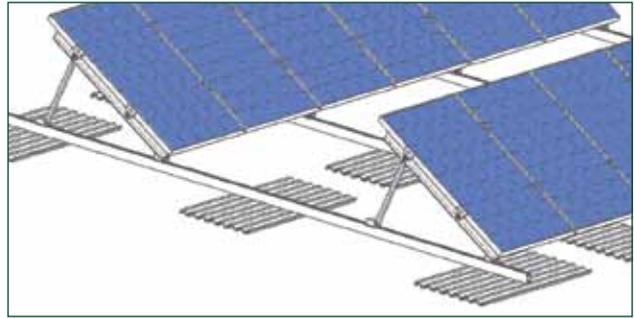


# Flachdachmontage

## Allgemeine Hinweise



Mit zunehmender Verbreitung der Photovoltaik gewinnen neben elektrischen Größen, Lebensdauer, Garantiezeiten usw. auch die Montagedetails immer mehr an Bedeutung. Wurden in der Anfangsphase die Module meist in kleiner Anzahl auf Dächer verbaut, gibt es inzwischen zahlreiche Montagevarianten für alle möglichen Dacharten und Aufstellungsformen bis hin zu großflächigen Industriedächern oder Freiflächenaufständern. Mit der zunehmenden Zahl von Anlagen versuchen auch Versicherungen aufgrund einer gewissen statistischen Häufung von Schadensfällen immer mehr, Einfluss auf Qualitätsstandards der Anlagen zu nehmen.

Den Flachdachmontagen, insbesondere Beschwerungslösungen kommt bei der Beurteilung von Schadensrisiken eine besondere Bedeutung zu. Während bei Montagefehlern auf Schrägdächern im Einzelfall Dachundichtigkeiten, Modulschäden oder Ertragsausfälle ein begrenztes Schadensrisiko darstellen, können bei unzureichenden Beschwerungen am Flachdach durchaus Gefahren für Dritte entstehen; bei Überlastung des Daches durch zu große Beschwerungslasten wiederum ist sogar das Risiko einer Dachüberlastung bis hin zum Einsturz zu berücksichtigen.

Die folgenden Hinweise sollen helfen, all diese Risiken für den Planer oder Installateur zu begrenzen und eine sichere und professionelle Projektierung ermöglichen.

### 1 Beschweren oder Befestigen Allgemeine Hinweise für Flachdachmontagen

In vielen Fällen werden gerade bei Flachdachanlagen in der Angebotsphase die betroffenen Dächer technisch wenig betrachtet. Pauschale kW-Angebote beinhalten oft eine Standard-Beschwerungslösung ohne vorherige Klärung, ob die Höhe der Beschwerungslasten realistisch ist und ob der Gebäudebestand überhaupt mit einer zusätzlichen Auflast durch das Gewicht der Module und der Tragkonstruktion, geschweige denn mit zusätzlichen Beschwerungslasten beaufschlagt werden kann. Es wird oft wenig berücksichtigt, dass Beschwerungsgewichte die Gesamtlast je nach Konstruktion um ein Vielfaches erhöhen und damit auf vielen vorhandenen Dächern kaum realisierbar sind.

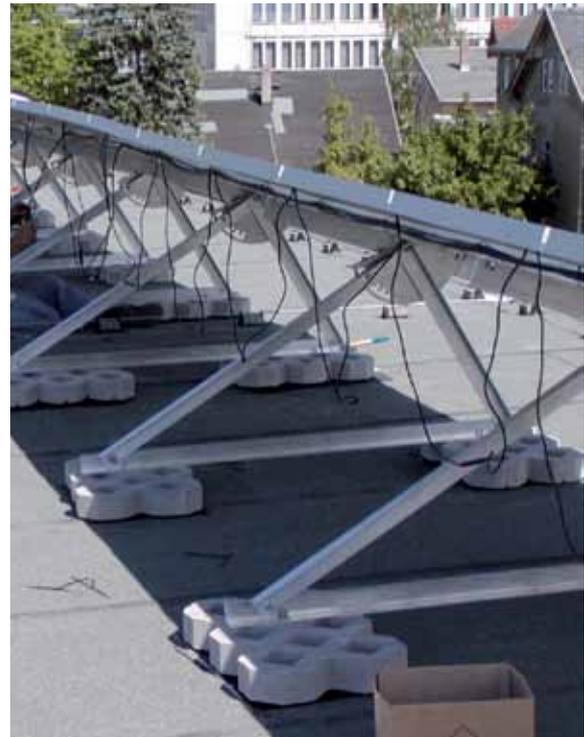
Für eine professionelle Angebotserstellung ist definitiv als erste und meist bessere Variante eine Befestigung der PV-Anlage an der Dachkonstruktion zu prüfen. Vorbehalte von Kunden gegen Durchdringungen der Dachhaut sind durch immer professionellere Montagedetails mit zuverlässigen Dichtlösungen nicht angebracht. Vielmehr sollte der Planer auch dem Kunden das sehr viel größere Risiko fehlerhaft projektierte Beschwerungslösungen darlegen bzw. die wirklich erforderlichen Beschwerungslasten vorlegen.

