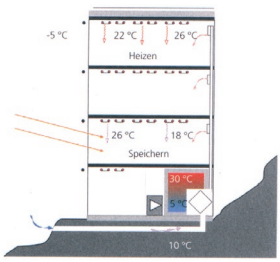
„Es sollte ... eine experimentelle Struktur entstehen, an der wir alles das realisieren wollten, was nach meinem Dafürhalten zwingende Basis für ein Bauen in der Zukunft ist. Vieles haben wir noch nicht eingebaut. ....
Bisher ist die Architektur ohne Antwort und ohne Reaktion auf die in immer kürzer werdenden Abständen eintretenden wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Revolutionen unserer Tage." (Werner Sobek). [5]

3) Fakten / Projektdaten

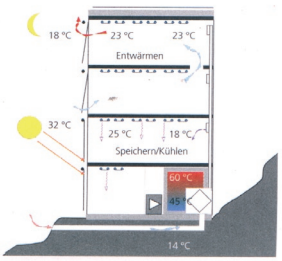
STUTTGART

¬ Breitengrad	**48°42´ N / 9°12´ E**
Meereshöhe	401 m ü. NN
¬ Globalstrahlung / a	1103 kWh/m² a*
¬ Sonnenstunden	1.814 h/a
¬ Topographie:	Steiles Gelände am Süd-Hang (siehe Gebäudebeschreib.)
¬ Verschattung:	keine Verschattung durch Nachbargebäude / (Dachintegration) / Teilverschattung durch Bäume
¬ Ausrichtung	Süd-Ausrichtung des Gebäudes Photovoltaik ist auf dem Flachdach integriert
¬ Energiekonzept	Es besteht ein Gesamtenergiekonzept

** Globalstrahlung als Mittelwert der Jahressummen von 1981-2000 in KWh/m² a Einstrahlung auf die horizontale Fläche [Quelle: Photon Spezial , 2002, S.109]*



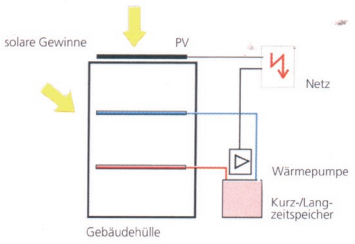
15 Winterkonzept



4) Zelle / Photovoltaik-Beschreibung

Allgemein
Das Feld besteht aus 48 Modulen. Ein Solarmodul hat die Abmessung 1375 x 815 mm. Die Elemente sind von BP Solar vom Typ BP 5140L Diese werden mit ähnlichen Punkthaltern wie wir sie an der Fassade haben befestigt. Die Anlage leistet somit im Idealfall 6,72 kW/h. [6]

¬ Erscheinungsbild:	Flachdachintegration / Photovoltaik-Module sind somit in das Gesamtkonzept des Gebäudes „optimal" integriert
¬ Orientierung der PV:	südorientiert / verschattungsfreie Sonneneinstrahlung



17 Energiebilanzkonzept

PHOTOVOLTAIK-BASISDATEN

Basisdaten **Dach** (Süd-Orientierung)
[Flachdachintegration und Messkontainer]

¬ PV-Typ	monokristalline Siliziumzellen
¬ Hersteller/ Produkt	BP-Solar (Produkt: BP 5140L; 144 Wp)
¬ Ausrichtung	0°
¬ Neigung der Module	0°
¬ Abschattung	Teilverschattung durch Bäume
¬ Wirkungsgrad- Zellen (optimal)	ca. 13%
¬ Wirkungsgrad-Zellen (praktisch)	keine Angabe
¬ PV-Fläche (F) / Dach	52,16 m^2
¬ Anzahl PV-F Dachmodule	48 Stück auf dem Wohnhaus 24 Stück auf den Messcontainer
¬ Farbe der Solarzellen	dunkelblau
¬ Leistung / Modul	0,144 kWpeak
¬ Leistungen	ca. 5,0 kWpeak (Dach/Wohnhaus) keine Angabe (Messcontainer)
¬ Gesamtleistung	**5,0 kWp** (Gesamt)
¬ Jahresenergieertrag	4.000 kWh/a (Wohnhaus) keine Angabe (Messcontainer) **4.000 kWh/a** (Gesamt) [bereits abzüglich der mögl. Verluste]
¬ Effizienz F (Fläche) / Leistung kWp	10,43 %
¬ Spezifischer Ertrag/a [KWh/a]/ [kWp] [**Dach/Süd-Orientierung**]	800 [kWh / (kWp x a)]

Alternativ

¬ Ausrichtung Dachmodule	Süd 0°
¬ Neigung der PV-Module	0°
¬ Globalstrahlung / a (Jährlicher Mittelwert 1981-00)*	1103 kWh/m^2 a *
¬ Erzeugte Energie / Jahr	9.412 kWh/a

** Globalstrahlung als Mittelwert der Jahressummen von 1981-2000 in kWh/m^2 a Einstrahlung auf die horizontale Fläche [Quelle: Photon Spezial 2000, S. 109]*

5) Kosten

Kosten Photovoltaik:	keine Angaben durch Bauherrn
Gesamtkosten / Gebäude	keine Angaben durch Bauherrn

Gesamtbewertung
„Eine architektonisch gelungene Integration. Hier wurde sehr viel Wert auf die Ästhetik der Anlage gelegt. Die Mindererträge durch den ungünstigen Neigungswinkel wurde durch mehr Generatorfläche kompensiert.“ [7]

ERGEBNISSE DER STUDIE
Der Spezifische Jahresertrag [800 kWh/(kWp x a)] liegt knapp über dem Durchschnittswert der Dachintegrationsstudie [797 kWh/(kWp x a)]. Es handelt sich um eine ideale Südausrichtung der PV (Süd 0°), jedoch mußte aus architektonischen Gründen ein Integrationswinkel von 0° gewählt werden. Durch sehr gute monokristalline (schwarze) Solarzellen konnte - trotz auftretender Teilverschattung durch die sich im Umfeld befindlichen Bäume und mit dem „ungünstigen“ Integrationswinkel - ein „mittlerer“ Spezifischer Jahresertrag erzielt werden, im Vergleich mit den restlichen Beispielen. Das Projekt befindet sich an einem südlich gelegenen Standort in der Vergleichsstudie (Stuttgart: 48,42° N).
Zu den Ergebnissen der ***Performance Ratio [PR]*** und ***[PR_{horiz}]*** siehe ***Kapitel 4*** und ***Kapitel 5*** unter den jeweiligen Unterpunkten zur PR, sowie die ***Graphiken [PR] A*** und ***[PR_{horiz}] A***, einschließlich der Überlagerungsgraphik.

Literatur / Haus R 128

Zeitschriften

- Wohnhaus Sobek: in: *Arch+* 156 (5/2001), S. 20-25
- *db Deutsche Bauzeitung* 7/01(Sonderausgabe)
- *Arch+* 157 (9/2001) (Sondernummer über Haus R 128)
- Chrystal Box, in: *Architectural Review* 9/2001, S. 82-85
- Händler, Ruth: Glasklar aus Überzeugung, in: *Häuser* 5/200, S.42-49.
- Weiß, Klaus-Dieter: Gläserne Arche; in: *Architektur Aktuell* 7-8/2001, S. 116-131.
- Experimente unter Glas, in: *md - Möbel Interior Design* 11/2001, S. 27-32.
- Lovell, Sophie: Automansion, in: Wallpaper 12/2001, S. 83-84.

