

PV-Anlagen auf Flachdächern

bautechnische Konfrontationen

**Gutachten – Anlagenprüfungen – technische Projektbegleitung
Schulungen**

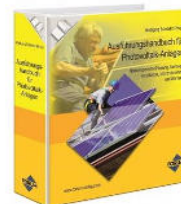
Autorentätigkeit

Publikationen in Fachzeitschriften

Herausgeber und Mitautor

„Ausführungshandbuch für Photovoltaikanlagen“
Forum Verlag

Autor „Inspektion, Prüfung und Instandhaltung von
Photovoltaikanlagen“ Fraunhofer IBR



w.schroeder@sv-photovoltaik-ws.de
www.sv-photovoltaik-ws.de
++49-9334/993388



- ❖ Motivation für den Bau von PV-Anlagen auf Flachdächer
- ❖ Normative Vorgaben
- ❖ Flachdachkonstruktionen (Dachaufbauten)
- ❖ Lebensdauer von Flachdächern
kontra Wirtschaftlichkeitsbetrachtung bei PV-Anlagen
- ❖ Einfluss PV-Anlage auf Flachdach
- ❖ statische Betrachtungen
- ❖ Systemvarianten (Montagesysteme)
- ❖ Montage
- ❖ Planungsgrundlagen
- ❖ Konstruktive Einzelheiten / Ausführungsfehler



PV-Anlagen auf Flachdächern

- einfache Montage
- Optimierung zur Ausrichtung
- einfache Inspektion und Prüfung
- einfache Installationssysteme
- günstige Systempakete
- optimales wirtschaftliches Ergebnis



Quelle: Thermovolt AG



Dächer haben den Zweck, Gebäude vor der Witterung, insbesondere Niederschlag zu schützen.

Hierbei soll das Niederschlagswasser schnell und sicher abgeleitet werden.

**Installation einer Photovoltaikanlage:
Die Dauerhaftigkeit und Funktion des Daches
muss erhalten bleiben !**

Flachdach = problembehaftete Dachkonstruktion



Normative Vorgaben

Deutschland

Flachdach u.a.

Eurocode 1 (DIN 1055) - Lastannahmen

DIN 4102 - Brandverhalten von Bauteilen und Baustoffen

DIN 4108 - Wärmeschutz im Hochbau; insbesondere Teil 10:
Anwendungsbezogene Anforderungen an Wärmedämmstoffe –
Werkmäßig hergestellte Wärmedämmstoffe

DIN 18 531 - Dachabdichtungen für nicht genutzte Dächer

DIN 18 195 – Bauwerksabdichtungen

Fachregeln des Deutschen Dachdeckerhandwerkes

Flachdachrichtlinie Ausgabe 2008 mit Ergänzungen vom Mai 2009 und
Dezember 2011

Dachbegrünungsrichtlinie (ehem. FLL-Richtlinie)

Industriebaurichtlinie (2014)



Normative Vorgaben

Österreich

Eurocode 1 – Lastannahmen

Grundregeln des Österreichischen Dachdeckerhandwerks

→ Verweis auf **ÖNORM M 7778** Montageplanung und Montage von thermischen Solarkollektoren und Photovoltaikmodulen

→ Anforderungen der

ÖNORMEN B 2220 Schwarzdeckerarbeiten - Dachdeckungs- und Dachabdichtungsarbeiten mit Bitumen- und Kunststoffdachbahnen – Werkvertragsnorm und

(B 7220 – alt) **B 3691** Planung und Ausführung von Dachabdichtungen sind einzuhalten

ÖNORM B 3663 – Kunststoffbahnen für Dachabdichtungen

IFB Richtlinie



Einteilungen und Unterscheidungen von Flachdächern

Deutschland

- Regelaufbauten
- Beanspruchungsgruppen
- Anwendungskategorie
- genutzte und nicht genutzte Flachdächer

Anwendungskategorie (Österreich) ÖNORM B 3691

Tabelle 1 — Nutzungskategorien in Abhängigkeit der Schadensfolgeklasse und Nutzungsdauer

Geplante Nutzungsdauer des Dachaufbaus (in Jahren)	Schadensfolgeklasse analog ÖNORM EN 1990/Gebäudenutzung		
	CC 1 Geringe oder vernachlässigbare wirtschaftliche, soziale oder umweltbeeinträchtigende Folgen bei Versagen der Dachabdichtung zB: Lagergebäude ohne besondere Güter, Einstellhallen, landwirtschaftlich genutzte Nebengebäude	CC 2 beträchtliche wirtschaftliche, soziale oder umweltbeeinträchtigende Folgen bei Versagen der Dachabdichtung zB: Wohn- und Bürogebäude, öffentliche Gebäude mit mittleren Versagensfolgen (zB ein Bürogebäude)	CC 3 sehr große wirtschaftliche, soziale oder umweltbeeinträchtigende Folgen bei Versagen der Dachabdichtung zB: Gebäude mit hohen Versagensfolgen (zB eine Konzerthalle, Krankenhaus, Kraftwerk, Museen) sowie Bauwerke mit lebenswichtiger Infrastrukturfunktion, wichtiger sozialer Funktion, Bauwerke mit Fassungsvermögen über 1000 Personen, Dachabdichtungen, die nur mit sehr großem Aufwand zugänglich sind
	bis 10	K1	—
	20	K2	K2
	30 ^a	K2	K3
	Bei unterschiedlicher Nutzung gilt die jeweils höherwertige Einstufung, sofern die Gebäudeteile nicht baulich getrennt sind.		

