Bauintegrierte Photovoltaikanlagen der ETHZ Hönggerberg

Autor(en): **Kälin, Toni**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **93 (2002)**

Heft 10

PDF erstellt am: **28.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-855412

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Bauintegrierte Photovoltaikanlagen der ETHZ Hönggerberg

Die dachintegrierte Photovoltaikanlage der 3. Ausbauetappe der ETH Zürich, Hönggerberg, wird im Endausbau zu den grössten bauintegrierten Anlagen der Schweiz gehören. Durch die sorgfältige konstruktive und gestalterische Integration in die Dachlandschaft, die «fünfte Fassade», ist sie beispielhaft für die multifunktionale Integration der Energiegewinnung in die Gebäudehülle.

Bild 1 Die PV-Anlage ist sorgfältig in die Dachlandschaft integriert.

■ Toni Kälin

Das Bauvorhaben

Die Silhouette des Hönggerbergs in Zürich hat sich verändert. Ein schimmernder Gebäudekomplex aus Stahl und Glas bildet den neuen Blickfang der ETHZ-Anlagen. Der neue Bau beeindruckt sowohl durch seine klare Gliederung wie auch durch die monumentale Grösse. Die grosszügige Umgebungsgestaltung erinnert an südliche Piazze und lässt wohl keinen Betrachter gleichgültig.

Adresse des Autors
Toni Kälin, Dipl. Ing. FH
Electrowatt Infra AG
Projektleiter Photovoltaik
8037 Zürich

Die dritte Ausbauetappe der ETH Hönggerberg in Zürich stellt das grösste zivile Bauvorhaben des Bundes dar. Der kammartige Gebäudekomplex der Architekten Mario Campi und Franco Pessina beherbergt seit Herbst 2001 das Departement Chemie der ETH Zürich und später das Departement Werkstoffe und Teile des Departements Biologie.

Platzierung der Solargeneratoren

Bereits 1992 in den frühen Planungsphasen schlug Electrowatt Ingenieurunternehmung AG, die heutige Electrowatt Infra AG (EWI), die Bauintegration von photovoltaischen Solargeneratoren vor und überprüfte die Machbarkeit dieser Idee. Zwar sind die Fassadenflächen beeindruckend gross und laden aufgrund ihrer Ausdehnung zur Nutzung der solaren Einstrahlung förmlich ein, jedoch zeigten die detaillierten Abklärungen sehr bald die Limiten der solaren Energieproduktion auf. Der Gebäudegrundriss mit drei Flügelbauten, einem Verbindungsbau und dem Auditoriumstrakt führt im Tagesablauf zu wechselnden Eigenbeschattungen, welche die meisten Fassadenflächen für eine photovoltaische Nutzung schlecht geeignet machen. Zur Diskussion standen letztlich nur noch die südöstlichen Fassaden der Technikräume im Dachgeschoss, die aber durch die Pergolagestaltung der vorgelagerten Terrassen ebenfalls von Schattenwurf betroffen sind.

Die ursprüngliche Idee, den Studierenden und Besuchern die Sonnenenergienutzung durch eine gestalterisch überzeugende Fassadenintegration von Solargeneratoren zu demonstrieren, musste somit aufgegeben werden. Als Ersatz für die Fassaden boten sich die ausgedehnten Flachdächer an. Die Anforderungen an das Design der solaren Nutzung waren hier aber nicht kleiner als in den senkrechten Gebäudeflächen, legte doch Prof. Dr. M. Campi grössten Wert auf eine Dachaufsicht, die sich als «Fünfte Fassade» in sein architektonisches Gestaltungskonzept einfügt. Das Aufstellen von Reihen aufgeständerter Solarmodule konnte für dieses Gebäude kein Thema sein. Der Platz für die Photovoltaik-Generatoren wurde auf den Vordächern gefunden.

Diese Vordächer – ein Stilelement, das von Campi + Pessina auch bei anderen Bauten verwendet wurde – folgen der gesamten Gebäudekontur. Sie ergeben in ihrer Abwicklung eine Länge von einem Kilometer. Das umlaufende Vordach wirkt als geschlossene, leichte Platte, die den Übergang der Fassade in den Dachbereich markiert. Die Ausladung beträgt über zwei Meter. Die Vordachplatte weist von unten keine sichtbaren Strukturen auf. Sie «schwebt», nur von wenigen Stützen getragen, über den Fassaden.