Zeitungen

- Timo John: Dieser Glaswürfel hört aufs Wort, in: *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 7.12.2001, S. 43.
- Millot, Lorraine: Vivre au XXie siècle, in: Libération, 8.-9.12.2001, S.37-39.
- Jager, Markus; Aalund, Dagmar: Living in a High-Tech Glass House, in: *Wall Street Journal Europe*, 9.-10.11.2001, S. 30
- Jager, Markus: Wohnlabor im Grünen, in: *Handelsblatt*, 26.10.2001.
- Weiß, Klaus-Dieter: Gläsernes Versuchshaus, in: *Tagesspiegel*, 13.10.2001, S.115.
- Reidemeister, Johann: Im Glashaus wohnen, in: *NZZ*, 29.8.2001.

- Hirschfeld, Marc: Völlig losgelöst, in: *Stuttgarter Zeitung*, 2.8.2001, S.27.
- Liebs, Holger: Weniger ist leer, in: *Süddeutsche Zeitung*, 31.7.2001, S.13.

Bücher

- Blaser, Werner, Heinlein, Frank: *R 128 by Werner Sobek. Architektur für das 21. Jahrhundert.* Basel, Birkhäuser, 2002

BIBLIOGRAPHIE / HAUS SOBEK

[1] Projektbeschreibung, "Wohnhaus Römerstraße 128", Herr Baumgartner, S.1

[2] Deutsche Bauzeitschrift, db-Heft, 7/01, "Less *is best?*" S. 352

[3] Deutsche Bauzeitschrift, db-Heft, 7/01, „Less *is best?*" S. 67

[4] Projektbeschreibung,"Experimentalhaus Römerstraße 128", Quelle: Baumgartner, S. 2-3

[5] db-Heft, 07/01, Auf der Suche nach neuen Formen, S. 46-48

[6] Projektbeschreibung,"Experimentalhaus Römerstraße 128", Quelle: Baumgartner, S. 2

[7] Zitat Herr Baumgartner (Fachplaner PV, Februar 2002

ADRESSEN

B.11 Haus Sobek - R 128 / Stuttgart

TRANSSOLAR, Stuttgart, M. Schuler, Stuttgart

BAUMGARTNER Solar GmbH, Westendstr. 19. D-77971 Kippenheim
Tel: 07825 / 87.08-46 / Fax: 07825 / 87.08-47
E-mail: info@baumgartner-gmbh.de / H. Siegfried Baumgartner

WERNER SOBEK INGENIEURE, Stuttgart Tel: 0711 / 767.50-**0** (Büro)
wsi-stuttgart.com [Büro FFM Tel: 069/ 42.69.59-0/ Fax: si -44]
Dr. Heinlein: Tel: 0711 / 767.50-**38** - damaliger Planer
Herr Brixner: Tel: 0711 / 767.50-**62** - Ansprechpartner
E-Mail: frank.heinlein@wsi-stuttgart.com
E-mail: **robert.brixner@wsi-stuttgart.com**
Adresse Uni: Univ. Stuttgart, Prof. Dr.-Ing. Werner Sobek
Institut für leichte Flächentragwerke / Pfaffenwaldring 14 /
D-70569 Stuttgart/ Tel: 0711 - 685.35.99
Fax: 0711 - 685.37.89

1-MW-SOLARDACH MESSE MÜNCHEN-RIEM

48° 20` N / B.12

Abb. B.12.0
Solardach Messe München-Riem

1MW-SOLARDACH
B.12 MÜNCHEN

MESSE-MÜNCHEN
48° 20` N Dachintegration

Projekt	**Solardach der Messe München**
Standort	Messegelände, München-Riem
Architekten	BBP Architekter Ystrup, Bregenhoj & Partner, Kopenhagen, Dänemark
Bauherr	Messe GmbH München
Gebäudetechnik	Siemens AG
Energiekonzept	PGM Planungsgemeinschaft Messe München
Photovoltaik	Shell Solar (ehem. Siemens & Shell Solar) München
PV-Nennleistung	1,016 MWp
Erzeugte Energie / Jahr	Durchschnittl. 1 Mio. kWh/a (nachgewiesen für die letzten 4 Jahre)
Planung	Sommer 1995 / Baubeginn: August 1997
Fertigstellung	19. November 1997
Gebäudedaten	
Fläche BGF	keine Angaben
Gebäudenutzung	öffentlich / Neubau
Photovoltaik	
PV-Typologie	Netz-Anschluß
Anwendungstyp	Dachintegration
Modulfläche (gesamt)	7.812 m ^{2}
Dachfläche (gesamt)	66.000 m ^{2} (sechs Hallen zu jeweils 11.000 m ^{2})
Benutzte Dachfläche der PV-Anlage	38.100 m ^{2} (aus architektonischen und ästhetischen Gründen wurden ca. 50% der Hallendächer - 6.350 m ^{2} jeweils - durch Photovoltaik-Module belegt)
Zellentechnologie-Typ	Rahmenlose Solarmodule (SM130-L) / mit 84 monokristallinen Siliziumzellen
Hersteller	Shell Solar (ehem. Siemens & Shell Solar), München, SM 130-L
Orientierung	Südorientiert, im Winkel von 28° zur Horizontalen
Befestigung	Leichtgewichttragkonstruktionen, direkt auf die Dachhaut der Hallen geklemmt
Effizienz der Solarzellen	15 % (i. Mittel, unter STC)
Effizienz der Solarmodule	13% [STC]

Veröffentlichungen	- Präsentation Siemens & Shell Solar - Präsentation Messe München AG - *Leaonardo*, 1998, Nr. 3 (Mai/Juni) - *Photon,* 2000 - Staffelstein-Konferenz-Berichte
Abbildungen	Lageplan / Grundriss / Dachaufsichten

1) Beschreibung

¬ Allgemein

Das neue Messegelände in München befindet sich auf dem Areal des früheren Flughafens München-Riem und ist in den vollkommen neuen Stadtteil Messestadt Riem integriert.

„Die Dachflächen der sechs nördlichen Hallen der Neuen Messe München sind Standort der derzeit weltgrößten Photovoltaik-Dachanlage (Stand 1998). Die Messe mit einem internationalen Millionenpublikum an Besuchern und Ausstellern ist der ideale Rahmen für die Demonstration der Zukunftstechnik Photovoltaik." (Solardach München-Riem GmbH, 1998).

Die Messe München International äußert sich wie folgt zum neuen Messedach und den damit verbundenen Zukunftsbestrebungen für Photovoltaik:

„Messebesucher aus aller Welt können sich vor Ort selbst ein realistisches Bild vom Einsatz der Photovoltaik mit ihren technischen, wirtschaftlichen und umweltschonenden Eigenschaften machen. Die Anlage liefert wichtige Ergebnisse zur Weiterentwicklung und Optimierung der Photovoltaiksysteme. Dadurch sollen die Kosten auch kleinerer Anlagen unter die heute üblichen Werte gesenkt werden." [1]

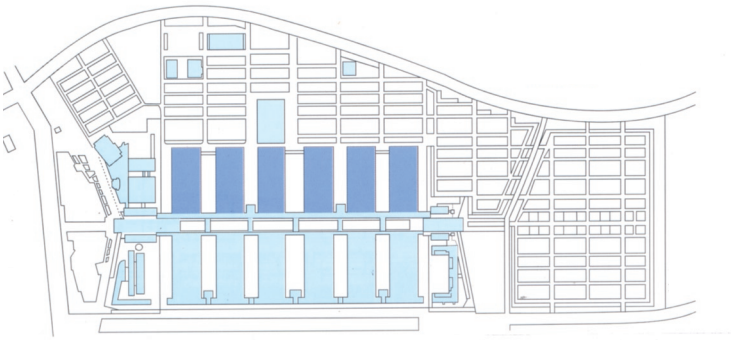


Abb. B.12.1
Photovoltaik-Anlage auf den Hallendächern der Neuen Messe München (blaue Flächen)