Lebensdauer von Flachdächern

- wartungs- und instandsetzungsintensivste Dachart!
- es muss wasserdicht sein.
- Vielzahl von Anschlussbereichen
- es fehlt die „harte“ (im Sinne von Festigkeit) Bedachung
- bekannte Probleme mit Kunststoffbahnen

Schlussfolgerung:

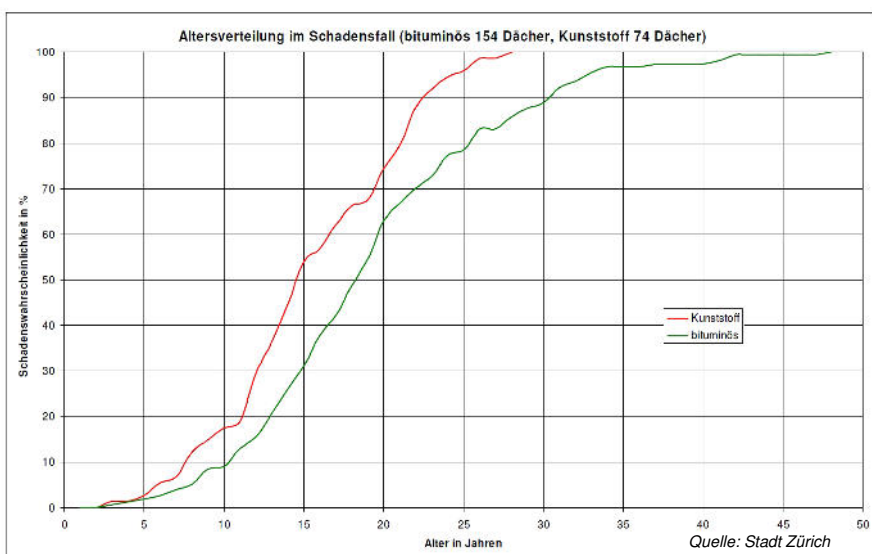
Bei einem Flachdach muss mit Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten gerechnet werden !

Lebensdauer von Flachdächern



Lebensdauer von Flachdächern

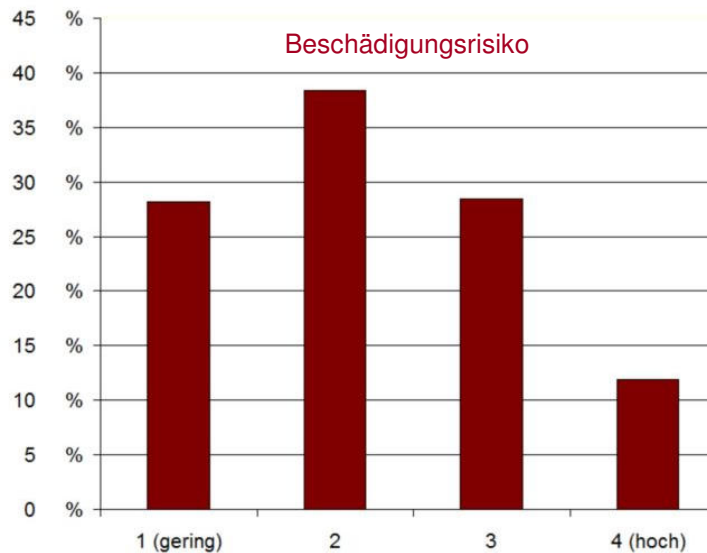
Erhebungsstudie der Stadt Zürich von 2007 an 371 Flachdächer





Risikobereitschaft von Investoren

Marktumfrage der Firma PROGEO Monitoring GmbH bei 5.000 Architekten, Ingenieure, Dachdecker und Bauämter zum Thema „Photovoltaik auf messbar dichten Flachdächern“



Wirtschaftlichkeit von PV-Anlagen

Beispiel:

400 kWp – Anlage

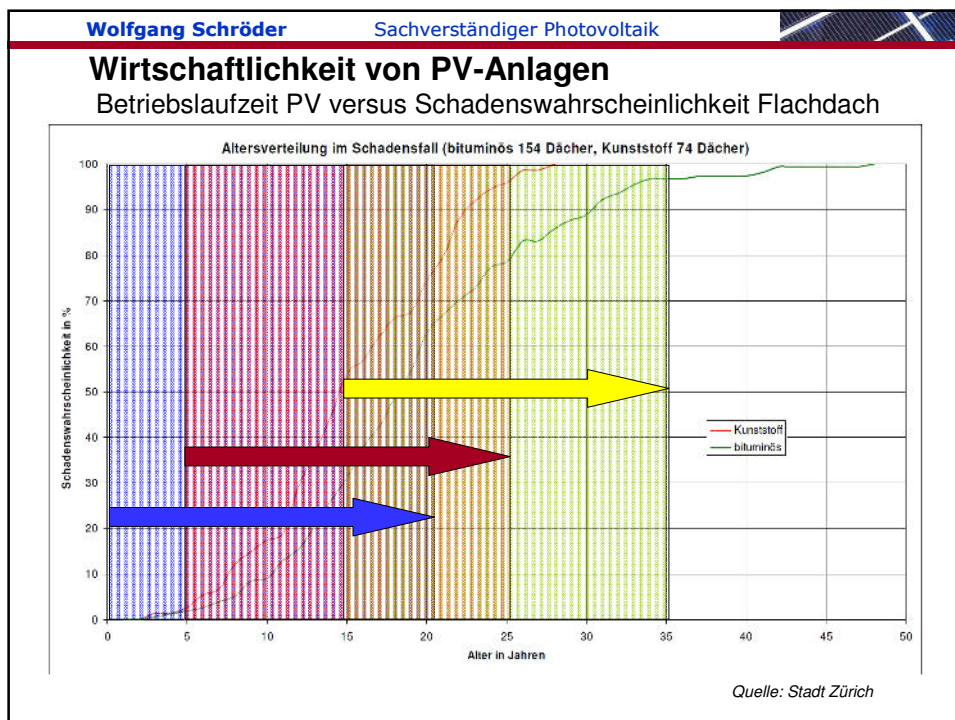
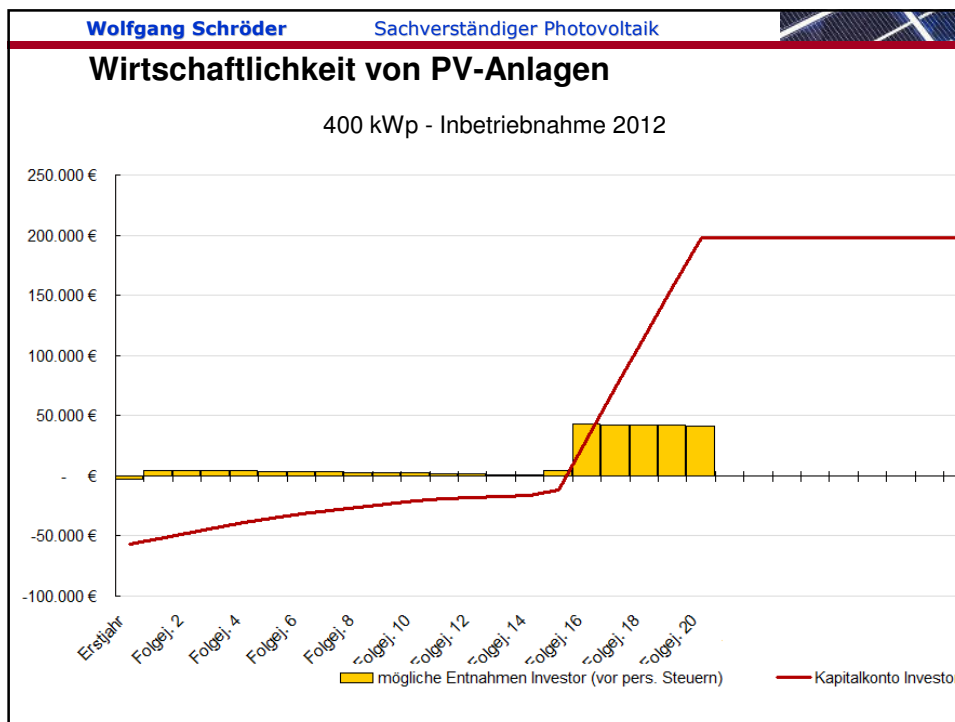
ca. 1.800 Module