Die leicht wirkende Stahlkonstruktion der Vordächer dient aber nicht nur als Träger der Photovoltaik-Solargeneratoren, sondern bildet auch die Fahrbahn der Fassaden-Unterhaltsmaschine, einer aufwändigen Konstruktion, gilt es doch mit der Arbeitsplattform die zwei Meter «zurückliegende» Fassade zu erreichen. Auf den äusseren Rand der Vordächer wirken

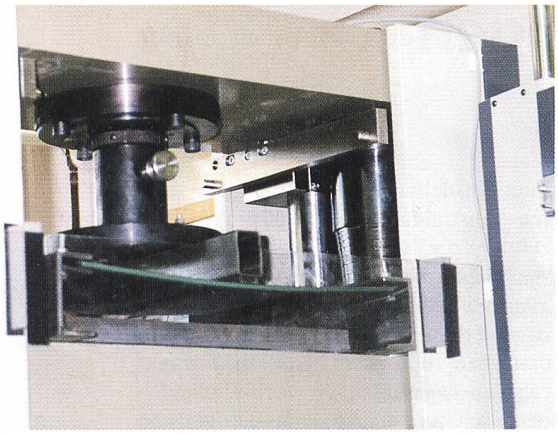

Bild 2 Statische Bruchversuche mit PV-Laminaten im Baustofflabor der ETH Zürich.

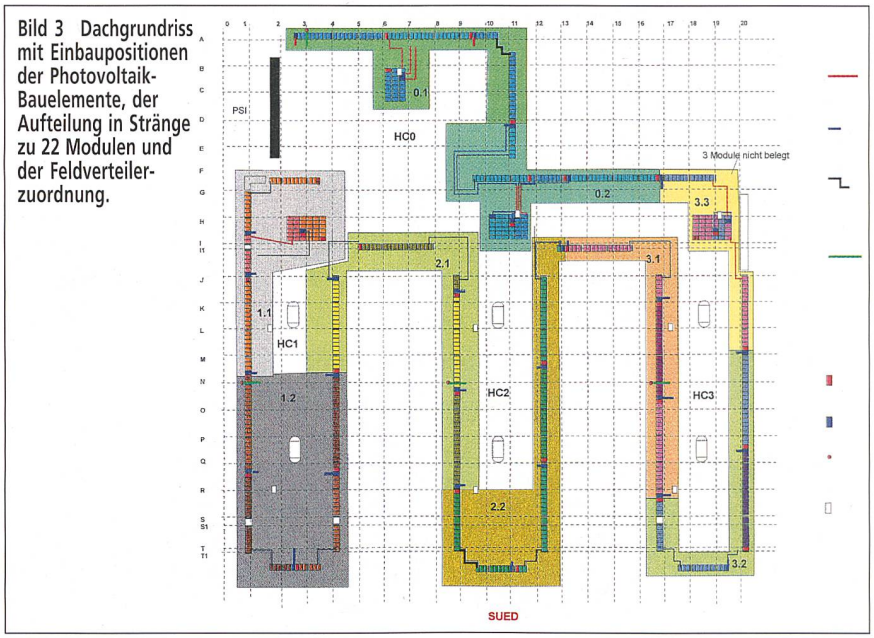

Bild 3 Dachgrundriss mit Einbaupositionen der Photovoltaik-Bauelemente, der Aufteilung in Stränge zu 22 Modulen und der Feldverteiler-zuordnung.

durch die Fassadenmaschine sehr hohe Kräfte, von deren dynamischen Deformationen der Vordachkonstruktion auch die PV-Module betroffen werden.

Die photovoltaischen Solargeneratoren bilden die obere Abdeckung der Vordächer. Die geschilderten Rahmenbedingungen, wie auch gestalterische Anforderungen, liessen nur eine horizontale Einbaulage der PV-Module zu. Die Auswertung von Betriebserfahrungen mit sehr flach angeordneten Photovoltaik-Generatoren und mit den wenigen PV-Installationen mit völlig horizontaler Lage der Module ergaben, dass das zu erwartende Verschmutzungsverhalten und die andern speziellen Betriebsumstände beherrschbar sind.