¬ Projektziele

Die folgenden Projektziele wie sie von Siemens & Shell Solar für das „1MW-Solardach München-Reim" veröffentlicht und angestrebt wurden sind:

- Demonstration der Photovoltaik für die breite Öffentlichkeit
- Messe als internationales Schaufenster der deutschen Photovoltaik-Industrie
- Weiterentwicklung der Modul- und Anlagentechnik
- Verbesserung der Montagetechnik
- Doppelnutzung der Dachflächen [2]

2) Gestalt

¬ Veröffentlichungen / Besonderheiten

Innovative Techniken

Bei dem Messe-Solardach kamen eine Reihe von neuen Techniken im Bereich der Photovoltaik zum Einsatz. Eine der Hauptzielsetzungen war die Minimierung der Kosten für die Realisierung und den Betrieb einer großen Solarstromanlage. Um die Effektivität und die Verfügbarkeit zu steigern, wurde erstmals eine große PV-Anlage mit einer zentralen Wechselrichtereinheit betrieben.

Verbesserte Montage

Die Photovoltaikmodule wurden von Siemens & Shell Solar für PV-Großanlagen neu entwickelt. Es handelt sich um Laminatmodule, die mit Klammern auf den Leichtbaugestellen befestigt sind. Die Größe des Moduls, mit einem Gewicht von weniger als 11 Kilogramm, richtet sich dabei nach dem „Ein-Mann-Handling", d.h., daß Modul und Gestell allein von einer Person montiert werden können. Dies führte auch zu einer Erleichterung der Montagearbeiten. Somit konnte deshalb direkt auf dem Dach auf den Einsatz von zeit- und kostenaufwendigen Kranarbeiten verzichtet werden. „Die hohe spezifische Leistung des Moduls und seine kompakte Bauweise führten zu günstigen Montagekosten."

¬ „Messe-Millionär"

„In den zurückliegenden drei Betriebsjahren hat das Solardach über 2,8 Millionen Kilowattstunden Strom erzeugt, wobei sich die Anlage im Jahr 1998 noch in der Optimierungsphase befand. Auf das Jahr 2000 entfiel mit 1,007 Millionen Kilowattstunden das bisher beste Betriebsergebnis. Der Spezifische Ertrag ergab 991 kWh/kWp. 2000 lag der Wert für die Performance Ratio im Jahresmittel bei 77 Prozent. 1999 erreichte sie mit rund 80 Prozent einen noch besseren Wert.

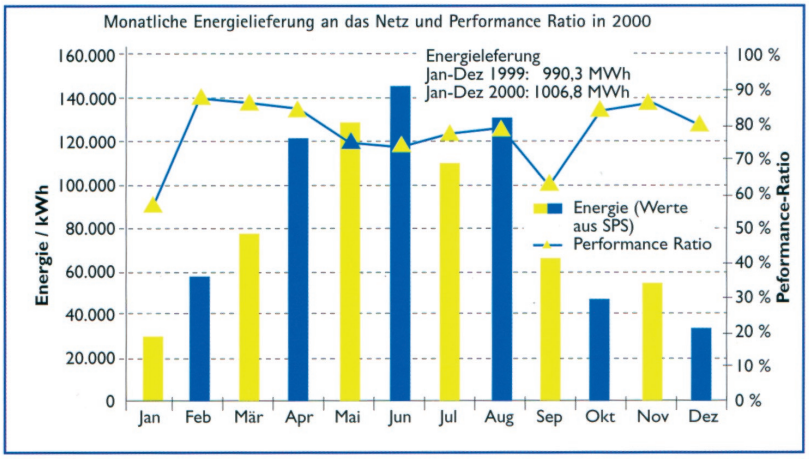


Abb. B.12.2
Monatliche Energielieferung an das Netz für das Jahr 2000

Abb. B.12.3
Luftaufnahme der Messe München mit 1 MW Photovoltaik-Anlage

Mit diesen Werten liegt sie im weltweiten Vergleich zu anderen Anlagen dieser Größenordnung an der Spitze. Dies hervorragenden Betriebsergebnisse sind nicht zuletzt auch auf die Mitarbeiter der Stadtwerke München zurückzuführen, die für die Betreibergesellschaft Solardach München-Riem die Anlage betreuen." [2]

3) Fakten / Projektdaten

MÜNCHEN

¬ Breitengrad	**48° 20` N / 11° 31` E**
Meereshöhe	ca. 550 m ü. NN
¬ Globalstrahlung / a	1150 kW/m^2 a (Mittel / horizontal) * (s.u.)
¬ Sonnenstunden	1.650 h/a
¬ Äußere Einflüsse	Windbelastungen wurden berücksichtigt, (DIN 1055)
¬ Verschattung	keine Verschattung durch Nachbargebäude / aufgeständertes Dachmontage-System
¬ Ausrichtung	Nord-Süd-Ausrichtung der Gebäude Photovoltaik auf den Dächern ist südorientiert

** Globalstrahlung als Mittelwert der Jahressummen von 1981-2000 in KWh/m^2 a Einstrahlung auf die horizontale Fläche [Quelle: Photon Spezial , 2002, S.109]*

4) Zelle / Photovoltaik-Beschreibung

¬ Allgemein
Die Anlage zeichnet sich durch eine ausgewogene Kombination von ausgereiften Komponenten mit einer Reihe technischer Neuerungen aus. [3]

Im einzelnen umfaßt die Anlage:

- 7.812 rahmenlose Solarmodule mit je 84 monokristallinen Siliziumzellen. Jedes Solarmodul hat eine Leistung von 130 Watt. Insgesamt ergibt sich eine Spitzenleistung der Module von 1.016 Kilowatt.

- Die verfügbare Dachfläche der sechs Hallen beträgt 66.000 m^2. Davon sind auf 38.100 m^2 die Solarmodule aufgeständert.

- Die Wechselrichtereinheit besteht aus drei Geräten mit einer Leistung von je 330 Kilowatt, die im abwechselnden und verbrauchsabhängigen Betrieb eingesetzt werden.

- Die Einspeisung des Solarstroms erfolgt in das 20.000-Volt-Mittelspannungsnetz der Neuen Messe München.

¬ Erscheinungsbild
„Die Photovoltaik-Anlage fügt sich ästhetisch in die anspruchsvolle High-Tech-Atmosphäre der Neuen Messe München ein" (siehe ***Abbildung B.12.4***). [3]

¬ Orientierung der PV
Die Photovoltaikanlage ist exakt südorientiert / Besonderheit: Durch die Tonnen-

Abb. B.12.4
PV-Anlage auf dem Dach der Neuen Messe München-Riem.

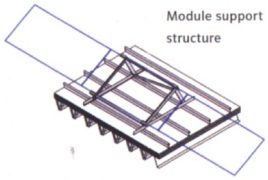


Abb. B.12.5
Aufbau eines Modulgestells

Abb. B.12.6
Montage der PV-Elemente

dachform haben die Module eine leichte Fehlorientierung (ca. ± 7°), es herrschen also keine Flachdachverhältnisse, was zu geringen Energieverlusten führt. Trotzdem liefert die Anlage gute Ergebnisse. Es handelt sich um aufgeständerte Modulgestelle. Es liegen somit keinerlei Verschattungen vor (Eigenverschattung wurde durch die Wahl des Abstandes zwischen den Modulen vermieden).