ca. 3.000 m² Modulfläche

ca. 4.000 m² Dachfläche

EEG-Laufzeit 20 Jahre

Invest: 2012 ca. 500.000 €



Wirtschaftlichkeit von PV-Anlagen



Sanierungsfall 4.000 m2 Flachdach

Rückbau Abdichtung und Dämmung ca. 3,00 € bis 5,00 €

Neue Dämmung und Dachfolie ca. 35,00 € bis 50,00 €

$4.000 \text{ m}^2 \times 40,00 \text{ €} = 160.000 \text{ €}$

zzgl. Rückbau PV

Wiederaufbau PV

Ertragsausfall

Gerüste, Hebezeuge, Blitzschutz, ...

Einfluss einer PV-Anlage auf einem Flachdach

- mechanische Beanspruchung
- zusätzliche statische Lasten
- nicht genutztes Flachdach wird genutztes Flachdach
- mögliche baurechtliche Änderung
- Behinderung des Wasserabflusses
- Auswirkung auf baulichen Brandschutz

Einfluss einer PV-Anlage auf einem Flachdach



Normative Vorgaben

Abschnitt 4 der **Flachdachrichtlinie**, Absatz 9:

*"... sind Aggregate und Anlagen (...) so anzuordnen, dass ein ausreichender Abstand für Ausführung, Wartung und Pflege zwischen Anlage und Abdichtung vorhanden ist. Dabei sollte der **Mindesthöhenabstand** über Oberflächenbelag **0,50 m** betragen,,*

Absatz 11

Freie Zugänglichkeit von An- und Abschlüssen an Flachdachabdichtungen zu Wartungszwecken

Angesichts solcher Forderungen stellt sich die Frage, wie überhaupt PV-Anlagen auf einem Flachdach installiert werden können. Das "bloße" Aufstellen von Modulreihen, wie oftmals praktiziert, entspräche zumindest nicht den Richtlinien der Flachdachausführungen und somit auch nicht den allgemein anerkannten Regeln der Technik.



Sonderfall Flachdach mit Photovoltaik

weder in den DIN-Vorschriften noch in der aktuellen Flachdachrichtlinie genauer behandelt.

PV-Anlage auf einem Flachdach = **besondere Nutzung**

= genutztes Flachdach

Fachregel Abdichtung des Deutschen Dachdeckerhandwerkes derzeit in Überarbeitung – Neuherausgabe ca. Ende 2015

→ dann auch genauerer Bezug bei PV-Anlagen auf Flachdächern



Lasteinleitung bei genutzten Flachdächern

Problematisch:
zu geringe lasteintragende Flächen und Punktlasten!

Statischer Nachweis der Druckbelastung erforderlich !

Bei ungünstigen Lasteinleitungen ergeben sich unzulässige Spannungen für die Abdichtung sowie unzulässige Kräfte, bei denen die Wärmedämmung versagen kann.

Statik**Ein oftmals unterschätzter Faktor**

Quelle: DGS

**Statik**

Statischer Nachweis:

→ Kippen

→ Gleiten

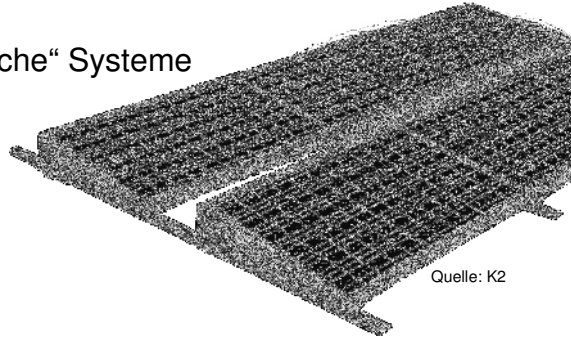
→ Abheben

Lastkombinationen

LK 1: $1,35 \times g + 1,5 \times s + 0,6 \times 1,5 \times w$ LK 2: $1,35 \times g + 0,5 \times 1,5 \times s + 1,5 \times w$ LK 1: $0,9 \times g + 1,5 \times w$ (Lagesicherung)LK 1a: $1,00 \times g + 2,3 \times s$