Stellt sich tatsächlich die Beschwerungslösung als die für das Objekt technisch bessere Variante heraus, so ist unbedingt eine rechnerische Bemessung der Beschwerungslast unter Berücksichtigung der geltenden Normen und aller individuellen Parameter notwendig. Gegebenenfalls ist durch eine Optimierung der mechanischen Konstruktionsdetails auch eine Minimierung der notwendigen Beschwerungslast möglich.

Eine Mischung von Beschwerungslösungen und Befestigungslösungen ist i.a. nicht zu empfehlen. Sie erfordert wegen der elastischen Verformungen im System eine aufwändige individuelle statische Berechnung im Einzelfall.



Beispielbild: Durch Kippen beschädigte Modulreihen auf einem Flachdach (unzureichende Beschwerung)  
Quelle: Fachpresse



Beispielbild: Montage einer Flachdachkonstruktion mit vollkommen unzureichender Beschwerung  
Quelle: Schletter GmbH

## 2 Technische Grenzen von Beschwerungslösungen Risikopotential für den Planer und Installateur

Während bei Montagefehlern auf Schrägdächern im Einzelfall Dachundichtigkeiten, Modulschäden oder Ertragsausfälle ein begrenztes Schadensrisiko darstellen, können bei **unzureichenden Beschwerungen** am Flachdach durchaus Gefahren für Dritte entstehen. Bei Überlastung des Daches **durch zu große Beschwerungslasten** wiederum ist sogar das Risiko einer Dachüberlastung bis hin zum Einsturz zu berücksichtigen. Fehlerhafte Auslegungen von Beschwerungslasten können also im Schadensfall durchaus mit einer potentiellen „Gefahr für Leib und Leben“ für Unbeteiligte verbunden sein. Eine Deckung solcher potentieller Schäden ist zwar im Allgemeinen durch Haftpflichtversicherungen gegeben; dies gilt aber nur solange keine grobe Fahrlässigkeit vorliegt. Eine Bestückung eines Flachdaches mit Betongewichten ohne jegliche Prüfung der statischen Belastbarkeit der Halle kann u.U. durchaus als Fahrlässigkeit ausgelegt werden.

Der Installateur hat also als Fachbetrieb die Beschwerung so nach allen Parametern (Dachhöhe, Windzone, Geländekategorie, Modulgröße usw.) zu dimensionieren, dass ein Abheben, Gleiten und Kippen absolut auszuschließen ist. Gerade die in den letzten Jahren zunehmenden Extremwetterlagen durch beginnende Klimaveränderung zeigen uns auch die hohe Priorität einer technisch sauberen und sicheren Projektierung.

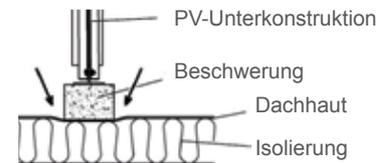
Die hier zusammengestellten Informationen sollen Möglichkeiten einer professionellen Projektierung aufzeigen.

## 2.1 Zulässige Punktlasten

Die zulässige Druckbelastung der vorhandenen Dachisolierung in Verbindung mit der darauf verlegten Dichtbahn begrenzt im Allgemeinen die maximal zulässige Punktlast (i.a. in kg/m<sup>2</sup> oder kN/m<sup>2</sup>). Bei der konstruktiven Dimensionierung der Beschwerungsgewichte ist darauf zu achten, dass diese maximale Punktlast nicht überschritten wird.

Mögliche Gefahren bei Überschreitung sind

- Nachgeben der Isolierung
- Einsinken der Beschwerung
- Überdehnung der Dachhaut
- Versprödung der Dachhaut
- Undichtigkeit



Durch geeignete flächige Verteilung kann die Punktbelastung begrenzt werden.

## 2.2 Zulässige Flächenlasten

Die zulässige Flächenlast (i.a. in kg/m<sup>2</sup> oder kN/m<sup>2</sup>) bezieht sich im Allgemeinen auf die gesamte Dachfläche oder auf Teile der Dachfläche. Vorgegeben wird die maximale Flächenlast durch die Tragfähigkeit der Konstruktion. Zu berücksichtigen ist dabei, dass neben dem Gewicht der Module, der Unterkonstruktion und der möglichen Beschwerungsgewichte auch die örtliche Norm-Schneelast zusätzlich aufgenommen werden muss.

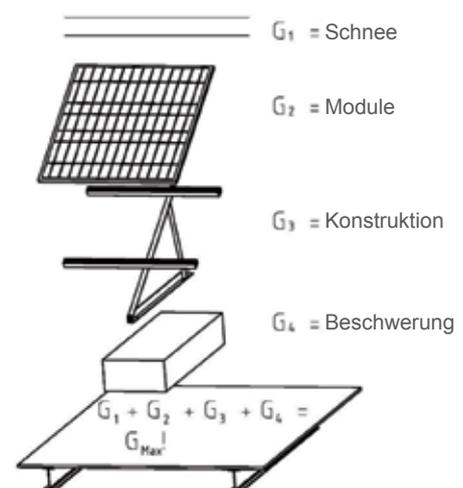
Der Installateur hat also anhand der vorhandenen Gebäudestatik genau zu prüfen, ob das zusätzliche Gewicht einer PV-Anlage und insbesondere einer Beschwerung von der Dachkonstruktion auch tatsächlich aufgenommen werden kann. Gerade nach den ersten Ereignissen des Winters 2005/2006 ist die Bedeutung dieser Dimensionierungsrichtlinien sicher jedem klar. Es ist zu berücksichtigen, dass nach den Vorgaben der neuen DIN 1055 oft sehr hohe Beschwerungen erforderlich werden, um eine Anlage ordnungsgemäß beschweren zu können.