¬ Montage
Durch die weitgehende Vorfertigung der Komponenten war eine sehr zügige Montage in einer Rekordzeit von sieben Wochen möglich (siehe ***Abbildung B.12.6***).

¬ Prämissen der PV-Projektierung
Die Photovoltaikanlage wurde unter der Federführung des Bayernwerks von Siemens Solar als Generalunternehmer realisiert. Dabei waren die Erfahrungen aus den vielfältigen Photovoltaik-Projekten der beteiligten Unternehmen Grundlage für die erfolgreiche Projektabwicklung.
Die Projektierung der Anlage erfolgte unter den folgenden Prämissen:

- Doppelnutzung der vorhandenen Dachflächen und Tragstrukturen
- optimierter Einsatz von Standardwechselrichtern
- optimierte Module für den Betrieb in Großanlagen
- berührungssichere Stecker zur Feldverkabelung
- Kostenminimierung durch neue Lösungen bei Montage und Systemtechnik
- anschauliche Darstellung der Möglichkeiten der Photovoltaik für ein breites Publikum an dem exponierten Standort Neue Messe München. [3]

PHOTOVOLTAIK-BASISDATEN

Basisdaten **DACH** (**Süd**-Orientierung)

¬ PV-Typ /	Monokristalline, rahmenlose Solarmodule (SM 130-L)
Modulart	je 84 monokristallinen Silizium-Zellen der Firma Siemens Solar
¬ Hersteller	Siemens & Shell Solar, München
¬ Neigung der Module	28° (nicht eben, Tonnendach, s.o.)
¬ Ausrichtung Dachmodule	0° (exakte Südorient. / Besonderheit: Tonnendachform -> leichte Fehlorientierung, jedoch gute Ergebnisse erz.)
¬ Wirkungsgrad (Solarzellen)	15 % (Mittel)
¬ Wirkungsgrad (Solarmodule)	13 % [STC]
¬ Anzahl der Module	7.812 Stück
¬ Anzahl der Zellen	656.208 Stück
¬ Fläche / Modul	1 m^2
¬ PV-Modulfläche (F) / Dach	**7.812 m^2**
¬ Aufstellung	Leichtmetall-Gestelle direkt auf der Dachhaut der Hallen (Materialaufwand

	um mehr als 50% vermindert)
¬ Farbe der Solarzellen	Anthrazit / schwarz
¬ Leistung / Modul	130 Wattpeak (Wp)
¬ **Nennleistung** der Module	**1.016 kWp** [=1MWp]
¬ Anlagen-Nennleistung	**1,016 MWpeak**
¬ Erzeugte Energie / Jahr	**1 Mio kWh/a** (durchschnittlich)
¬ Effizienz F (Fläche) / Leistung kWp	7,69 %
¬ Spezifischer Jahresertrag [kWh/a] / [kWp] [**Dach / Süd-Orientierung**]	1.000 kWh (kWp x a)

Stromumwandlung

¬ Wechselrichter	Drei Wechselrichter mit je 330 kW, die im abwechselnden und verbrauchsabhängigen Betrieb (sog. Master-Slave-Betrieb) eingesetzt werden.
¬ Betriebsart	Direkte Einspeisung in das 20.000-Volt-Mittelspannungsnetz der Neuen Messe München-Riem

Alternativ

¬ Ausrichtung Dachmodule	0° (exakte Südorient. /Besonderheit: Tonnendachform -> leichte Fehlorientierung
¬ Mittlere Globalstrahlung / a	1.150 kWh/ m^2 a *
¬ Durchschnittlicher Sonnenschein/ Jahr	1.650 h/a **
¬ Kohlendioxid (CO_2) Ersparnis:	1.000 Tonnen/a

* *Globalstrahlung als Mittelwert der Jahressummen von 1981-2000 in kWh / m^2 a Einstrahlung auf die horizontale Fläche [Quelle: Photon Spezial 2000, S.109]*

** *Sonnenscheindauer ist für die PV zweitrangig. Die Einstrahlung W/m^2 ist vielmehr interessant (s.o.)*

Energieertrag	Rund eine Million kWh pro Jahr, d.h. rund 4 Prozent des jährlichen Messestrombedarfs, dies entspricht bis zur Hälfte des Messe-strombedarfs in messefreien Zeiten

5) Kosten

Gesamtkosten: ca: 14 Millionen DM; nur PV 12,5 Mio DM, Preisbasis 1996.
Die Differenz steht für andere Aufwendungen des Kunden.
PV-Zellen und Installationskosten: keine Angaben durch den Hersteller

Der Kaufpreis galt für die schlüsselfertige Anlage. Besonderheit: In dem Preis ist auch die Mittelspannungsanbindung (1MVA Trafo, Schaltfelder etc.) an das 20 kV Netz der

Messe enthalten. Kleinere Anlagen speisen in der Regel direkt in das Niederspannungsnetz ein und benötigen diesen zusätzlichen Aufwand nicht. [4]

¬ Zur Kostenstruktur und Finanzierung des Solardaches München
„Die Solaranlage mit einer Nennleistung von 1.016 Kilowatt und einer Gesamtinvestition von rund 14 Millionen Mark war ein Baustein des von E.ON Energie 1995 gestarteten Förderprogramms „Energiezukunft Bayern", das mit einem Budget von 100 Millionen Mark ausgestattet war und en Einsatz erneuerbarer Energien in Bayern fördern sollte.
E.ON beteiligte sich mit 50 Prozent, Siemens und Stadtwerke München mit je 10 Prozent und der Bayerische Staat mit 20 Prozent an den Kosten des Solardaches. Auch der Bund zahlte im Rahmen seines Programms zur Förderung erneuerbarer Energien 10 Prozent der Anlagenkosten." [5]

GESAMTBEWERTUNG / KOMMENTAR ZUR STUDIE

Wie ***Abbildung B.12.2*** bereits graphisch verdeutlicht, konnte eine sehr gute Performance-Ratio im Jahr 2000 erzielt werden.

Im Vergleich sämtlicher Projektbeispiele für Dachintegrationen von Photovoltaik erzielt das Messedach in München den Spitzenwert des Spezifischen Jahresertrages der gesamten Studie [1000 kWh/(kWp x a)]. Dies ist auf verschiedene Faktoren zurückzuführen, die sich positiv auf den Spezifischen Jahresertrag auswirken (vgl. hierzu auch *Kapitel 4* / Balkendiagramm und Kurzinterpretation der „Toughness"-Kriterien).
Es handelt sich um ein auf das Tonnendach aufgeständertes PV-System und es konnten somit opake Glas/Glas-Module eingesetzt werden, welche eine Verminderung der auftretenden möglichen Wärmeverluste zur Folge haben und sich somit positiv auf die zu erzielenden Jahreserträge auswirken. Es besteht keine Verschattung der PV-Module (d.h. ebenso positive Auswirkung für den Spezifischen Jahresertrag) und es handelt sich um einen südlich gelegenen Standort im Vergleich der restlichen Projektbeispiele.

