



Die Lösung für schwierige Fälle

Wohngebäude mit Flachdachbereichen verfügen häufig nicht über die notwendigen Lastreserven im Dachbereich, eine Photovoltaik-Anlage zu installieren. Jetzt wurde hierfür eine Lösung entwickelt.

Das Ingenieurbüro Winnen zeigt die Realisierung eines solchen Projektes. Ein Bericht über das neue System BIOSOL PV-Plate.

Dipl.-Ing. Klaus-Michael Winnen

AUFGABENSTELLUNG

Auf einem Wohngebäude in Berlin sollte auf dem flachen Teil des „Berliner Daches“ eine Photovoltaik-Anlage installiert werden. Die Dachfläche liegt über 23 m Höhe.

Die Dachkonstruktion erlaubte keine statischen Belastungen, wie sie durch zusätzliche Wind- und Schneelasten bei aufgeständerten Photovoltaik-Modulen entstanden wäre. Die bestehende Bitumen-Dachhaut sollte erhalten

und weiter genutzt werden. Es sollte eine Lösung entwickelt werden, die verfügbaren statischen Dachreserven zu nutzen. Insbesondere unter dem Aspekt, keine zusätzlichen Lasten auf die bestehende Dachkonstruktion wirken zu lassen, wurde ein neues Konzept entwickelt und erfolgreich realisiert.

VORGEHEN, KONZEPTENTWICKLUNG

Flachdachmontage von Dünnschicht-Modulen

Als eine Alternative wurde die großflächige Montage von Dünnschicht-Modulen geprüft.

Dünnschicht-Module verfügen über einen günstigen Temperaturkoeffizienten bzgl. ihrer Leistung. Dieser ist wesentlich besser als der von Modulen mit poly- und monokristallinen Siliziumzellen. Bei hohen Temperaturen verringert sich die Leistung der Dünnschicht-Module nicht in dem Maße, wie es bei poly- oder monokristallinen Modulen der Fall ist. Die Dünnschicht-Module benötigen allerdings aufgrund ihrer relativ niedrigen Leistungsdichte we-

sentlich mehr Fläche bei gleicher Anlagenleistung als poly- oder monokristalline Module.

Die Dünnschicht-Module werden direkt auf dem Dach befestigt, eine Aufständigung und Ausrichtung der Module entfällt hierbei. Der Vorteil liegt darin, dass keine zusätzlichen Schnee- und Windlasten bei dieser Montage auftreten, die fehlende Hinterlüftung der Photovoltaik-Module führt allerdings zu einer höheren Betriebstemperatur und demzufolge zu höheren Wirkungsgradeinbußen. Hier zeigt sich die Stärke der Dünnschicht-Module gegenüber kristallinen Modulen, deren Wirkungsgradreduzierung bei höheren Temperaturen wesentlich geringer ist als der kristallinen.

Dünnschicht-Module für kritische Einsatzbereiche, Anforderungen

Das Ingenieurbüro Winnen prüfte im Rahmen der Planung verschiedene Fragestellungen.

Zur Vermeidung zusätzlicher Schnee- und Windlasten sollten die PV-Module plan auf dem Gebäudedach montiert werden.

Bitumenkleber für die Verklebung von Dachfolien auf bestehenden Bitumendachbahnen, insbesondere im Flachdachbereich, werden schon seit langer Zeit eingesetzt. Voruntersuchungen klärten Detailfragen.

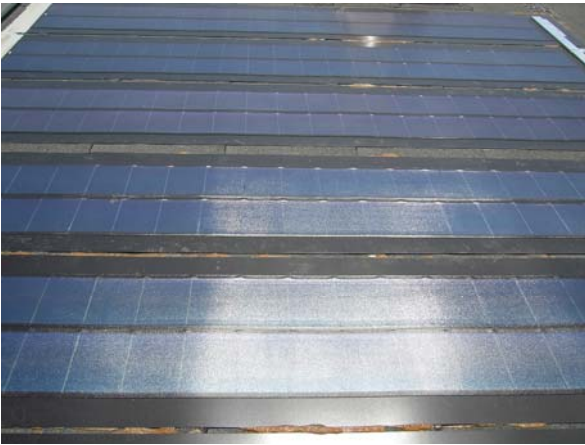
Die für die Montage vorgesehenen Dachbereiche weisen relativ ungünstige Neigungswinkel gen West und gen Nord auf. Im Rahmen der Planung war die Frage zu klären, um wie viel größer die Anlage im Vergleich zu einer optimal ausgerichteten Anlage ausgelegt werden musste, um den relativ ungünstigen Sonneneinfallswinkel zu kompensieren.