Mögliche Gefahren bei Überschreitung der zul. Flächenlast sind

- Partielles Nachgeben der Dachkonstruktion
- Komplettes Nachgeben der Dachkonstruktion
- Gebäudeeinsturz
- Personenschäden

Möglichkeiten zur Begrenzung der Flächenlast

- Ausdünnung der Belegung
- Gezielte Anordnung der Modulreihen über Dachträgern
- Optimierung der Konstruktion



### 2.3 Bestandsschutz bei der Normumstellung

Ein weiterer wichtiger Punkt ist nach Änderung der DIN1055 der Bestandsschutz für Gebäude, die vor Bekanntwerden des neuen Normenwerks geplant wurden. Ein Standort im Süden Deutschlands kann z.B. statt bisher 1,2kN/m<sup>2</sup> Schneelast (entspricht ca. 120kg/m<sup>2</sup>) nach neuer Norm 1,6kN aufweisen. Eine vor der Normänderung gebaute Halle mit einer Belastbarkeit von z.B. 1,4kN hat weiterhin Bestandsschutz und muss nicht definitiv nachgerüstet werden.

Baut aber ein Fachbetrieb auf ein Dach mit Bestandsschutz eine PV-Anlage, so gelten für die Statikprüfung die neuen Belastungsrichtlinien, der Bestandsschutz erlischt mit der Montage zusätzlicher Einrichtungen bzw. mit den baulichen Veränderungen. Die gesamte Bemessung muss dann nach den neuen Normen erfolgen.

## 3 Dimensionierungskriterien für Beschwerungslösungen

### 3.1 Maßgebliche Normen

- DIN 1055 Lastannahmen an Bauten, Teil 4: Windlasten, Ausgabe 03/2005
- DIN 1055 Lastannahmen an Bauten, Teil 5: Schnee- und Eislasten, Ausgabe 06/2005
- DIN 1055-100 Einwirkungen auf Tragwerke, Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln, Ausgabe 03/2001
- Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke, Ausgabe 06/2002

### 3.2 Sonderwindlasten

Gemäß den oben angegebenen Normen können bei Projekten in speziellen Geländeformen keine Projektierungen nach Standardparametern erfolgen. Dies gilt insbesondere auch für Beschwerungslasten.

Liegen solche speziellen Geländeformen vor (z.B. Gebäude auf Anhöhen usw.), so hat eine gesonderte individuelle statische Berechnung zu erfolgen.

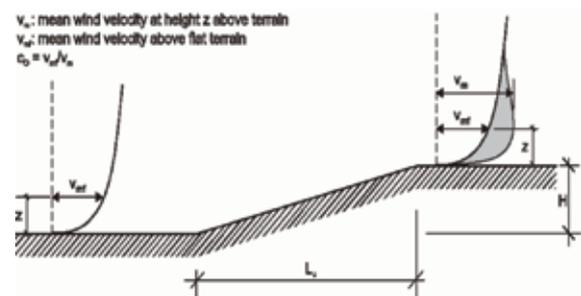


Figure A.1 — Illustration of increase of wind velocities over orography

### 3.3 Parameter zur Beschwerungsberechnung

Die notwendigen Parameter für eine Beschwerungsberechnung setzen sich zusammen aus den Konstruktionsdetails der vorgesehenen Modulaufständigung (Stützegeometrie, Trägerkonfiguration, Neigungswinkel, Modulordnung, zusätzliche Maßnahmen zur Windabweisung, Stützenabstand usw.) und den Geodätischen Details des vorgesehenen Standortes:

- Windzone gem. DIN 1055
- Geländekategorie gem. DIN 1055
- Höhe über NN
- Firsthöhe über Geländeoberkante
- ggfs. Attikahöhe
- gfs. exponierte Lage

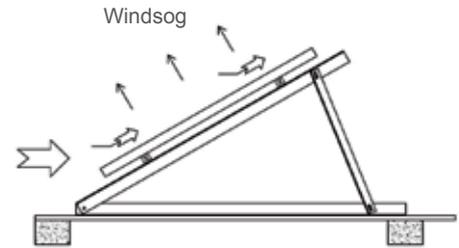
Die geodätischen Details müssen für eine Berechnung angegeben werden (sh. auch geodätische Checkliste, Schletter GmbH).