Statik

Trend: „Aerodynamische“ Systeme



Quelle: K2

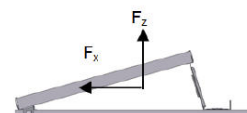
Nordwind



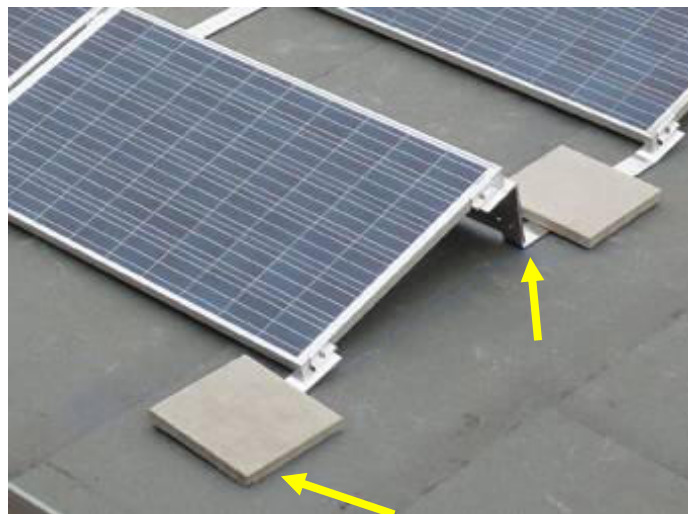
Südwind



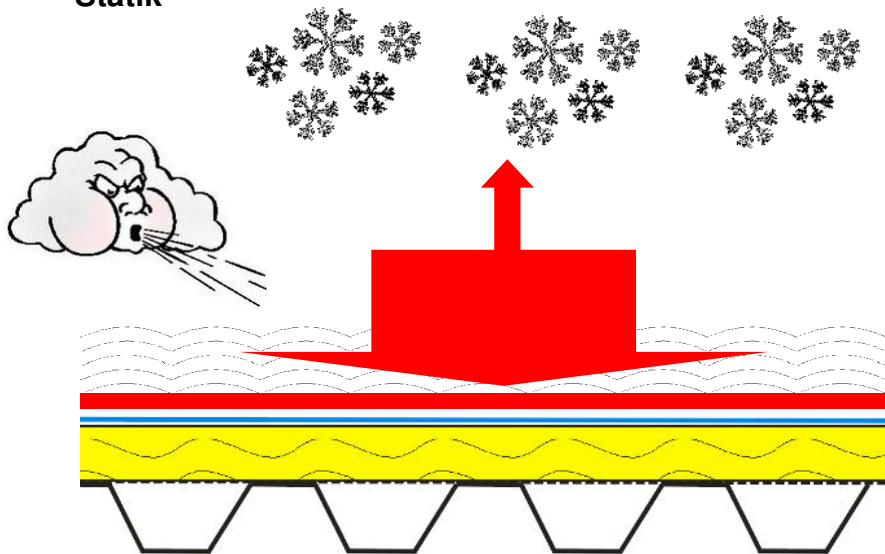
Abheben und Gleiten

**Statik**

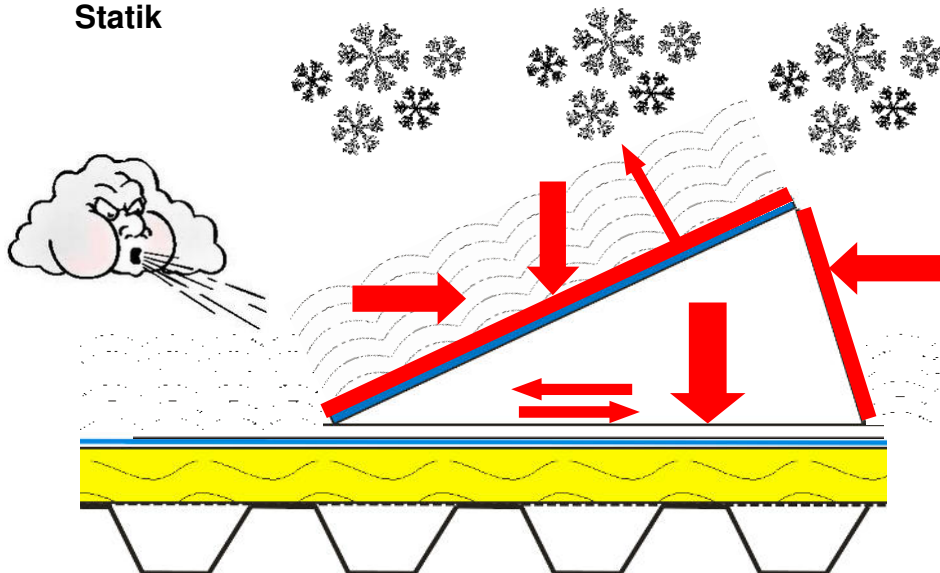
Trend: „Zeit = Geld“



Statik

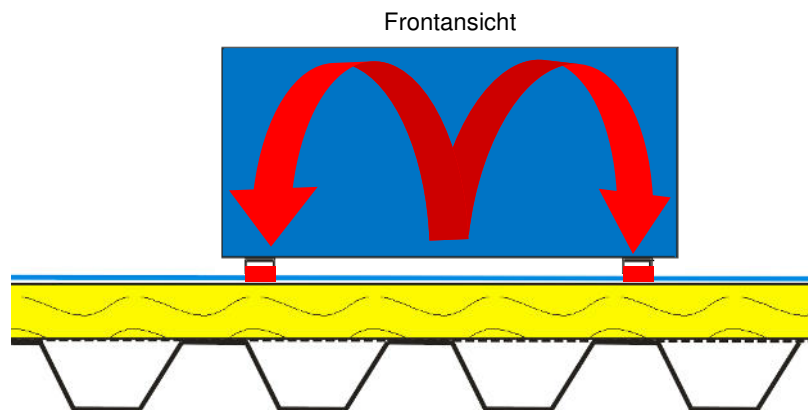


Statik



Statik

zentrierte Lasteinleitung zu den Auflagerpunkten
(z.B. schmale Schiene, Punktlast)