Um genügend Leistung für die geforderte Jahresproduktion verfügbar zu machen, mussten, zusätzlich zu den Vordächern, auch die Flachdächer einiger Dachaufbauten mit PV-Modulen bestückt werden.

Die Photovoltaikanlage ist zwar für den Betrachter vom Boden aus nicht erkennbar. Ein Besuch des Gebäudedachs zeigt aber, neben der gewaltigen Ausdehnung der Anlage, mit welch gestalterischer und technischer Sorgfalt die PV-Bauteile in die Oberfläche der Vordächer integriert wurden. Die Solargeneratoren fügen sich perfekt in die Strukturen der Dachlandschaft aus rostfreiem Stahl ein. Die Photovoltaik-Bauelemente übernehmen dabei neben der Stromproduktion den Witterungsschutz der Vordächer.

Design der PV-Generatoren

Die speziellen Anforderungen dieser PV-Integration liessen sich nicht mit marktüblichen PV-Modulen, sondern nur mit massgefertigten PV-Bauelementen erfüllen.

Um eine Kumulation von Verschmutzungen auf der horizontalen Generatoroberfläche möglichst zu vermeiden, musste ein ungehinderter Wasserabfluss auf allen vier Modulseiten sichergestellt werden. Dadurch können die Niederschläge zusammen mit dem Windeinfluss die beste Reinigungswirkung erzielen. Durch die Wahl von rahmenlosen PV-Laminaten, einer entsprechenden Auslegung der Stahlunterkonstruktion und der Entwässerung der Vordächer konnte diese Anforderung erfüllt werden.

Der Energieertrag von Solarzellen nimmt bei steigender Zellentemperatur markant ab. Eine Temperaturerhöhung von 10°C reduziert die Leistung um volle 5%. Deshalb musste eine gute Hinterlüftung der PV-Generatoren sichergestellt werden. Dies wurde erreicht durch vergitterte Lüftungsöffnungen entlang der Vordachvorderkante und an nicht einsehbarer Lage an der Vordachunterseite. Selbstredend hatte die Anordnung und das Lochmuster der Entlüftungen den gestalterischen Ansprüchen dieses Bauobjekts zu genügen.

Der Grossteil der PV-Module der ETH Hönggerberg-Integration misst 1650 × 1022 mm. Auf Basis der im Fassadenbau üblichen Glasdimensionierungen wären gewichtige, schwer handhabbare Bauteile mit entsprechend hohen Glaskosten für das eisenfreie ESG extra-weiss entstanden. Vor allem aber hätten die Absorptionsverluste durch die grosse Glasdicke die photovoltaische Stromproduktion reduziert. Da die verfügbare Solargeneratorfläche für die verlangte Stromproduktion knapp war, mussten Optimierungen beim Moduldesign gesucht werden.

Die Abklärungen der auf die Module einwirkenden Kräfte ergaben als kritische Auslegungsgrösse eine Ersatzflächenlast für Windkräfte von 2,9 kN/m² (Sog). Ausserdem war das Biegeverhalten der Unterkonstruktion durch den Einfluss der Fassaden-Unterhaltsmaschine zu beachten. Die Wahl der Glasdicke und Details der Modulbefestigung wurden nach Bruchversuchen mit unterschiedlich dicken Photovoltaik-Laminaten im Baustofflabor der ETH Zürich unter der Aufsicht von Prof. Dr. Rudolf Hess fest-

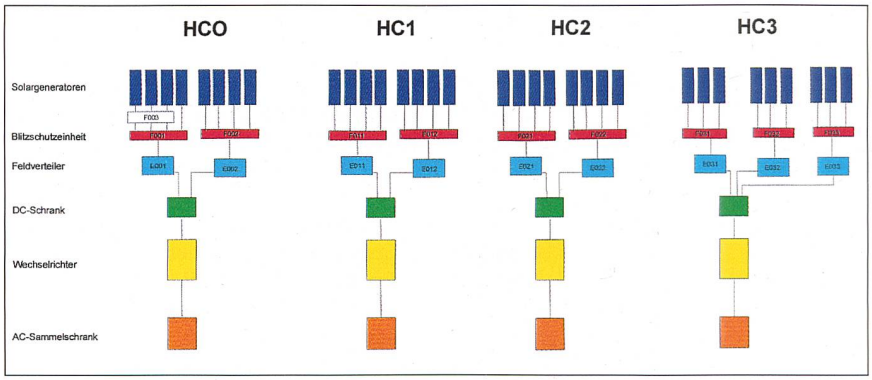

Bild 4 Elektrisches Blockschema der Photovoltaikanlagen der 1. Bauphase.