### 3.4 Lastermittlung

Eine Ermittlung der Windzone kann gemäß der Norm nur über die zugehörige Windzonenkarte erfolgen. Da dies jedoch recht ungenau und mit der nach Norm zur Verfügung stehenden Auflösung fast unmöglich ist, stellt die Schletter GmbH einen **Internet-service zur postleitzahlenbezogenen Lastermittlung (Windlasten, Schneelasten)** zur Verfügung.

### 3.5 Dimensionierung der Beschwerungslast Lastfall 1 - Windsog

Die Auslegung einer Beschwerungslast gegen Abheben durch Windsog stellt eine Minimalanforderung dar. Trifft eine Luftströmung mit der jeweils anzunehmenden Windgeschwindigkeit auf eine schräge Fläche, so tritt durch die unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeit auf der Ober- und Unterseite ein dynamischer Druckunterschied. Die Kraft, die der Druckunterschied auf der Fläche erzeugt, muss durch Beschwerung kompensiert werden, damit die Anordnung nicht abhebt.



Die Dimensionierung der Beschwerung gegen Abheben war über einen langen Zeitraum das einzige Kriterium für die Auswahl der Beschwerungslasten. Dies wurde teilweise auch durch Prüfinstitute so toleriert, da sich bei dieser Auslegung bereits recht hohe Lasten ergeben. Statik-Tabellen von Montagesystemherstellern geben auch meist diese Minimalanforderung an; für optimierte Konstruktionen kann so eine Tabelle auch ohne weiteres ausreichend sein.

In jedem Fall kann eine solche Tabelle zur groben **Klärung der Minimallasten verwendet werden**. Der Installateur kann mit Hilfe dieser Tabelle ohne eine weitere aufwändige Berechnung klären, ob das Flachdach für diese minimale Belastbarkeit geeignet ist, ob eine weitere Verfolgung einer Beschwerungslösung sinnvoll sein kann, oder ob generell Alternativlösungen gewählt werden müssen.

**Anwendungstabelle die erforderlichen Auflastungen gegen Abheben infolge Windsogwirkung**

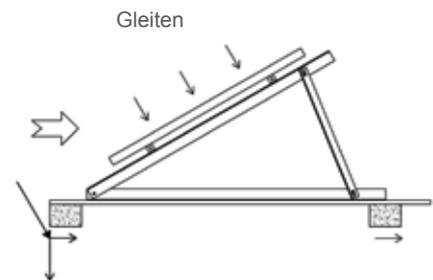
Auflasten	Modulhöhe	Neigung	Windzone 1: h ≤ 10 m (q = 0,60 kN/m²)												Windzone 2: 10 < h ≤ 18 m (q = 0,80 kN/m²)												Windzone 3: 18 < h ≤ 25 m (q = 1,10 kN/m²)											
			Achsenabstand der Stützstrahlen [m]				Achsenabstand der Stützstrahlen [m]				Achsenabstand der Stützstrahlen [m]				Achsenabstand der Stützstrahlen [m]				Achsenabstand der Stützstrahlen [m]				Achsenabstand der Stützstrahlen [m]															
			0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50				
0,75	20	43	57	72	86	100	115	129	143	54	72	90	106	125	144	162	180	76	102	127	153	178	204	229	254	98	131	164	197	230	263	296	329					
	30	52	69	87	104	121	139	156	173	65	87	108	130	152	174	195	217	89	117	145	173	201	229	257	285	112	148	184	220	256	292	328	364					
	40	45	60	76	91	106	121	136	151	57	76	95	114	133	152	171	190	78	104	129	154	179	204	229	254	101	133	165	197	229	261	293	325					
	50	37	50	62	75	87	99	112	124	47	63	78	94	110	126	141	157	63	83	101	119	137	155	173	191	81	106	129	152	175	198	221	244					
	60	28	37	46	55	65	74	84	93	35	47	59	71	83	95	106	118	47	62	77	91	105	119	133	147	61	80	98	116	134	152	170	188					
1,00	20	57	77	96	115	134	153	172	191	72	96	120	144	168	192	217	241	97	126	155	184	213	242	271	300	122	161	199	237	275	313	351	389					
	30	68	92	115	139	162	185	208	231	87	116	145	174	203	231	260	289	116	150	188	226	264	302	340	378	141	184	222	260	298	336	374	412					
	40	60	81	101	121	141	161	181	202	76	101	127	152	177	202	228	253	102	133	169	204	239	274	309	344	127	163	200	237	274	311	348	385					
	50	55	74	92	111	129	148	166	184	70	93	116	139	163	186	209	232	94	121	148	175	202	229	256	283	119	151	187	222	257	292	327	362					
	60	50	66	83	99	116	132	149	165	63	84	105	126	146	167	188	209	81	108	134	160	186	212	238	264	106	138	170	202	234	266	298	330					
1,20	20	69	92	115	138	161	184	207	230	87	116	144	173	202	231	260	289	116	150	188	226	264	302	340	378	141	184	222	260	298	336	374	412					
	30	83	111	139	166	194	222	249	277	104	139	174	208	243	278	312	347	133	171	211	250	289	328	367	406	158	201	241	280	319	358	397	436					
	40	73	97	121	145	169	194	218	242	91	120	152	182	213	244	274	304	118	151	187	222	257	292	327	362	143	180	216	251	286	321	356	391					
	50	66	89	111	133	155	177	199	221	84	111	139	165	194	223	251	279	108	141	176	211	246	281	316	351	133	170	205	240	275	310	345	380					
	60	60	79	98	119	138	158	179	199	75	100	125	150	175	201	226	251	97	127	158	188	218	248	278	308	122	157	192	227	262	297	332	367					
1,60	20	90	122	153	184	214	245	275	306	116	154	193	231	270	308	347	385	145	187	227	266	305	344	383	422	174	220	259	298	337	376	415	454					
	30	111	148	185	222	259	296	332	369	139	185	231	276	324	370	417	463	168	215	254	293	332	371	410	449	197	247	286	325	364	403	442	481					
	40	97	129	161	194	226	258	290	323	122	162	203	243	284	324	365	405	151	192	231	270	309	348	387	426	180	221	260	299	338	377	416	455					
	50	89	119	148	177	207	236	265	295	111	149	186	223	260	297	334	371	138	177	214	251	288	325	362	399	167	206	243	280	317	354	391	428					
	60	79	106	132	159	185	212	238	265	100	134	167	201	234	268	301	334	124	169	207	244	281	318	355	392	153	190	227	264	301	338	375	412					
1,90	20	109	145	180	218	254	291	327	363	137	183	229	274	320	366	411	457	167	215	252	289	326	363	400	437	197	247	284	321	358	395	432	469					
	30	132	175	219	263	307	351	395	439	155	202	247	293	338	383	428	473	185	235	272	309	346	383	420	457	215	266	303	340	377	414	451	488					
	40	115	153	192	230	268	306	345	383	144	193	241	289	337	385	433	481	173	221	258	295	332	369	406	443	203	251	288	325	362	399	436	473					
	50	105	140	176	212	247	282	317	352	132	176	221	265	309	353	397	441	161	209	246	283	320	357	394	431	191	239	276	313	350	387	424	461					
	60	94	126	157	189	220	252	283	315	119	159	199	238	278	318	357	397	149	197	234	271	308	345	382	419	179	227	264	301	338	375	412	449					