Die durchschnittlichen Jahreserträge der Abschätzungen mittels Modellberechnungen sind hierbei von größerer Toleranz geprägt.

Die Beurteilung der eingestrahlenen Leistung bei einer stark schräg einfallenden Sonneneinstrahlung wird in erheblich stärkerem Maß durch Eigenschaften, wie Rauigkeit der Glasoberfläche in Bezug auf Reflexionseigenschaften etc. geprägt. So ist eine höhere Oberflächen-Rauigkeit bzw. Strukturierung für seitlichen Lichteinfall von Vorteil, für den direkt senkrechten Einfall wiederum eher zum Nachteil.

Vorsichtige Abschätzungen mittels Simulationsberechnungen geben für eine Photovoltaik-Anlage mit einer Leistung von rund 7,1 kWp für hiesige Örtlichkeiten einen durchschnittlichen Jahresertrag in Höhe von ca. 5.400 kWh, wobei eventuelle Vorteile der Dünnschicht-Module Uni-Solar wie Strukturierung der Abdeckungsoberfläche, mit entsprechend geringeren Reflexionsverlusten, unberücksichtigt bleiben. Ebenso sind die besseren Leistungen der Dünnschicht-Module bei diffuser Einstrahlung unberücksichtigt. Gerade das





Das System BIOSOL PV-Plate basiert auf PV-Folienlaminaten von Uni-Solar, aufgebaut aus Dünnschichtzellen mit Triple-Junction-Technologie, die auch unter ungünstigen Dachausrichtungen hohe Leistungen erzielen. Jede Siliziumzelle ist mit einer Bypassdiode ausgerüstet. Eventuell auftretende Verschattungen führen daher nicht zum Ausfall des ganzen Moduls, eventuell sogar des ganzen Strings, was einen entsprechend starken Leistungseinbruch der Anlage zur Folge hat. In diesem Fall würden nur die jeweiligen Zellen für die

Zeitdauer der Verschattung ausfallen. Die gesamte Anlage fährt daher in einem wesentlich stabileren Betrieb.

Die PV-Lamine sind flexibel und mit einer sehr witterungsbeständigen, hoch lichtdurchlässigen Abdeckung aus Tefzel® versehen.

Den Träger des BIOSOL PV-Plate bildet ein spezial beschichtetes Blech in feuerverzinkter Ausführung, mit einer zusätzlichen dauerhaft witterungsbeständigen Beschichtung auf Polyesterbasis versehen.

Die Verlegungsrichtung ungebundene Montage gewährt die optimale Nutzung des verfügbaren Dachbereiches, die Dachlängsausrichtung kann beliebig sein.

Spätere Dachsanierungen sind im Konzept des BIOSOL PV-Plate berücksichtigt. Das PV-Plate B ist so ausgelegt, dass eine spätere Dachsanierung nicht behindert oder beeinträchtigt wird. Der verfügbare Randbereich ist breit genug, um Bitumenbahnen anarbeiten zu können.

Im Fall einer Sanierung des Daches zu einem späteren Zeitpunkt stellt sich die Frage, wie vertragen sich diese Maßnahmen mit einer installierten Photovoltaik-Anlage auf dem Dach.

Gängige Praxis ist, auf die bestehende alte Lage Bitumenbahnen eine neue Lage Bitumenbahnen zu verlegen.

Die BIOSOL PV-Plates schützen die abgedeckten Bitumenbahnen vor weiterer Alterung durch UV-Einstrahlung. Der übrige Bereich, wo die Bitumenbahnen weiterhin der direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind und daher altern, kann jederzeit mit einer neuen Lage Bitumenbahnen versehen werden, wobei das PV-Plate mit eingefasst werden sollte. Entsprechend breit verfügbare Überlappungsbereiche

sind auf dem PV-Plate B vorgesehen. Die Module können auf die Weise ringsum praktisch verkapselt werden, Undichtigkeiten auch unterhalb der Module können so eliminiert werden.