Statik

Beispielrechnung Flächenlast - Verteilung

Systemgewicht:	15 kg/m ²
<u>Schneelast:</u>	<u>50 kg/m²</u>
Gesamtbelastung:	65 kg/m ²



Statik

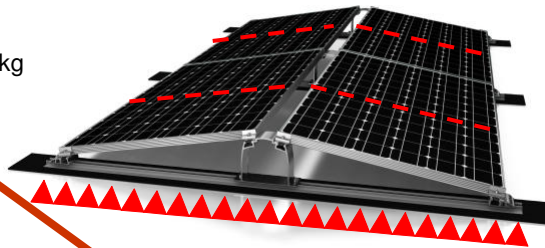
Beispielrechnung Flächenlast - Verteilung

2 Module á 1,65 x 0,99 = rd. 3,20 m²

Lasteinflussgröße:
3,20 m² x 65 kg/m² = 208 kg

Schienenabmessung:
2,00 x 0,10 = 0,2 m²

Linienbelastung:
208 kg / 0,2 m² = 1.040 kg/m²



Faktor 16!

Statik

TECHNISCHE DETAILS:-

- > Aufstellwinkel: 15°
- > Ausrichtung: Süden
- > Flächenlast ca. 10 Kg/m² belegte Dachfläche
- > Bautenschutzmatte inkl. Weichmachersperre (Folienfreigaben auf Anfrage)
- > Keine Mindestanlagengrößen
- > Randabstände: Dachbereiche F und G können belegt werden (Softwaretool verwenden)
- > zertifiziert nach UL 2703
- > Für gerahmte Module (Breite x Länge): 770 - 840 mm x 1570 - 1615 mm | 950 - 1020 mm x 1630 - 1675 mm
- > Anpressdruck auf Dachhaut bei Schneelast von 180 Kg/m² beträgt 0,15 N/mm²
- > Zulässige Dachneigung 4 Grad
- > Gebäudehöhe max. 25 m
- > geeignet bis Windlastzone 4
- > Schneelast, Aerocompact S Alpin bis 5,4 kN/m², Aerocompact S Standard bis 2,4 kN/m²
- > Statische Tragfähigkeit des Daches und der Dachhaut ist bauseits zu gewährleisten.

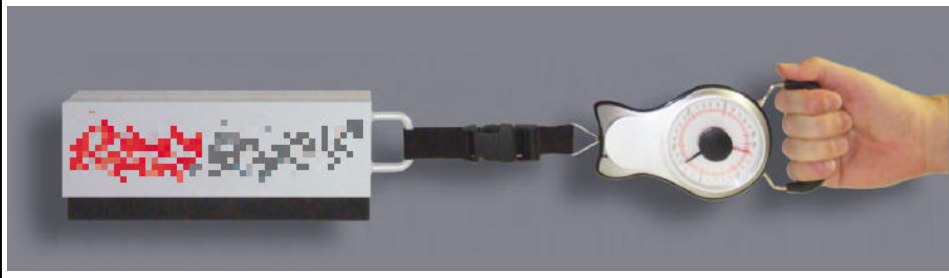
= 150 kN/m²
= 15.000 kg/m²

Statik

Optimierung von Material und Gewicht (Ballastierung)

- Ermittlung des Rauigkeitsbeiwertes der Dachoberfläche

Reibungsmesser

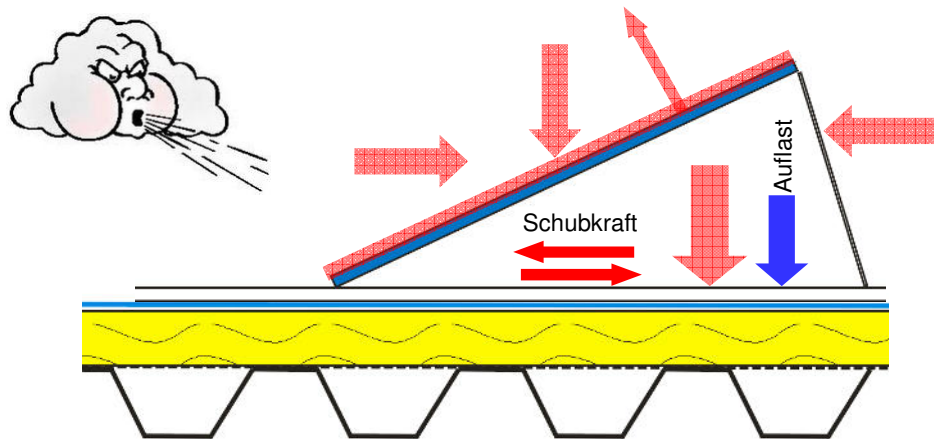


Statik

Gebrauchsanweisung:

Für eine genaue Windlastermittlung ist die Ermittlung der Reibungsbeiwerte auf dem Projektdach sehr zu empfehlen. Dies führt in aller Regel zu deutlich geringerer Ballastierung als mit den Standardbeiwerten. Bitte erstellen Sie ein separates Messprotokoll für jede separate Dachfläche und vermerken oben rechts den jeweiligen Gebäudeabschnitt.