Beispieltabelle für Auflasten gegen Windsog - Systemstatik Schletter GmbH

### 3.6 Dimensionierung der Beschwerungslast Lastfall 2 - Gleiten

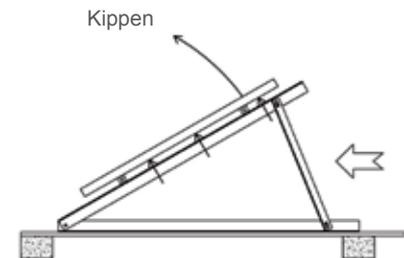
Neben der abhebenden Kraft erzeugt die Luftströmung einen Staudruck auf der schrägen Fläche. Durch vektorielle Zerlegung der entstehenden Druckkraft ergibt sich eine parallel zum Dach wirkende Schubkraft auf die Konstruktion. Bei einer reinen Beschwerungslösung muss, damit die Modulreihen nicht am Dach verschoben werden, diese Schubkraft alleine durch Reibung an der Dachoberfläche kompensiert werden. Wegen der oft recht ungünstigen und unkalkulierbaren Reibungskoeffizienten der Dachhaut kann die notwendige Auflast u.U. ein Mehrfaches der Last gegen Windsog betragen.

Eine Vermeidung der zusätzlich notwendigen Last kann durch Sichern der Reihen oder durch Verbinden der Reihen möglich sein.



### 3.7 Dimensionierung der Beschwerungslast Lastfall 3 - Kippen

Insbesondere bei Wind von hinten, bei kurzer Länge der Stützenbasis, bei hoher Schwerpunktlage kann eine Einzelreihe am Dach auch Kippen. Damit auch ein von Norden kommender Wind beherrschbar ist, muss auch dieser Fall voll berücksichtigt werden. Die zur Vermeidung des Kippens notwendige Last kann ein Mehrfaches der Last gegen Windsog betragen. Eine Minimierung der notwendigen Beschwerungslast in der Einzelreihe ist möglich durch gut verteilte Lasten, breite Standbasis oder Windschotts; weitere konstruktive Möglichkeiten bestehen durch die Kopplung mehrerer Reihen.



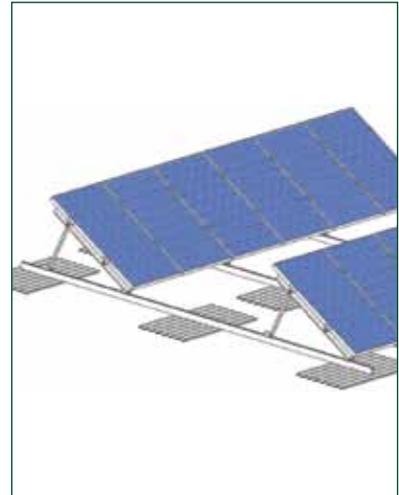
#### 4 Optimierung der Beschwerungslasten Konstruktive Möglichkeiten

Die nach den genannten Normen ermittelten Beschwerungswerte sind oft aufgrund der begrenzten Tragfähigkeit der Dächer nicht realisierbar. Eine Begrenzung der notwendigen Beschwerungslasten ist durch verschiedene konstruktive Anpassungen realisierbar.