Die auf die Dachhaut geklebten BIOSOL PV-Plates schränken die Zugänglichkeit für fachgerechte Reparaturen an der Dachhaut also nicht ein. Eventuelle Undichtigkeiten in der Dachhaut durch Alterung stellen daher kein Problem dar.

Anstelle von Eindichtungen auf Bitumenbasis bieten sich auch PU-Beschichtungssysteme an, die witterungsbeständig und UV-beständig sind. Diese weisen eine längerfristige Lösung und eine höhere Standzeit auf, sind allerdings nicht sehr preiswert.

Auch unter dem Aspekt einer späteren Dachsanierung, die irgendwann mal erforderlich sein wird, stellt das System BIOSOL PV-Plate eine wirtschaftlich günstige Lösung dar. Die PV-Anlage muss hierfür nicht abgebaut werden, ein langfristiger Vorteil, der gar zu gerne übersehen wird.

Das System BIOSOL PV-Plate erfüllt unsere gestellten Anforderungen unter anderem im Hinblick auf Leistung ungünstig ausgerichteter Dachbereiche, Teillastbetrieb bei Teilverschattung, Montage auf Dachbereichen, die nicht zusätzlich statisch belastet werden sollten, Folgekosten bei späteren Dachsanierungen etc. in idealer Weise.

ist für unsere Breiten interessant, da die Anzahl der mittleren Sonnenstunden pro Jahr nur ca. 38% der Tagstunden pro Jahr ausmachen. Unter Tagstunden ist die Zeitdauer zwischen Sonnenaufgang und Sonnenuntergang zu verstehen.

Eine Berücksichtigung dieser Eigenschaften lassen einen Jahresertrag von ca. 5.600 kWh erwarten.

Eine Prüfung der Bestandsstatik des Gebäudes dahingehend ergab, dass eine zusätzliche Flächenlast in Höhe von 8,5 kg/m² im Bereich der Zulässigkeit liegt. Die PV-Module sollten direkt auf die Bitumendachhaut geklebt werden, um Durchdringungsstellen in der Dachhaut zu vermeiden. Für die Verlegung sollten Dünnschicht-Module zum Einsatz kommen, die bei den höheren Temperaturen, wie es bei dieser Montageart im Vergleich zur Freiaufständerung der Module kommt, einen günstigeren Wirkungsgradverlauf aufweisen als Module mit poly- oder monokristallinen Siliziumzellen.

Das System BIOSOL PV-Plate der Firma BIOHAUS bietet all diese besagten Vorteile und noch vieles mehr. Die Variante BIOSOL PV-Plate B ist für die Verklebung auf Bitumenbahnen konzipiert.

Die Dünnschicht-Photovoltaik Module sind für diesen Einsatzbereich ideal. Die Befestigung direkt auf dem Dach führt zu keiner zusätzlichen Schnee- und Windlast. Die zusätzlichen Lasten liegen im Bereich einer Neueindeckung des Daches, und sind somit vernachlässigbar. Jedes Gebäude, dessen Bestandsstatik keine zusätzlichen Lasten erlaubt, kann mit diesem System ausgerüstet werden.

Da die Module direkt auf die Dachhaut geklebt werden, muss aufgrund fehlender Hinterlüftung mit höheren Temperaturen gerechnet werden, was zu einer Leistungsreduzierung der Photovoltaik-Anlage führt. Hier zeigt sich insbesondere die Stärke des Systems BIOSOL PV-Plate, dessen Temperaturkoeffizient deutlich kleiner ist als der von Modulen mit kristallinen Siliziumzellen, was eine wesentlich geringere Leistungseinbuße bedeutet.