gelegt. Die eingesetzten Module weisen eine Glasdicke von 6 mm auf. Diese Versuche zeigten auf, dass PV-Laminate ein günstigeres Bruchverhalten und eine höhere Tragfestigkeit als gleich dicke Glasplatten haben. Sie zeigen das Verhalten von Verbundwerkstoffen.

Die Befestigung auf der Stahlunterkonstruktion erfolgt im Randbereich der Module mit je sechs geschraubten Klemmstücken. Auf eine Moduldurchdringung wurde verzichtet. Die Klemmstücke sind aus Aluminium-Strangpressprofilen gefertigt. Alle Berührungsflächen mit dem PV-Modul sind durch Neoprenauflagen geschützt.

In der ersten Bauphase der ETH Hönggerberg (3. Ausbauetappe) wurden 720 massgefertigte, rahmenlose PV-Laminate des Typs Fabrisolar FS610 mit EVA-Einbettung der monokristallinen Solarzellen Astropower AP1206 installiert. Die Modul-Nennleistung beträgt 180 W_P.

Zur Vereinfachung der Montage und Installation ist die Solargeneratorverschaltung als modulintegrierte Strangverkabelung mit dem Photovoltaik-Stecksystem von Multi-Contact ausgebildet. Dabei baut sich während des Montagevorgangs durch das Zusammenstecken der Module die Strangverkabelung von selbst auf, ohne dass – ausser beim Anschlusspunkt des Strangs – Installationen im Generatorbereich zu erstellen sind. Neben effizienten Arbeitsabläufen resultiert ein wichtiger Sicherheitsvorteil. Durch das berührungssichere Multi-Contact-Stecksystem ist das Installationspersonal vor Stromschlag geschützt. Ein Solargenerator steht bei Tageslicht immer unter Spannung – auch während des Montagevorgangs!

Ein kniffliges Problem, das es zu lösen galt, waren die Leitungsführungen von den Vordächern ins Gebäudeinnere. Neben den üblichen Schwierigkeiten von Gebäudehüllendurchdringungen mussten hier noch Installationsrohre durch die filigranen Stützen der Vordächer geführt werden und ihren Weg in die technischen Räume durch die Pergola-Tragkonstruktion finden.

Photovoltaische Systemtechnik

In Anlehnung an das Elektrotechnikkonzept des Neubaus HCI verfügt jeder der Gebäudeteile über eine eigene netzgekoppelte PV-Anlage. Die photovoltaische Gesamtanlage teilt sich somit in vier autonome PV-Systeme mit Spitzenleistungen von 30 bis 35 kW_P auf. Insgesamt sind 130 kW_P Photovoltaik installiert. Vier SolarMax-Inverter von Sputnik Engineering AG, Nidau, wandeln den photovoltaisch erzeugten Gleichstrom in netzkonformen Wechselstrom um. In einer kommenden zweiten Bauetappe werden zusätzliche PV-Installationen zu einer Gesamtleistung von rund 220 kW_P führen.

Die elektrische Energie aus den Solaranlagen wird in den Niederspannungs-Hauptverteilungen in den Kellergeschossen in das 400/230 V, 50-Hz-Hausnetz der ETH-Bauten HC0 bis HC3 eingespeist.

Das Erdungs- und Blitzschutzkonzept trägt neuesten Erkenntnissen Rechnung und schützt Personen, die PV-Anlagen und das Gebäude wirkungsvoll vor schädlichen Fremdeinflüssen. Besondere Sorgfalt galt dem Schutz des PV-Monitoring-Systems, das mit sensiblen elektronischen Baugruppen ausgerüstet ist.