1. Messen Sie, wie im rechten Bild dargestellt das Eigengewicht des Prüfkörpers und tragen den Wert unten links ein.
2. Setzen Sie den Prüfkörper wie im oberen Bild dargestellt mit dem Fuß auf die zu messende Dachfläche und ziehen absolut waagrecht am Griff der Waage, bis der Prüfkörper über das Dach gleitet (bei Schrägdächern quer zur Dachneigung - also auch waagrecht! Der Neigungsfaktor wird separat in unserem Berechnungstool berücksichtigt). Der schwarze Schleppzeiger zeigt nun den gemessenen Wert an. Tragen Sie diesen hinter der jeweiligen Nummerierung in die Tabelle auf der Rückseite ein. Skizzieren Sie anschließend die Messpunkte mit Nr. in der Dachzeichnung unter der Tabelle.
3. Drehen Sie vor jedem weiteren Messvorgang den Schleppzeiger unbedingt wieder auf 0! Nun wiederholen Sie den Vorgang für alle gewählten Messpunkte. Bei gleich bleibenden Messergebnissen reichen 10 Messpunkte aus. Bei größeren Unterschieden sollten mindestens 10 Messpunkte pro 1000qm gewählt werden.

Statik**Statik**

Probleme:

- richtige Handhabung des Messgerätes
- Bewertung der Dachoberfläche (Nässe, Verschmutzung, Abwitterung)

Dachfolien oder Dachbahnen können nur bedingt Schubkräfte aufnehmen !

Mit der Ermittlung von günstigeren Reibungsbeiwerten erfolgt eine kritische horizontale Lastabtragung auf die Dachhaut!



Statik



Systemwahl

Abhängig

- Dachkonstruktion
- Lastreserven
- Dachausrichtung



Systemwahl

Ballastierte Systeme

genügend Lastreserven
Druckfestigkeit Dämmung
geeignete Schutzunterlage



Systemwahl

Ballastierte Systeme

Schwachpunkte:

Einleitung zusätzlich drückender Lasten in die Dachhaut:

- Eigengewicht
- Ballastierungsgewicht
- drückende Windlasten
- Schneelasten

Lasten werden durch das Modulfeld gesammelt und konzentriert wieder in die Dachhaut über eine zumeist linienförmigen Standflächen eingeleitet

- Verdichtung der Dämmschicht
- Einfluss auf Dichtungsschicht



Systemwahl

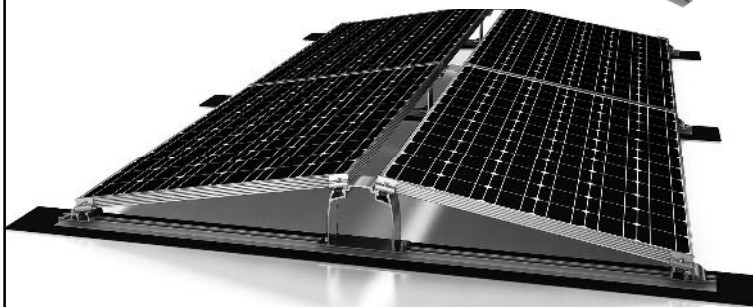
Ballastierte Systeme



Systemwahl

„Leichtbausysteme“

Aerodynamische Systeme



Quelle: K2

Systemwahl

„Leichtbausysteme“

Zahlreiche Werbeversprechen:

- geringe Auflast
- schnelle Montage
- „Spoilereffekt“
- Windkanalgetestet

Die Werbung mit erfolgreichen Windkanalversuchen sollte jedoch für den geplanten individuellen Standort einer Anlage mit so einem System hinterfragt werden.

Das Ergebnis eines Windkanalversuches mit einem einzelnen Element kann erheblich von dem eines Miniaturmodells mit seinen charakteristischen Konstruktionen eines Gebäudes (Attika, Höhenversprünge, etc.) abweichen.





Systemwahl

„Leichtbausysteme“



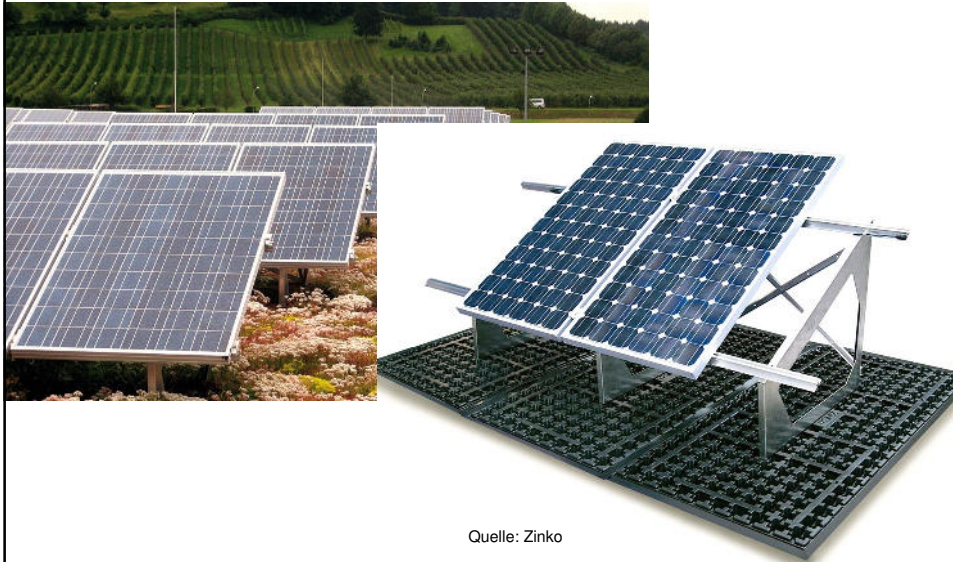
Systemwahl

Folienmodule



Systemwahl

Begrünte Flachdächer



Systemwahl

Besonderheiten bekieste Flachdächer

Dachbekiesung

- Schutz der Abdichtung vor UV-Strahlung und Verwitterung
- Auflast bei lose verlegter Abdichtung gegen Windsog.