KURZÜBERBLICK, ANLAGEN-KONZEPT

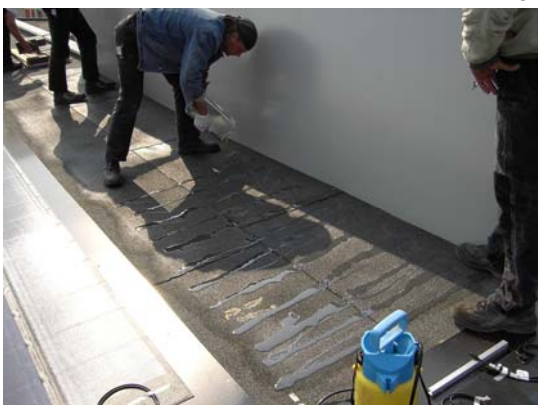
Die Photovoltaik-Anlage wurde auf dem flachen Teil eines Wohngebäudes mit „Berliner Dach“ in ca. 23 m Höhe mit einer Leistung von 7,072 kWp installiert.

Die Photovoltaik-Anlage umfasst 2 Bereiche, das Nordfeld mit einer Neigung von 5,4° gen Nord und das Westfeld mit einer Neigung von 3,3° gen West.

Das Nordfeld besteht aus 4 Strings mit je 4 BIOSOL PV-Plate 272 B Modulen der Firma BIOHAUS und einem Wechselrichter der Firma SMA Typ SB 3800, das Westfeld umfasst 2 Strings mit je 5 BIOSOL PV-Plate 272 B Modulen betrieben mit einem Wechselrichter Typ SB 2500. Die installierte Fläche der PV-Plates beträgt 165 m².

Das Ingenieurbüro Winnen legte hohen Wert auf geringe Leitungsverluste. Allein 500 m Kabel wurden auf der Gleichstromseite verlegt. Da die Wechselrichter in der zweiten Kellerebene des Gebäudes untergebracht wurden, betrug schon die Steigleitung ca. 50 m Länge.

Die Steigleitung ist in 10 mm², die Verkabelung der Strings auf dem Dach in 6 mm² ausgeführt. Für die Verbindungstechnik in 10 mm² kamen Sonderausführungen zum Einsatz, da die PV-Branche nur über Standard-Lösungen bis 6 mm² verfügt. Hier wird in nächster Zeit hoffentlich die Verbindungstechnik bzgl. Stecker, Klemmen, Zwischenverteiltern etc. für höhere Anforderungen auf der Gleichstromseite erweitert.



TRANSPORT UND HANDLING DER PV-PLATES

Die BIOSOL PV-Plates werden flach liegend zur Baustelle transportiert. Für den Transport hat die Firma BIOHAUS stapelbare mobile Stahlpaletten entwickelt, mit denen ein kompakter kostengünstiger Transport realisiert werden kann. Diese können auch v. Ort per Kran direkt auf das Gebäudedach gehoben werden.

Wir entschieden uns wegen der begrenzten Platzverhältnisse - Straßensperrungen mit Kraneinsätzen sind in Berlin ein teures Unterfangen - und unter dem Aspekt der Flexibilität für einen modifizierten Dachdeckeraufzug, mit dem die BIOSOL PV-Plates just in time auf das Gebäudedach transportiert werden konnten. Die Zwischenlagerung erfolgte ebenerdig.

Die BIOSOL PV-Plates werden mit einem Spezialkleber auf PU-Basis, der witterungsbeständig und UV-beständig ist, direkt auf die bestehende Bitumendachhaut geklebt.

Das Handling der ca. 6 m x 1,1 m großen BIOSOL PV-Plates und deren korrekte Montage bedarf etwas Geschick und entsprechende Erfahrung bzgl. Luftfeuchtigkeit, Außentemperatur etc. sowie deren Änderung im Verlauf eines Tages bei der Verarbeitung des Klebers. Windböen sind äußerst unangenehm. Ebenso muss strikt darauf geachtet werden, dass bei Aufkantung der BIOSOL PV-Plates diese nicht die Dachhaut beschädigen. Bei hohen Temperaturen ist sonst im Nu die Bitumendachhaut durchstanzt. Hier sollte auf erfahrene Ausführungsfirmen, zumindest unter fachlich erfahrener Betreuung vorgegangen werden. Für den Transport und dem Handling auf der Baustelle hat Ingenieurbüro Winnen hierfür eine spezielle Tragekonstruktion entwickelt.

ELEKTROINSTALLATION, KABELTRASSEN-KONZEPT

In allen Bereichen wurde auf eine langlebige Ausführung bis ins Detail Wert gelegt.