Beschreibung der möglichen Gründe für den sehr guten Spez. Jahresertrag:

• Für das vorliegende Sytem bot sich der Einsatz von lediglich 3 Wechselrichtern an, die für die Gesamt-PV-Fläche von 7.812 qm verwendet wurden. (Dadurch mögliche geringere Verluste in den Wechselrichtereinheiten). Es handelt sich laut Hersteller um den optimierten Einsatz von Standardwechselrichtern. Auf Grund des sog. „Master-Slave-Betriebes", d.h. durch die bedarfsweise Zu- und Abschaltung der entsprechenden Wechselrichter, weist das System einen sehr guten Wirkungsgrad auf (bis zu 96%). [Zum Vergleich: Bei herkömmlichen Anlagen sind normalerweise mehrere Teilsysteme parallel geschaltet und es muß systembedingt, eine wesentlich größere Anzahl von Wechselrichtern eingesetzt werden.]

Luftbild der Messe München-Riem

• Qualitativ hochwertige Module, die eine hohe gleichbleibend gute Modulleistung aufweisen [Vorsortierung der Module nach Prüfung unter STC (Standard Test Conditions), um große Verluste durch Fehlleistungen zu vermeiden: Module mit ähnlichen Leistungsgrößen werden in einem Strang parallel verschaltet]. Diese Variante des Moduleeinsatzes und der Vorprüfung bot sich bei dem vorliegenden Projekt an und erscheint in Kombination mit der geringen Anzahl von Wechselrichtern sinnvoll. Ferner weisen die in einem speziellen Verfahren entwickelten Module Eigenschaften auf, durch welche die Einzelwiderstände der Module entscheidend erhöht werden konnten, bzw. die additiven Verluste durch „Leckströme" (sog. Miss-Matching-Verluste) somit reduziert werden konnten. (Dies ist bei einer Großanlage dieses Ausmaßes von besonderer Bedeutung und die entwickelten Module sind in dieser Hinsicht weltweit auf dem Markt einzigartig, laut Aussage des Herstellers [Stand: März 2002]). [Modultyp: SM 130L].

In dem vorliegenden Fall der Messe München wurden die Module von Shell Solar (früher Siemens Solar) dementsprechend speziell für den Anwendungsfall entwickelt, so daß die möglichen auftretenden Leckströme vermindert werden konnten und nur 3 Wechselrichter (die im Master-Slave-Betrieb arbeiten) in *einer* Gesamtanlage zum Einsatz kamen - dies stellt die Einzigartigkeit und Neuerung dar. Das entsprechende Modul wurde in intensivster und kostenaufwendigen Versuchs- und Forschungsreihen durch Siemens Solar (bzw. Shell Solar) entwickelt und kann jederzeit in beliebigen Großanlagen zum Einsatz kommen (auch in semitransparenter Form, laut Aussage des Herstellers). Die oben beschriebenen Neuheiten in Kombination führen auch zu der gesteigerten Leistung des Gesamtsystems und haben gegenüber den im Vergleich stehenden Anlagen die Spitzenposition (siehe auch *Graphik A*) zur Folge. In den langwierigen Tests in den Klimakammern, bei denen die Isolationswiderstände getestet bzw. durch die sie auf Grund von Neuerungen verbessert werden konnten, garantieren, daß die Anlage 20 Jahre funktioniert.

• Sehr hohe Verfügbarkeit (Arbeitsfähigkeit) des Photovoltaikgesamtsystems, d.h. selbst bei Ausfall eines Wechselrichters an einem sehr schönen Sonnentag, würden lediglich Einbußen in der Leistungsspitze zu verzeichnen sein.

• 28° Neigung der Module - auf nicht ebener Fläche - Tonnendach-Wölbung, es werden außerordentlich gute Ergebnisse erzielt.

• 7.812 rahmenlose Solarmodule mit je 84 monokristallinen Siliziumzellen. (Pro Modul eine Leistung von 130 Watt. Insgesamt ergibt sich eine Nennleistung der Module von 1.016 kWp) - Es handelt sich um „optimierte Module für den Betrieb in Großanlagen", die bei dem vorliegenden gewählten PV-System sinnvoll erschienen.

Weitere Kriterien, die nicht direkt mit der Systemwahl bzw. Photovoltaik-Modulwahl zusammenhängen, sondern vielmehr zu den externen Bedingungen zählen, sind u.a. der Standort München:

• Südlich gelegener Standort der untersuchten Projekt-Beispiele, München 48° 20` N / 11° 31` E; Globalstrahlung: 1.150 Wh/m^{2}a (Jahresmittel, horiz.)

PERFORMANCE RATIO
Zur Erläuterung des Wertes der Performance Ratio, siehe *Kapitel 4* und graphische Gesamtübersicht der Projekte *Graphik [PR] A*, sowie *Graphik [PR$_{horiz}$] A.* Die Verschattungsfreiheit, sowie die gute Anpassung der Wechselrichter an das Gesamtsystem sind in Kombination für den vergleichsweise guten PR-Wert gegenüber den anderen Projekten verantwortlich. Nähere Erläuterungen zu den Ergebnissen der Studie, sie *Kapitel 4* und *5*.

Abkürzungen

STC Standard Test Conditions:
- Einstrahlung: 1.000 W/qm (senkrecht auf eine ebene Fläche!)
- 1,5 AM (Airmass)
- Zellentemperatur: 25°

BIBLIOGRAPHIE

[1] Blaue Broschüre, Solardach München-Riem GmbH, 1998, S.2
[2] Info-Blatt, Siemens & Shell Solar, 1-MW-Solardach München-Riem, PV-Konferenz München, 2000, S.1-2
[3] Blaue Broschüre, Solardach München-Riem GmbH, 1998, S.3-4
[4] E. Cunow, Siemens & Shell Solar GmbH, München (2002)
[5] Info-Blatt, Siemens & Shell Solar, 1-MW-Solardach München-Riem, PV-Konferenz München, 2000, S.2

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

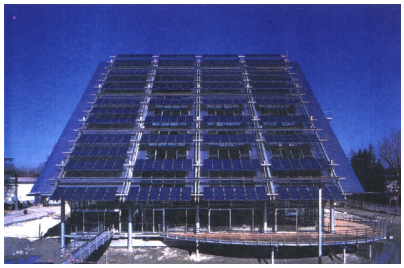
Abb. B.12.0 *Blaue Solard.-Brosch, S. 5/ Abb. oben - Luftbild*
Blaue Solard.-Brosch, Titelblatt - kl. Bild oben
Blaue Solard.-Brosch, Titelblatt - kl. Bild unten
Abb. B.12.1 *Blaue Solard.-Brosch, S. 1-2 / Abb. unten - Lageplan*
Abb. B.12.2 *Gelbes Info-Blatt, S. 2 / Graphik.2 u./Energie +Perform.-Ratio*
Abb. B.12.3 *Zusatzblatt Siemens & Shell Solar/ Günes Band / Luftbild Messe*
Abb. B.12.4 *Blaue Solard.-Brosch, S. 3/ Abb.links, mitte - Ästhetik*
Abb. B.12.5 *Blaue Solard.-Brosch, S. 3/ Graphik-Modulgestellaufbau*
Abb. B.12.6 *Blaue Solard.-Brosch, S. 3+4 / 3 Abb. Module (in der Mitte)*

ADRESSEN

B.12 „1-MW-Solardach“ Messe München-Riem
Siemens & Shell Solar, München
Herr Dr. E. Cunow, Tel: 089 / 636.59.105
E-Mail: edwin.e.cunow@si.shell.com