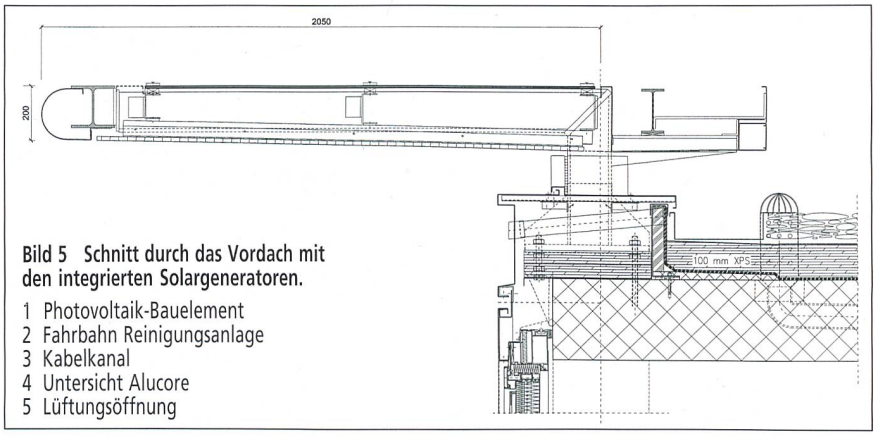

Bild 5 Schnitt durch das Vordach mit den integrierten Solargeneratoren.

1 Photovoltaik-Bauelement
2 Fahrbahn Reinigungsanlage
3 Kabelkanal
4 Untersicht Alucore
5 Lüftungsöffnung

Produktion

Die Jahresproduktion der Photovoltaikanlagen wurde durch Bauauflagen vorgeschrieben. Für die gesamte 3. Ausbauetappe (Bauphase 1 und 2) beträgt der geforderte Solarstromertrag 170 000 kWh/Jahr. Für die erste Bauphase wurde eine Produktion von 102 000 kWh/a verlangt. Dies entspricht rund 60% des Beleuchtungsenergiebedarfs der Räume ohne Tageslicht oder einem Prozent des Gesamtstromverbrauchs der Neubauten mit ihren ausgedehnten, energieintensiven Laboratoriumsinstallationen.

Der Photovoltaik-Unternehmer musste garantieren, dass die von ihm erstellten PV-Installationen eine jährliche, witterungsbereinigte Produktion von 102 000 kWh erbringen. Sollte dieser Jahresertrag nicht erreicht werden, hat der Unternehmer die PV-Anlage auf eigene Kosten zu ergänzen.

Die Messung der Jahresproduktion wurde ein halbes Jahr nach Inbetriebnahme der Anlagen im September 2000 aufgenommen.

PV-Monitoring

Der Betrieb der PV-Anlagen wird durch ein Monitoring-System von Connect-Plus, Erfurt, kontrolliert. Das System überwacht mittels Simulationsrechnun-

Bild 6 Die Vordächer mit den integrierten Solargeneratoren folgen der gesamten Gebäudekontur.

Bild 7 Die massgefertigten PV-Bauelemente sind horizontal angeordnet. Sie bilden die obere Abdeckung der Vordächer.

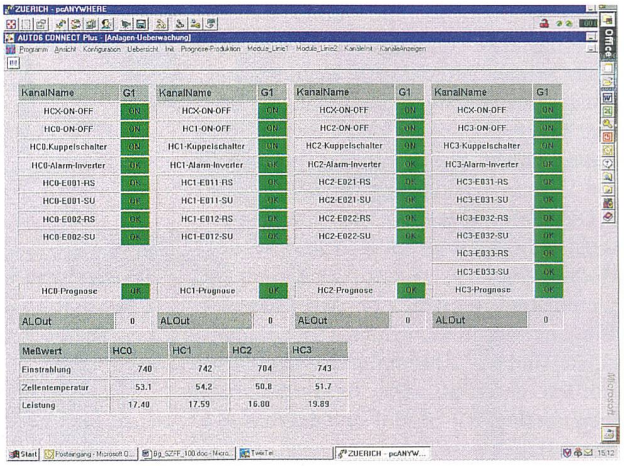

Bild 8 Bildschirmmaske Anlagenüberwachung des PV-Monitoring-Systems von Connect-Plus.

gen die Produktion. Bei Minderproduktion und anderen Störungen wird das Betriebspersonal alarmiert. Weitere Funktionen des PV-Monitoring sind die elektrische Überwachung sämtlicher Stränge, die Datenübertragung auf das Haustechnik-Leitsystem, das Führen der Energiestatistik und des Log sowie die Visualisierung der Betriebsdaten auf einer Konsole im Gebäude HC2. Von extern ist der Zugriff auf Betriebsdaten und historische Datenbank via Modem möglich.