##### 4.1 Verbindung der Einzelreihen

(Konstruktionsbeispiel Schletter CompactVario)

Durch die Verbindung der Einzelreihen mit einem durchgehenden Lastverteilungsträger kann das Kippen von Einzelreihen vollkommen ausgeschlossen werden. Die Beschwerungslast gegen Kippen kann in diesem Falle vollkommen ignoriert werden. Der Lastverteilungsträger ist so auszulegen, dass das mögliche Kippmoment einer Einzelreihe ohne plastische Verformung aufgenommen werden kann. Auch ein Gleiten der Einzelreihen ist bei dieser Konstruktion erschwert, die Auflast gegen Gleiten könnte wegen der gegenseitigen Windschattung der Reihen je nach Reihenanzahl um ca. 20% bis annähernd 40% reduziert werden. Eine Dimensionierung ausschließlich mit der Beschwerungslast gegen Windsog ist möglich, wenn das Gleiten konstruktiv durch Sichern am Dach (z.B. Anstehen des Lastverteilungsträgers an der Attika) verhindert werden kann.



##### 4.2 Optimierung des Winkels und Kippvermeidung durch Windschott

(Konstruktionsbeispiel Schletter WindSafe)

Die Auslegung einer Beschwerungslast gegen Kippen ist bei einer nach hinten abgeschlossenen Reihe nicht notwendig, da der „Unterwind“ vermieden wird. Zusätzlich kann durch Optimierung des Aufstellwinkels die aufzubringende Last weiter minimiert werden.



##### 4.3 Optimierung von Geometrie und Lastverteilung

(Konstruktionsbeispiel Schletter SolRack)

Bei einer Platzierung der Reihen im Kiesbett eines Flachdaches kann die Berücksichtigung des Gleit-Falles entfallen. Weiterhin ist die Kippneigung durch die größere Stützenbasis vermindert und die rechnerische Beschwerung gegen Kippen dadurch minimiert. Eine weitere Reduzierung kann durch unsymmetrische Verteilung der Kies-Last (hinten 2/3, vorne 1/3) erreicht werden. Somit können auch in diesem Beispiel für das Dach noch realisierbare Lasten für die Beschwerung ausreichen.



### 5 Softwaregestützte Berechnung auf Basis der gültigen Normen Berechnungsbeispiele

Eine professionelle Projektierung von Beschwerungslösungen am Flachdach ist gerade mit Einführung der neuen Normen und der vielen verschiedenen Parameter nur mit Software-Hilfsmitteln möglich. Zur Verdeutlichung der Funktionsweise sollen einige Beispiele dienen. Alle Beispiele sind rein informativ ohne Anspruch auf technische Richtigkeit.

Beispielrechnungen siehe Anhang.

#### Vergleich der Berechnungsbeispiele

Die Beispiele sollen die Anwendung der Beschwerungsangaben und die Möglichkeiten der Konstruktionsoptimierung verdeutlichen.

In allen Beispielen sind die sonstigen Parameter (PLZ, Ort, Elementhöhe, Modulneigung, Dachhöhe, Stützenabstand, Geländekategorie usw.) konstant, um den Vergleich der verschiedenen Konstruktionsvarianten zu ermöglichen.

##### Beispiel1

In Beispiel 1 ist eine einfache einreihige Aufstellung gewählt.

- Für den Nachweis gegen Abheben wären 2x77,2 kg pro Stütze (gemäß Grafik jeweils vorne und hinten) notwendig; dies ist auch der Wert, der in vereinfachter Form in den Tabellen gem. 3.5 ablesbar ist.
- Der Gleitnachweis erfordert 2x129,5 kg.
- Der Kippnachweis erfordert 141,2 plus 251,4 kg. Bei einem Stützenabstand von gewählten 1,4 m sind dies ca. 280kg pro Laufmeter Modulreihe.
- Die Maximallast der drei Nachweise ist die notwendige Beschwerungslast.

##### Beispiel2

In Beispiel 2 ist „Horizontalfixierung“ und „Kopplung der Modulreihen“ ausgewählt. Dies entspricht z.B. der Konstruktion nach Pkt. 4.1.

- Es ist lediglich die Beschwerungslast von 2x77,2 kg pro Stütze aufzubringen, dies entspricht ca. 110kg pro Laufmeter Modulreihe.

##### Beispiel3

Im Vergleich zu Beispiel 1 sind hier keine Einzelgewichte, sondern ein festes Gewicht zentrisch unter der Stütze angebracht. Die im Beispiel 1 bereits optimierte Gewichtsverteilung gegen das Kippen muss hier durch Zusatzlast kompensiert werden.

- Der Kippnachweis erfordert hier 502,8 kg (statt 141,2 plus 251,4 kg wie in Beispiel 1). Bei einem Stützenabstand von gewählten 1,4 m sind dies ca. 360kg pro Laufmeter Modulreihe.