Häufige Fehler:

- Kies wird ersatzlos abgeräumt
- keine Schutzmaßnahmen beim Abräumen
- Verwendung des bei der Standfläche abgeräumten Kies zur Beschwerung in der zur Verfügung stehenden Menge ohne rechnerischen Nachweis



Systemwahl

Dachdurchdringungen

Die optimale Lösung – aber kostenintensiv

Systemwahl

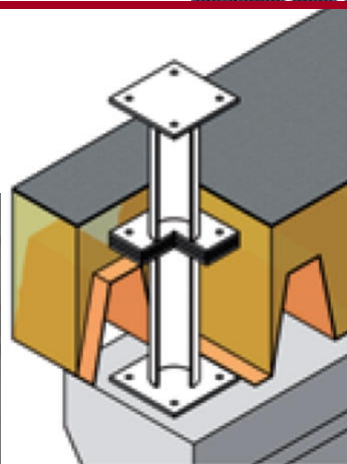
Dachdurchdringungen

aber nicht so !



Systemwahl

Dachdurchdringungen



Quelle: Schletter



Systemwahl

Dachdurchdringungen

Vorteile:

1. Dichtungsfolie und Dämmung bleiben lastfrei
2. ausreichenden Abstand zwischen Oberseite Abdichtung und Unterseite Modultisch
3. Gewährleistet freie Zugänglichkeit zur Abdichtung für Wartung und Instandsetzung
4. ohne Rückbau PV-Anlage
5. erfüllt Anforderung an Flachdachrichtlinie
6. Module stehen frei und sind somit vollständig hinterlüftet



Systemwahl

Dachdurchdringungen

Nachteile:

1. relativ „starres“ System bezüglich Ausrichtung der Module
2. bestehende Dachaufbauten (RWA, Kamine, Oberlichter) nehmen hohen Einfluss auf Moduleinteilung
3. Tragsystem des Daches muss Punktlasten aufnehmen können
4. kostenintensiv



Systemwahl

Klebeverbindungen

Höchst problematisch !

**Kein geregeltes Bauprodukt gem. Bauregelliste
→ Keine bauaufsichtliche Zulassung!**

Dachfolien können nur bedingt Schubkräfte aufnehmen !



Systemwahl



Montage

Zusätzliche Belastung durch Frequentierung und Materiallagerung

Permanent genutzte Laufwege, insbesondere an Zugangswegen zum Dach, verursachen dauerhafte Eindrücke in der Dämmung und damit auch eine Überdehnung der Dichtungsbahnen in diesem Bereich (Folge: erhöhter mechanischer Abrieb, Pfützenbildung)

Scharfe Metallkanten oder Ecken von Unterbaugestängen sowie eingetretene **Bohrspäne** verletzen leicht die Dachhaut. Undichtigkeiten hierdurch treten aber nicht selten erst nach Wochen zu Tage

Auf dem Dach **abgestellte Lasten**, z.B. Paletten mit Modulen oder gebündeltes Montagematerial kann die Dachhaut und die Dachkonstruktion selbst (z. B. die Tragschale) überbelasten

Auch auf der Dachhaut ausgetretene **Zigaretten** führen zu Schäden (man sollte es nicht glauben, aber alles schon passiert)

Montage



Dachleckage?



Quelle: F.EE GmbH



Planerische Voraussetzungen



Planerische Voraussetzungen

Umfangreiche und vollständige Bestandserhebung

- Statik
 - Dachaufbau
 - Unterkonstruktion
 - Dämmung
- Dachabdichtung
 - Alter
 - Zustand
 - Verschleiß
- Einbauteile (Zugang)
- zu erwartende Restlebensdauer
- Auswirkung der PV-Anlage auf die Dachhaut
- konstruktive Details

Planerische Voraussetzungen

Blitzschutzanlagen



Planerische Voraussetzungen

Baulicher Brandschutz - Brandwände



Planerische Voraussetzungen

Baulicher Brandschutz – Zugänge – stationäre Löscheinrichtungen



Planerische Voraussetzungen

Baulicher Brandschutz – Zugänge – Rettungswege



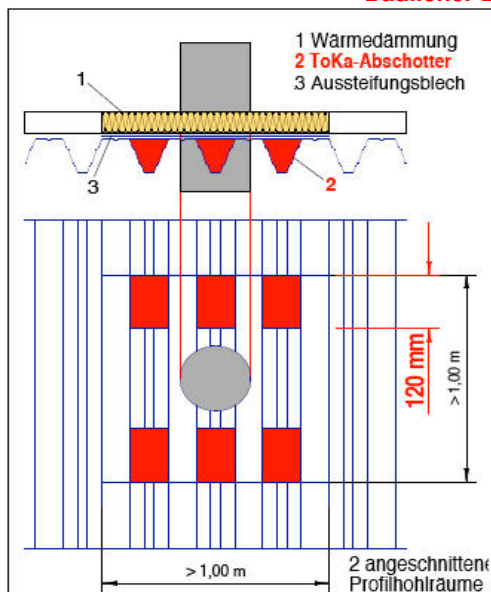
Planerische Voraussetzungen

Baulicher Brandschutz – Dachdurchdringungen

- Industriebaurichtlinie
- DIN 18234: Baulicher Brandschutz großflächiger Dächer.
- IFBS: Brandschutz: Baulicher Brandschutz bei großflächigen Dächern

Planerische Voraussetzungen

Baulicher Brandschutz – Dachdurchdringungen



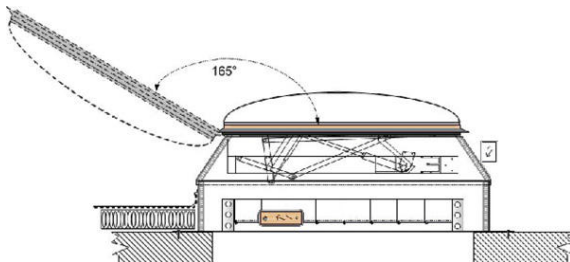
Planerische Voraussetzungen

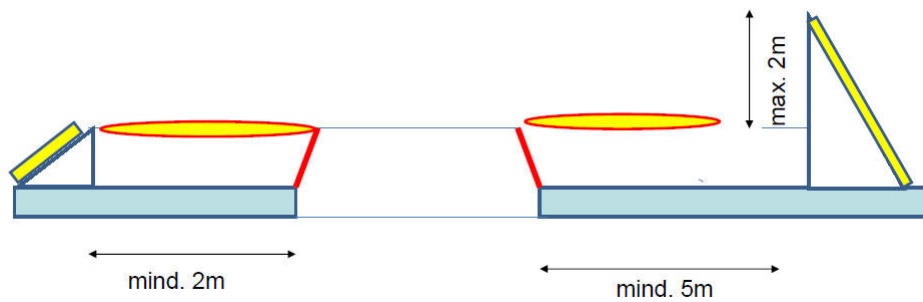
Baulicher Brandschutz – Dachdurchdringungen