STADTWERKE / KONSTANZ

47° 20` N / B.13



Ansicht, "Solarkraftwerk" Konstanz

STADTWERKE KONSTANZ

B.13 KONSTANZ

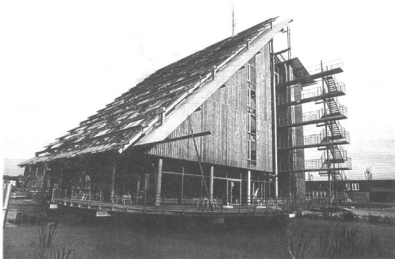
47° 20` N Dachintegration, 1997

Projekt	**Solarkraftwerk / Stadtwerke** Konstanz „Betriebshof Konstanz", Betriebsgebäude
Standort	Konstanz, Deutschland
Architekten	Schaudt Architekten BDA DWB, Konstanz
Projektarchitekt	Andreas Rogg
Projektkoordination	Hochbauamt der Stadt Konstanz
Bauherr	Stadt Konstanz, Entsorgungsbetriebe (Gebäude), Stadtwerke (Photovoltaikanlage)
HLS-Planung	Bernauer + Greiner, Konstanz
Tragwerksplanung	Fischer, Konstanz
Elektroplanung	Möllers + Westermeier, Konstanz
Planung PV-Anlage	Ing. Büro für Solarenergie, Konstanz
Anlagen-Nennleistung	63 KWp
Erzeugte Energie /Jahr	47.000 kWh/a
Ausführungsjahr	1997 (Wettbewerb 1990)
Gebäudedaten	
Hauptnutzfläche	Keine Angaben
Gesamtkosten	9.657.079 DM
Dachfläche	900 m^2
Gebäudenutzung	Betriebsgebäude der Stadtwerke Konstanz
Neu/Altbau	Neubau
Photovoltaik	
PV-Typologie	Netz-Anschluß
Modulfläche	544 m^2
Zellentechnologie-Typ	Polykristalline Solarzellen
Hersteller / Solarzellen	Pilkington, USA
Hersteller / Module	Sunways Konstanz
Orientierung	Südorientierung

Veröffentlichungen

- Glasforum, Juni 1997
- DBZ August 1997
- Intelligente Architektur Februar 1998
- Deutscher Verzinkerpreis 1999
- Präsentationsbroschüre Solarkraftwerk
- Südkurier 16.08.1997
- „Sonnenenergie & Wärmetechnik" 1/97
- Informationen der FH Konstanz (Wechselrichter)
- Präsentation der Fa. Sunways, Konstanz

Abbildungen Ansichten / PV-Details



1) Beschreibung

¬ Allgemein

Bei dem Neubau des Betiebsgebäudes (1995 bis 1997) der Entsorgungs- und Technischen Betriebe (EBK) der Stadt Konstanz wurde auf dem nach Süden geneigten Pultdach eine Photovoltaikanlage installiert. [1]

¬ Ziele und Zweck

Die Stromerzeugung mit Solarzellen und die Beteiligung von Bürgern und Firmen an den Kosten des Solarkraftwerkes zählte zu den Zielen des Projektes. Ferner wurde die Signalwirkung für einen umweltgerechten und verantwortungsvollen Umgang mit den Ressourcen angestrebt. Es sollte ein Beitrag zur kommunalen Wirtschaftsförderung im Bereich „Neue umweltfreundliche Energien" geleistet werden. Es wurden 603 Anteile (100 Wp pro Anteil) zu je 1.750 DM (netto) auf 106 Teilhaberverträge aufgeteilt. (Zu Details Finanzierung des Projektes, siehe *Punkt 5.*)
Die Stromproduktion (47.000 kWh/a) wird direkt ins Konstanzer Stromnetz eingespeist. Die Inbetriebnahme des Solarkraftwerkes war der 1. Juli 1997. [1]

¬ Konzeption und Ausführung

Die Entsorgungsbetriebe stellen das Dach des Betriebsgebäudes kostenfrei für die Photovoltaiknutzung zur Verfügung
„Die Stadtwerke Konstanz haben das Solarkraftwerk projektiert und gebaut, die Solarzellenflächen verkauft und das Solarkraftwerk 20 Jahre von den Teilhabern gemietet. Für die gesamte Mietzeit sind die Stadtwerke für den Betrieb, Wartung und die Solarstromvergütung zuständig."
Die Teilhaber (die Eigentümer des Solarkraftwerkes - Bürger, Firmen und Institutionen) haben die angebotenen Anteile gekauft und für 20 Jahre an die Stadtwerke vermietet. [1]

Als Miete wird die jährliche erzeugte, anteilige Strommenge dem Anteileigner so vergütet, als speiste sein Kraftwerksanteil unmittelbar in seine private Kundenanlage ein. D.h. die Stromvergütung entspricht dem Preis, zu dem der Kunde bei den Stadtwerken üblicherweise den Strom einkauft. Als Anreiz sich an diesem Modell zu beteiligen, beschloß der Konstanzer Gemeinderat für den limitierten Zeitraum (bis Mitte 1998) eine gegenüber dem allgemeinen Strompreis erhöhte Vergütung. [2]

2) Gestalt

¬ Gebäudekonzept und Konstruktion

Das Betriebsgebäude gliedert sich in zwei Gebäudeteile:

1. Einen 5 geschossigen, schmalen Baukörper auf der Nordseite, in welchem die Einzelbüros untergebracht sind und welcher als aussteifendes Element der Gesamtkonstruktion dient.

2. einen sich nach oben zurückstaffelnden südlichen Gebäudekörper für Großraumnutzungen.

Aus dieser Gebäudegeometrie ergibt sich das steil nach Süden abfallende Dach, das die Photovoltaikanlage trägt. Die zwischen dem nördlichen und südlichen Bauabschnitt gelegene Erschließungszone mit gläsernem Aufzug und Treppenanlage bildet mit dem Luftraum eine Pufferzone zwischen Außen- und Innenraum, welche durchnatürliche Be- und Entlüftung Temperatur- und Raumklima regulieren kann. Das Erdgeschoß ist um 60 cm über das bestehende Erdniveau angehoben, um auch eine natürliche Belichtung und Belüftung des Untergeschosses zu ermöglichen. [3]

¬ Zitate / Gestaltung

Ein Zitat aus dem „Südkurier" vom 16.08.1997 beschreibt das Gebäude unter dem Titel „Solarflaggschiff, im Ried fest vor Anker" - `Aufragendes Zeichen am Stadteingang´ wie folgt: „Himmelsstürmende Solarsegel setzen das Zeichen: Das Solarprojekt am nordwestlichen Stadteingang bildet das Entree einer Stadt, die dem Neuen aufgeschlossen ist. Die Stahl- und Betonkosntruktion signalisiert Optimismus; den Glauben an eine ökologisch bewußte und von Vitalität erfüllte Zukunft." [4]

¬ Konstruktion des Gebäudes

„Das steilaufragende Solardach des Gebäudes durchschneidet markant das Weichbild des Konstanzer Industriegebietes und setzt als Stadtentree ein Zeichen. Es bildet den Kernpunkt des vom Architekturbüro Schaudt entworfenen Ensembles mit Wertstoffhof, Fahrzeugdepot und angrenzender Kläranlage."
Fünf Etagen Büro- und Solzialräume, die Kantine, das Labor und die Schaltwerke der Kläranlage sowie Archive sind unter diesem Dach untergebracht. „Die nach Süden geneigte Fassade besteht aus einer Stahlkonstruktion mit Metall-Glaseindeckung und vorgesetzter Photovoltaikanlage.
Bei dem Gesamtgebäude handelt es sich um eine Stahl- und Betonkonstruktion mit entkoppelten Außenwänden. Sie wurden in Sandwichbauweise mit innenliegender Wärmedämmung errichtet." [4]

Die wärmedämmende Isolierverglasung stellt konstruktiv eine Pfosten-Riegel-Bauweise bzw. Fernsterelemente in Stahl und Aluminium dar. [5]