##### Beispiel4

Beispiel 4 entspricht Beispiel 2, jedoch mit zusätzlichem Windschott.

- Es ist lediglich die Beschwerungslast von 2x37,3 kg pro Stütze aufzubringen, dies entspricht ca. 53kg pro Laufmeter Modulreihe.
- Hier ist die Minimierung der Auflast durch Konstruktionsoptimierung deutlich erkennbar.**

### 6 Zusammenfassung

Mit der vorliegenden Projektierungshilfe soll die Auswahl der geeigneten Befestigungsvarianten am Flachdach erleichtert werden. Zur Begrenzung des Risikos ist für den Planer und Installateur ist eine absolut professionelle Projektierung gerade bei Flachdächern unerlässlich! In vielen Fällen muss aber auch zur Kenntnis genommen werden, dass Flachdachbefestigungen mit Beschwerungslösungen trotz der Möglichkeit der Konstruktionsoptimierung ganz einfach an der Dachtragfähigkeit scheitern und somit auch keinesfalls realisiert werden dürfen! In solchen Fällen ist entweder eine Befestigungslösung als Alternative zu wählen oder auch das ein oder andere Angebot als nicht realisierbar zu akzeptieren.

Das Ziel aller gemeinsamen Bemühungen muss sein, die Montagequalität langfristig weiter zu erhöhen, das Gewährleistungsrisiko für Anlageninstallateur soweit als möglich zu reduzieren und insbesondere die hervorragende Akzeptanz von Solarenergieanlagen in der Öffentlichkeit weiter zu erhalten.

7 Anhang - Berechnungsbeispiele

Beispiel 1

### Kalkulationsblatt Anlage 6: Auflastberechnung

Stand: 01.04.2006  
Version: 4

---

**Vorbemerkungen**

Die nachstehenden Berechnungen gelten für reguläre Bedingungen. Bei Standorten mit speziellen Geländeformationen sind ergänzende Untersuchungen bezüglich der anzusetzenden Windlasten erforderlich.

Kunde	Mustermann	
Auftrag	815	
Postleitzahl Bauort	83527	Haag in Oberbayern
48,1762 ° nördl. Breite		
12,1729 ° westl. Länge		
Elementneigung	30	◀ ▶
Elementhöhe	h 1,60	m
Höhe ü.N.N.	H 500	m ▶
Firshöhe über GOK	z 9,00	m ▶
Abstand Stützrahmen a	1,4	m ▶
Überstand Querträger u <sub>l</sub>	0,50	m ▶
Basisbreite B	1,545	m ▶
Schwerpunktabstand s <sub>w</sub>	0,822	m ▶
Attikahöhe	h <sub>a</sub> 0	m ▶

**Ballastierungstyp** Punktlasten

**Lastannahmen nach DIN 1055**

Elementgewicht g 0,15 kN/m<sup>2</sup>

Schneelast s 1,28 kN/m<sup>2</sup>

Geländekategorie IV (neben stehende Bilder)

Städtegebiete, bei denen mindestens 15 % der Fläche mit Gebäuden bebaut sind, deren mittlere Höhe 15 m überschreitet

Böengeschw.-druck q 0,41 kN/m<sup>2</sup>

**erforderliche Ballastierung** Gleitbeiwert  $\mu = 0,4$

	vorn	hinten	Auskrägung der Basis
Kippnachweis	141,2 kg	251,4 kg	◀ ▶ 0 cm
Gleitnachweis	129,5 kg	129,5 kg	◀ ▶ 0 cm
Nachweis gegen Abheben	77,2 kg	77,2 kg	

Die ausgewiesenen Ballastierungsgrößen gelten für die jeweils erste Innenstütze von Durchlaufträgern

Reduzierung der Ballastierung bei weiteren Innenstützen auf: 80 %

Reduzierung der Ballastierung bei Randstützen auf: 76 %

Beispiel 2

Kalkulationsblatt Anlage 6: Auflastberechnung

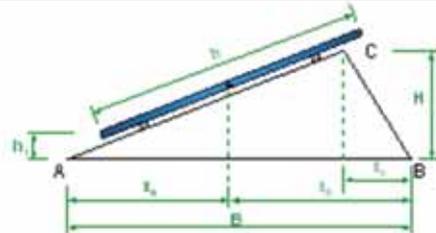


Stand 01.04.2006  
Version 4

Vorbemerkungen

Die nachstehenden Berechnungen gelten für reguläre Bedingungen. Bei Standorten mit speziellen Geländeformationen sind ergänzende Untersuchungen bezüglich der anzusetzenden Windlasten erforderlich.