Da auf der ca. 240 m² großen Dach-

fläche die Kabel nicht lose herumliegen sollten, wurde hierfür eine entsprechende Lösung entwickelt und umgesetzt.

Verzinkte Kabeltrassen sind im Außenbereich auf lange Sicht wenig geeignet, Kabeltrassen in Edelstahl kostspielig und aufgrund deren Abmessungen bedingt geeignet, Kunststoffschutzrohre stellen nur eine Zwischenlösung dar.

Diese Aspekte führten zu Kabeltrassen und Kabelkanalabdeckungen in Aluminium, teils verschraubt oder genietet in Edelstahl.

Da die Kanäle möglichst kompakt sein sollten, kamen hierfür spezielle U- und L-Profile zum Einsatz, die über Befestigungsanker im Dach fixiert wurden. Diese Befestigungsanker sind von uns eigens entwickelte Befestigungsplatten, die in die Sparren geschraubt und zusätzlich geklebt wurden. Anschließend wurden diese Durchdringungspunkte in der Dachhaut zusätzlich nochmals durch ein PU-Beschichtungssystem langfristig wasserdicht verkapselt. Nur diese Aufwendungen garantieren langfristige Sicherheit und Vermeidung von Schäden durch Feuchtigkeit.

Die Verklebungstechnik der BIOSOL PV-Plates wurde ja gerade dafür entwickelt, die Gefahr späterer Schäden durch Durchdringungspunkte in der Dachhaut, wie sie durch eine Verschraubung auftreten kann, zu vermeiden und sollte durch die Befestigung der Kabeltrassen nicht unterlaufen werden.

Ein alleiniges Verkleben der Kabeltrassen stellte sich bzgl. statischer Belastungen als zu kritisch heraus. Diese wurden nur punktuell fixiert, um den Regenwasserablauf von First zur Traufe nicht zu behindern. Auch lag dem gesamten Konzept der Leitgedanke zu Grunde, die Zugänglichkeit im Falle späterer Dachsanierungen zu gewähren, wie beispielsweise bei Reparatur- oder Erneuerungsarbeiten an der Attika.

Im Hinblick auf induktive Einkopplungen durch Blitzeinschläge ist die Photovoltaik-Anlage DC- und AC-seitig mit einem Überspannungsschutz ausgeführt, bei Verlegung innerhalb des Gebäudes bei relativer Nähe zu anderen Strom führenden Leitungen dann in geschirmter Ausführung.

Eine Verlegung der Kabel unterhalb des Daches war aufgrund des ausgebauten Dachbereiches nicht möglich, weswegen nur eine Verlegung der Gleichstromkabel im Außenbereich auf dem Dach in Frage kam. Auch sollten im Hinblick auf induktive Einkopplungen kritisch die Leitungsverläufe geprüft werden, will man diese Möglichkeit in Erwägung ziehen und vor unliebsamen Überraschungen sicher sein. Die Vermeidung von Leitungsschleifen ist hierbei selbstverständlich.

ERSTE BETRIEBSERFAHRUNGEN DER ANLAGE

Ein Teil der BIOSOL PV-Plates, das gesamte Nordfeld, wurde zusätzlich mit unserem PU-Beschichtungssystem gekapselt und in RAL 7035 lichtgrau beschichtet, ein Teil des Westfeldes für Vergleichsmessungen in schwarz belassen.

Erste Messungen zeigen interessante Ergebnisse.

Die höchsten Temperaturen an der Anlage wurden am 13.6.2006 am Standort Berlin gemessen und sind nachfolgend aufgeführt.

Tabelle: Temperatur-Messungen an der PV-Anlage

Messzeitraum:	13.6.2006 von 13 ³⁰ – 15 ⁰⁰
Sonnenhöchststand:	58°04' um 13 ⁰⁷
Außentemp.:	31 °C
Bedingungen:	Sonne durchgehend, leicht diffus, blauer Himmel, keine Wolken, windstill
Temperatur Rückseite PV-Plate mit lichtgrauer Beschichtung RAL3035	
für Nordfeld:	55,3 - 56,0 °C
für Westfeld:	60,2 – 61,1 °C
Temperatur Rückseite PV-Plate mit schwarzer Beschichtung RAL9005	
für Westfeld:	70,5 – 71,3 °C
Temperatur Bitumenlagen	
für Nordfeld ⁽¹⁾ :	ca. 61 °C
für Westfeld ⁽¹⁾ :	ca. 70 °C
Temperatur Attika (verz. Blech) Westfeld:	66,7 °C
Kabelabdeckung Modul (dicht über Boden, keine Bodenfreiheit):	bis 51 °C
Kabeltrassen und Kabelkanalabdeckung (mit Bodenfreiheit):	41 – 44 °C