Das Energiekonzept der ETH Hönggerberg

Die Photovoltaik-Stromproduktion ist in das Energiekonzept der ETH Hönggerberg eingebettet. Im Bericht Massnahmen und Ökologie, ETH Hönggerberg 3. Ausbauetappe von Gruenberg & Partner wird dazu ausgeführt:

Das Ziel von «Energie 2000» – die Stabilisierung des Strom- und die Senkung des Wärmeverbrauchs – kann bei den Bauten der ETH Hönggerberg trotz eines Flächenzuwachses von 50% durch die 3. Ausbauetappe mehr als erreicht werden. Möglich wird dies durch einen sehr effizienten Neubau und durch laufende Massnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs in den bestehenden Anlagen. Die Inbetriebnahme der zusätzlichen Gebäude der 3. Ausbauetappe erhöht den Gesamtenergieverbrauch der ETH Hönggerberg nicht. Zu den umgesetzten Massnahmen gehören:

- optimierte Nutzung von Tageslicht, natürlicher Belüftung und Abwärme;
- Einsatz von energiesparenden Haustechnikanlagen und Apparaten mit geringer Abwärmelast;
- flexible, auf einen Grundstandard ausgelegte Haustechnikinstallationen mit der Möglichkeit einfacher Nachinstallation;
- optimale Einbindung in die bestehende zentrale Fernwärmeversorgung ab BHKW;
- Einsatz alternativer Energiequellen.

Ausblick

Die Bauintegration von photovoltaischen Solargeneratoren konnte im architektonisch anspruchsvollen Umfeld der 3. Ausbauetappe der ETH Hönggerberg erfolgreich umgesetzt werden. Das ETH-Hausnetz wird seit Herbst 2000 mit solar erzeugter elektrischer Energie unterstützt. Die bis jetzt erreichte Solarstromproduktion entspricht den Erwartungen aus Planung und Umsetzung. Nach dem kommenden Ausbau der Photovoltaik im Rahmen der 2. Bauphase wird auf dem Hönggerberg eine der grössten schweizerischen PV-Bauintegrationen in Betrieb stehen.

Bildnachweis
Ralph Bensberg, Fotograf, Zürich: 1, 6, 7
Electrowatt Infra AG, Zürich: 2, 8
Fabrisolar AG, Küsnacht: 3, 4
Ernst Schweizer AG, Zürich: 5

Beteiligte
Bauherr: Schweizerische Eidgenossenschaft, vertreten durch die Eidgenössische Technische Hochschule (ETH), Zürich
Architekt: Prof. Mario Campi + Franco Pessina, Architetti FAS, Lugano und Zürich
Baufachorgan: ETH Zürich, Direktion Bauten und Betrieb
Totalunternehmer 1. Bauetappe: Karl Steiner AG, Zürich
Fassadenausführung: Karl Steiner Industrie AG, Zürich
Ernst Schweizer AG, Zürich-Oerlikon
Elektroplaner 1. Bauetappe: KIWI AG, Dübendorf
Photovoltaik-Fachplaner: Electrowatt Infra AG, Zürich
Photovoltaik-Unternehmer: Fabrisolar AG, Küsnacht

Installations photovoltaïques intégrées dans le bâtiment de l'EPFZ Hönggerberg

L'installation photovoltaïque intégrée dans le toit de la troisième étape d'extension de l'EPFZ Hönggerberg comptera, à la fin des travaux, parmi les plus grandes installations de ce genre en Suisse. Soigneusement intégrée dans le paysage des toits au niveau de la construction et de la conception, l'installation, nommée «cinquième façade», constitue un modèle en matière d'intégration multifonctionnelle de la production d'énergie dans l'enveloppe du bâtiment.