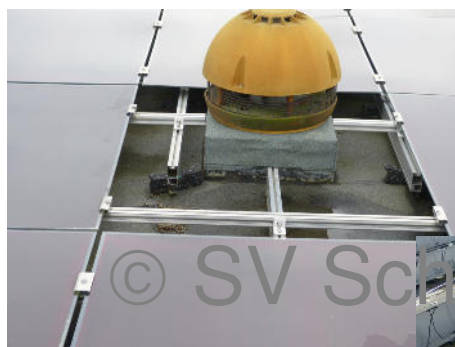
Planerische Voraussetzungen

Baulicher Brandschutz – Entrauchungsanlagen



Planerische Voraussetzungen**Baulicher Brandschutz – Entrauchungsanlagen**

Fachverband Tageslicht und Rauchschutz e.V.

Planerische**Voraussetzungen****Sonstige Aggregate**

Planerische Voraussetzungen

Absturzsicherungen



Planerische Voraussetzungen

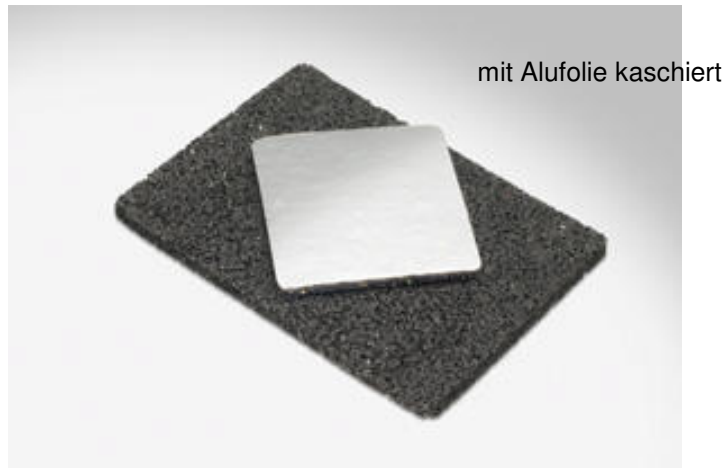
Emissionen

Quelle: Google Earth



Konstruktive Details

Bautenschutzmatten
(Weichmacherentzug bei Foliendächern)



Konstruktive Details

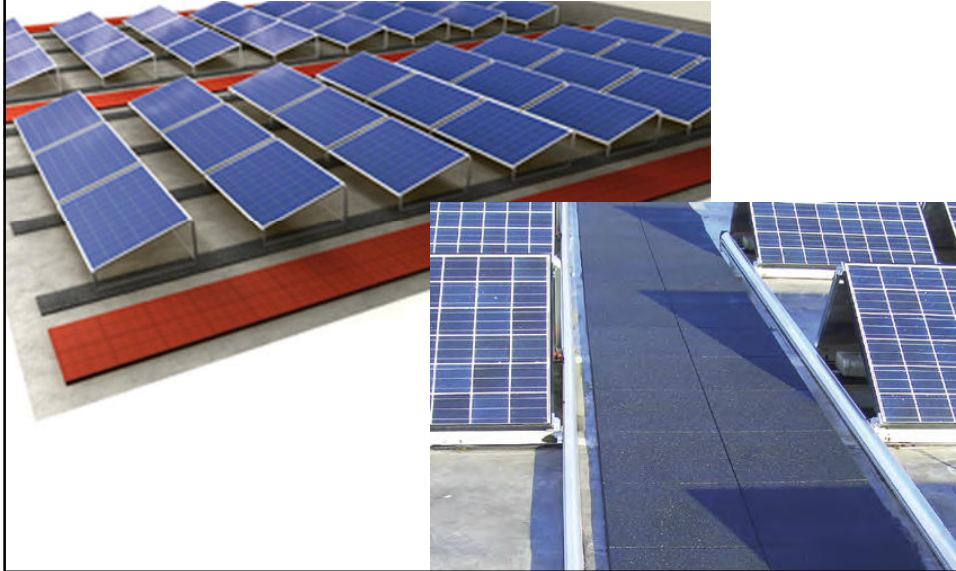
PV-Anlagen müssen regelmäßig gewartet werden

- Sichtkontrolle bei großen Anlagen monatlich
- ab- und zu Systemausfälle (Wechselrichter)
- jährliche Prüfung
- Reinigung?
- ...

= höhere Frequentierung des Flachdaches !

Konstruktive Details

Wartungsgänge mit Schutzmatte



Resume

Photovoltaik und Flachdach = viele Widersprüche

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Photovoltaik = mind. 20 Jahre + X
Lebensdauer Flachdach = ?

Volle Dachnutzung mit kostengünstigen Montagesystemen
Freier Wartungszugang zur Dachabdichtung?

Zusätzliche Beanspruchung durch zentrierte Lasteinleitung und
Lastverteilung

Nicht genutztes Flachdach wird zum genutzten Flachdach?

Nicht nur auf den Ertrag abstellen, sondern auch auf die
einschlägigen Vorschriften der betroffenen Fachgewerke



Photovoltaik und Flachdach

→ nur mit durchdachter Planung

**Konfrontationen vermeiden
anstatt Schäden beheben!**