⁽¹⁾ die Temperaturen sind aufgrund der Messdauer nur bedingt – Erweichung des Bitumens, Temperaturen können höher liegen

Die Einstrahlungsintensität und auch demzufolge die Oberflächen-Temperatur macht sich schon bei geringen Neigungsunterschieden bemerkbar. Der Temperaturanstieg im Nordfeld mit 5,4° Neigung gen Nord ist um ca. 5 °C niedriger als im Westfeld mit 3,3° Neigung gen West. Die Temperaturerhöhung der schwarzen

BIOSOL PV-Plates im Vergleich zu den lichtgrauen PV-Plates beträgt ca. 10 °C bei gleicher Neigung.

Die Angaben der Temperatur der PV-Plates beruhen auf Messungen, die auf der Rückseite der PV-Plates, also zwischen PV-Plate und Bitumen Untergrund erfolgten. Diese sind bei Messungen repräsentativer als Messungen der reinen Oberflächentemperatur, die schon unter geringen Windeinflüssen starken Schwankungen unterliegt. In der Tendenz entspricht die Oberflächen-Temperatur der Rückseiten-Temperatur.

Die Kabelkanäle und Kabeltrassen weisen eine interessante Differenzierung auf.

Kabeltrassen, die eine leichte Umströmung ermöglichen, durch eine geringfügige Aufständigung erzielt, liegen im Temperaturbereich je nach Positionierung und Neigung zwischen 41 - 44 °C. Kabelkanalabdeckungen in den Bereichen, die keine Umströmung erlauben und dicht an der Oberfläche des PV-Moduls anliegen, weisen Temperaturen bis 51 °C auf.

An allen Tagen lagen die Umgebungstemperaturen der Wechselrichter im Keller bei 16°C, weit ab jeder kritischen Temperatur. Die Wechselrichter sind großzügig dimensioniert. Selbst bei relativ hohen Belastungen von 2.150 W für den SB 2500 und 3.250 W für den SB 3800 kann man nur eine leichte Erwärmung der Wechselrichter feststellen, Spitzenwerte liegen für das Westfeld bei 2.500 W, für das Nordfeld bei 3.800 W.

Die Photovoltaik-Anlage weist auch an trüben, sonnenarmen Tagen erstaunlich hohe Erträge auf und bestätigt in ersten Einschätzungen unsere Simulationsberechnungen der optimistischen Variante.

Die Tefzel[®]-Oberfläche der PV-Plates zeigt auch für die geringe Neigung gute Selbstreinigungseffekte der Oberfläche. Selbst Vogelkot ist nach 2 – 3 starken Regenfällen wieder abgewaschen. Der starke Blütenstaub im Mai war gleich nach dem ersten Regen weggewaschen.

Anfangs über den Blechträger des BIOSOL PV-Plate nicht so begeistert, wegen des etwas



aufwendigen Handlings, können wir uns nun keinen besseren Träger und Langfristschutz für die PV-Module vorstellen. Selbst wenn die Dachhaut durch Erwärmung weich und wabblig wird, gegen Windangriffe und Überdehnungen dann ungeschützt, gibt das Blech als Träger dem PV-Plate den notwendigen Halt. Der Wärmeausdehnungskoeffizient von Modulkern und Träger ist gleich, was unter dem Aspekt der Langzeiteinwirkungen eine optimale Sicherheit darstellt.

Die Auslegung der Leistungstoleranz der PV-Module ist äußerst kundenfreundlich und geringer als im Datenblatt des Herstellers angegeben. Unter der Berücksichtigung einer 15%igen Degradation – gemäß Herstellerangabe – liegen alle Leistungswerte der Module im Bereich – 0 bis +5% und nicht im Bereich +/-5%. Wir werden dieses weiter beobachten.