¬ Erscheinungsbild

`Von Süden her nimmt man als Fassade lediglich das silbern bläulich schimmernde Dach wahr, das bis auf die verglaste Parterre-Ebene heruntergezogen ist. Die auf schuppenartig angebrachten Solarelemente sorgen für eine optische Wellenbewegung´ und es wirkt wie ein „Solarsegel".
„Die einheitlich und streng wirkende Nordfassade ist aluverkleidet und hat eine feingegliederte Fensterstruktur. Dahingegen bringt die dreieckige in Holz- , Glas und Aluteil gegliederte Ostfassade den inneren Aufbau des Objektes stärker zum Ausdruck. …" [4]

3) Fakten / Projektdaten

KONSTANZ

¬ Breitengrad	**47° 20´ N**
¬ Globalstrahlung / a	1.124 kWh/m^2 a * (Mittel, horizontal)
¬ Topographie	ebenes Gelände
¬ Verschattung:	keine Verschattung durch Bäume oder Nachbargebäude / lediglich Teilverschattung durch den Sendemast im oberen Dachbereich [Auswirkungen auf die Energieerträge / siehe Beschreibung]
¬ Ausrichtung	Südorientiert / Süd -5°
¬ Energiekonzept	Vorhanden (siehe unten)

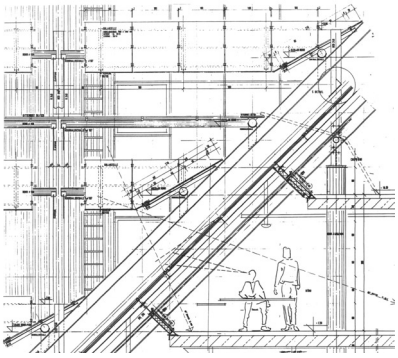
** Globalstrahlung als Mittelwert der Jahressummen von 1981-2000 in kWh/m^2 a Einstrahlung auf die horizontale Fläche [Quelle: Photon Spezial, 2000, S. 109]*

¬ Energiekonzept

Neben der Integration aktiver Solarenergienutzung durch die PV-Anlage folgt das Gebäude auch den „klassischen gebäudestrukturierenden Prinzipien der passiven Sonnenenergienutzung. Die Energieeinträge, die vordringlich durch die vollverglaste Westfassade und die Verglasungen des Süddaches (resp. der Südfassade) zu realisieren sind, werden als Wärme in den Betonwänden und Decken gespeichert und phasenverschoben wieder freigesetzt. Einer Überhitzung wird durch Öffnungsklappen im Untergeschoß und im Dachbereich entgegengewirkt."
Die Photovoltaikanlage übernimmt im Bereich des Süddaches die Funktion des Sonnenschutzes. Durch seine Massivbauweise wird das Gebäude nach Norden gedämmt. Das Gebäude wurde in einer dreiteiligen Temperatur-Zonierung entwickelt:

- der Dusch- und Umkleidebereich im UG mit einer Raumtemperatur von 24° C, durch den gleichzeitig der Fußboden der Mehrzweckraumes im EG erwärmt wird.
- der Bürobereich mit 21°C,
- der Pufferbereich der Erschließungszone und Nebenräume mit 16° C.

„Die Heizkörper der jeweiligen Bereiche, die aus der Überschußwärme der Kläranlage gespeist werden, sind mit automatisch geregelten Thermostaten augestattet, um in flexibler Anpassung an die Außenbedingungen und ihre Auswirkung auf das Innenklima eine gleichbleibende Raumtemperatur zu gewährleisten.
Die Außenwände des Nordtraktes sind mit einer 10 cm starken Dämmung und einem Aluminiumwellblech verkleidet, oberhalb der Flurverglasung kamen Sandwichelemente zum Einsatz mit einer Außenverschalung aus Holz. [6]



Detailschnitt / Dach

4) Zelle / Photovoltaik-Beschreibung

¬ Allgemein
Das nach Süden ausgerichteten 900 m² großen Pultdach, mit einer Dachneigung von 45°, wurde mit einer Photovoltaikanlage ausgestattet, die als hinterlüftete Konstruktion auf die Dachfläche aufgesetzt ist. [1], [5]

Die Nettogesamtfläche der Solarmodule beträgt 544 m2, 252 Module (Optisol SFM 144 Hx) mit einem jeweiligen Gewicht von 58 kg bilden insgesamt 42 Segmente, die in einem Neigungswinkel von 32° schuppenartig montiert sind. [5]

Die Nennleistung der Anlage beträgt 63 kWpeak. Als Jahresenergieertrag werden 47.000 kWh/a erwartet.
Einen wichtigen Bestandteil der Solaranlage bildet ebenso die spezielle Art von Wechselrichtern, die von einem Forscherteam des Labors für Leistungselektronik der FH Konstanz in enger Zusammenarbeit mit dem Moskauer Energetischen Institut seit 1993 entwickelt wurde und inzwischen unter der Bezeichnung SWR 2000 in den Markt eingeführt ist. Neben der Aufgabe, den durch die Solarzellen erzeugten Gleichstrom in Wechselstrom umzuwandeln, um Einspeisung in das öffentliche Netz zu ermöglichen, haben die entwickelten Wechselrichter für PV-Anlagen im sog. Netzparallelbetrieb zudem die Aufgabe, den Solargenerator zur Erzielung höchstmöglicher Energieausbeute stets im optimalen Arbeitspunkt zu betreiben. Mit einem sehr guten Wirkungsgrad von 95,6 % bei 50% der Bemessungsleistung (60kW) und 91,7% bei 10% der Bemessungsleistung speist der Wechselrichter rein sinusförmigen Strom ins Netz ein und stützt dadurch die Qualität der Stromversorgung. [5]

Photovoltaikdetailansicht vom Teich, semitransparente Module

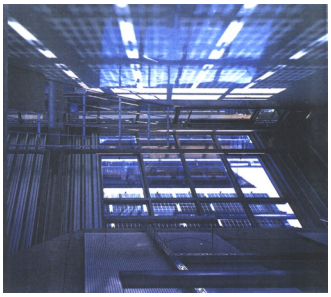
¬ **Erscheinungsbild:** Semitransparentes PV-Lamellensystem
Die starr angebrachten Photovoltaiklamellen gestatten durch ihre Winkelstellung, sowie durch die Beschaffenheit der semitransparenten PV-Module einen Ausblick aus dem Gebäude.

¬ Orientierung der Photovoltaik
Die Photovoltaik ist südorientiert, mit einer geringen Abweichung von -5°.

PHOTOVOLTAIK-BASISDATEN

DACH / SÜD-Ausrichtung

¬ PV-Typ /	Polykristalline Solarzellen / Optisol SFM 144 Hx semitransparente Module
¬ Hersteller / Solarzellen	Pilkington, USA
¬ Hersteller / Module	Sunways
¬ Neigung des Daches	45°
¬ Neigung der PV	32° (starre Lamellen)
¬ Ausrichtung PV	Süd -5°



Photovoltaiklamellen, feststehend, Innenansicht

¬ Wirkungsgrad der Zellen	Keine Angaben
¬ Wirkungsgrad der Module	Keine Angaben
¬ Dachfläche / Pultdach	900 m^2
¬ PV-Fläche (F) / Dach-**Süd**	544 m^2
¬ Maße Standardmodul (B*H*T)	1000 * 2160 * 12 mm
¬ Anzahl der Solarmodule	252 Module
¬ Farbe der Solarzellen	dunkelblau
¬ Leistung / Module	250 Wp
¬ Gesamtleistung (Nennleistung)	63 kWpeak
¬ Erzeugte Energie/Jahr	47.000 kWh/a
¬ Effizienz F / kWp	8,63 %
¬ Effizienz pro m^2 Leistung / F	115,81 W/ m^2
¬ Spezifischer Jährlicher Ertrag [kWh/a] / [kWp] [**Süd-Dachfläche**]	746 kWh / (kWp x a)

5. KOSTEN

Finanzierung des Projektes

Für die Finanzierung des Projektes „Solarkraftwerk Konstanz" wurde ein Bürgerbeteiligungsprojekt initiiert. Dementsprechend konnten Bürger, Firmen und Institutionen Anteile einer bestimmten Mindestgröße an der Anlage erwerben. Die Stadtwerke Konstanz mieten die Anlage (seit 1.7.1997) von den Anteilseignern und sind für Betrieb, Wartung und Instandhaltung 20 Jahre lang zuständig.
Die ursprüngliche Kalkulation gestaltete sich folgendermaßen:
Die 63 kW große PV-Anlage wurde in 630 Anteile à 100 Wattpeak aufgeteilt. Der Preis eines Anteils wurde im Vorfeld mit 1.750,-- DM zgl. MWSt kalkuliert und die Mindestabnahmemenge auf zwei Anteile festgelegt. Trotz sehr großem anfänglichen Interesse, nach intensiven Werbemaßnahmen in der regionalen Presse, wurden dennoch nur 200 Anteile vermarktet. Einen zweiten Schub gab es, laut Aussage der Stadtwerke Konstanz, als die Landesförderung dahingehend ergänzt wurde, daß nun „bei Anlagen von mindestens 20 kWpeak Größe auch Teilhaberprojekte bis zu 35% gefördert werden sollten." Es mußten jedoch mindestens 300 Wattpeak erworben werden. Die verkauften Anteile stiegen auf Grund dieser Maßnahme auf ca. 400.
In Folge einer weitern Werbemaßnahme und einer höheren Vergütung des Solarstroms (von 79 PF/kWh) konnten alle 630 Anteile verkauft werden. Da jedoch die prognostizierten Förderungen der Landesregierung verringert wurden, räumte die Stadt Konstanz einen Investitionszuschuß ein, um die geänderten Solarverträge aufrecht zu erhalten. [Zur Deckung der Restfördersumme und der erhöhten Solarstromvergütung wurde eine Umlage auf den Strompreis von 0,4 PF/kWh (nur Tarifkunden) erhoben.] [7]

GESAMTBEWERTUNG

Eine Stellungnahme zum Projekt hinsichtlich des angestrebten Grundgedankens der anteiligen Beteiligung von Bürgern und Firmen zur Finanzierung der Photovoltaikanlage das folgende Zitat:
„Mit dem regen Interesse der Bürger am Erwerb von Anteilen stellt sich das Projekt für die Konstanzer kommunale Energiepolitik als erfolgreiche Unternehmung dar. Gleichzeitig wird es als wichtiger Beitrag zur kommunalen Wirtschaftsförderung im Bereich „neue umweltfreundliche Technologien betrachtet." [8]

Das Büro „Schaudt Architekten" äußert sich abschließend zum Projekt wie folgt:
„Rückblickend kann dieses Projekt mit der energiepolitischen Zielrichtung eines bewußten Umgangs mit den vorhandenen Ressourcen, angesichts des regen Interesses der Konstanzer Bürger, als großer Erfolg gewertet werden." [9]

ERGEBNIS DER PROJEKTSTUDIE

Der erzielte Wert des Spezifischen Jahresertrages für das Projekt `Stadtwerke Konstanz´ [746 kWh/ (kWp x a)] liegt im Vergleich zu den restlichen Projekten unter dem Durchschnitt [797 kWh/ (kWp x a)]. Es handelt sich hier um den südlichsten Standort sämtlicher Vergleichsprojekte und es liegt lediglich eine sehr geringe Abweichung von der optimalen Südausrichtung vor (Süd -5°), dennoch konnte kein sehr gutes Ergebnis für den Spezifischen Jahresertrag im Vergleich zu den restlichen Beispielen erreicht werden. Ebenso beträgt der Wert für die Performance Ratio 63% und liegt weit unter dem Durchschnitt der Dachintegrationsbeispiele der Studie von 74,6%. Das Hauptargument hierfür sind die auftretenden Teilverschattungen durch den Sendemast im oberen Dachbereich. (Die auftretenden Verschattungsverlust wirken sich sehr stark auf die Jahreserträge und somit auch auf die PR aus.)

Der Dachintegrationswinkel der lammellenartig angeordneten PV-Module weisen einen geeigneten Winkel von 32° auf. Es handelt sich um ein starres PV-System. Die Glas/Glas-Module, welche eine verminderte Erwärmung der Zellen und Module auf Grund der Hinterlüftung aufweisen, und unterstützen somit die Energieerträge im positiven Sinne. Die Konstruktion und Gestaltung des Gebäudes werden eindeutig von der Photovoltaik-Integration geprägt.
Jedoch wirken sich Winkelstellung und Orientierung der PV nicht auf den erzielten PR-Wert aus. Zu den beeinflussenden Faktoren für die PR, siehe ***Kapitel 4*** und die Auswertung der Ergebnisse, siehe ***Kapitel 5***. Die Auswirkung der genannten Faktoren fließen nur in den Wert der ***[PR_{horiz}]*** ein, siehe ***Graphik [PR_{horiz}] A*** und entsprechende Überlagerungsgraphik.

BIBLIOGRAPHIE / SOLARKRAFTWERK KONSTANZ

[1] „Bürgerbeteiligungsprojekt / Solarkraftwerk Konstanz", 1-seitiges Info-Blatt / Kurzbeschreibung, Quelle: Herr Düsterhöft, Stadtwerke Konstanz

[2] Glasforum 6/97; Solares Bauen, S. 37
[3] Glasforum 6/97; Solares Bauen, S. 35
[4] Südkurier, 16.08.1997 / „Solarflaggschiff im Ried fest vor Anker"
[5] Glasforum 6/97; Solares Bauen, S. 36
[6] Glasforum 6/97; Solares Bauen, S. 35-36
[7] Informationen: Reinhard Düsterhoefft, Stadtwerke Konstanz, Tel: 07531/803-395 / E-Mail: R.Duesterhoeft@stadtwerke.konstanz.de
[8] Glasforum 6/97; Solares Bauen, S. 39
[9] Präsentationsbroschüre, Schaudt Architekten BDA, Projekt „Betriebshof Konstanz"

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. B.13 - Glasforum 6/97, S. 35-39
- Informationsbroschüre / Schaudt Architekten BDA, Konstanz

ADRESSEN

B.13 Solarkraftwerk Konstanz

Stadtwerke Konstanz
Reinhard Düsterhöft
Max-Stromeyer-Straße 21-29
78467 Konstanz / http://sw.konstanz.de
Tel: 07531 / 803-0 (Zentrale)
Tel: 07531/ 803-395 (R. Düsterhöft)
Fax: 07531 / 803-385
E-Mail: R.Düsterhoeft@stadtwerke.konstanz.de

Schaudt Architekten BDA
Andreas Rogg (Verantwortlicher Architekt / Projekt)
Helmut Hagmüller
Martin Cleffmann
Roland Sorichter
Herbert Schaudt
Hafenstraße 10
D-78462 Konstanz
Tel: 07531-22002
Fax: 07531-22003
www.schaudt-architekten.de
info@schaudt-architekten.de