Kunde Mustermann  
Auftrag 815  
Postleitzahl Bauort 83527 Haag in Oberbayern  
48,1762 °nördl. Breite  
12,1729 °westl. Länge  
Elementneigung 30  
Elementhöhe h 1,60 m  
Höhe ü.N.N. H 500 m  
Firsthöhe über GOK z 9,00 m  
Abstand Stützrahmen a 1,4 m  
Überstand Querträger x<sub>u</sub> 0,50 m  
Basisbreite B 1,545 m  
Schwerpunktastand x<sub>s</sub> 0,822 m  
Attikahöhe h<sub>a</sub> 0 m



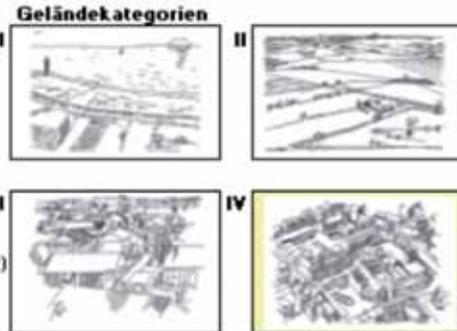
Ballastierungstyp Punktsorten

Lastannahmen nach DIN 1055

Elementgewicht g 0,15 kN/m<sup>2</sup>  
Schneelast s 1,28 kN/m<sup>2</sup>  
Geländekategorie IV (neben stehende Bilder)

Stadtgebiete, bei denen mindestens 15 % der Fläche mit Gebäuden bebaut sind, deren mittlere Höhe 15 m überschreitet

Böengeschw.-druck q 0,41 kN/m<sup>2</sup>  
erforderliche Ballastierung Gleitbeiwert  $\mu = 0,4$

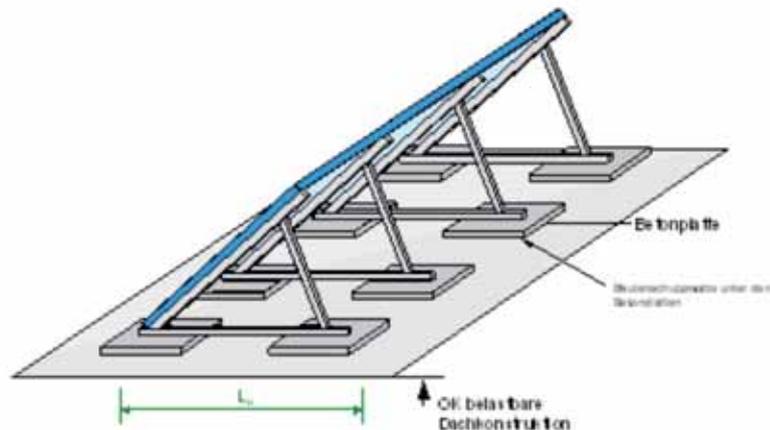


- Rückseite geschlossen
- Horizontalfixierung (am Dach)
- Kopplung der Modulreihen

Kippnachweis  
Gleitnachweis

Nachweis gegen Abheben 77,2 kg 77,2 kg erf W = 10 cm<sup>2</sup> (Grundträger)

Die ausgewiesenen Ballastierungsgrößen gelten für die jeweils erste Innenstütze von Durchlaufträgern  
Reduzierung der Ballastierung bei weiteren Innenstützen auf: 80 %  
Reduzierung der Ballastierung bei Randstützen auf: 76 %



Beispiel 3

Kalkulationsblatt Anlage 6: Auflastberechnung

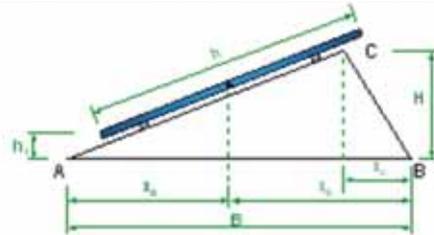


Stand 01.04.2006  
Version 4

Vorbemerkungen

Die nachstehenden Berechnungen gelten für reguläre Bedingungen. Bei Standorten mit speziellen Geländeformationen sind ergänzende Untersuchungen bezüglich der anzusetzenden Windlasten erforderlich.

Kunde: Mustermann  
Auftrag: 815  
Postleitzahl Bauort: 83527 Haag in Oberbayern  
48,1762 ° nördl. Breite  
12,1729 ° westl. Länge  
Elementneigung: 30  
Elementhöhe h: 1,60 m  
Höhe ü.N.N. H: 500 m  
Firsthöhe über GOK z: 9,00 m  
Abstand Stützrahmen a: 1,4 m  
Überstand Querträger  $s_u$ : 0,50 m  
Basisbreite B: 1,545 m  
Schwerpunktastand  $s_w$ : 0,822 m  
Attikahöhe  $h_a$ : 0 m



Ballastierung: Streckenlasten

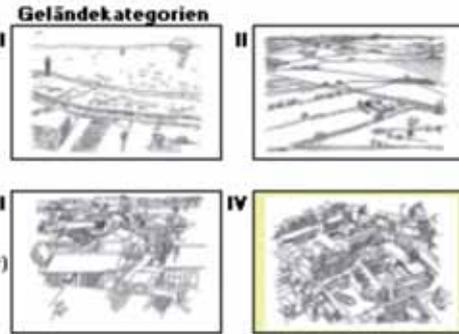
Lastannahmen nach DIN 1055

Elementgewicht g: 0,15 kN/m<sup>2</sup>  
Schneelast s: 1,28 kN/m<sup>2</sup>  
Geländekategorie: IV (neben stehende Bilder)

Stadtgebiete, bei denen mindestens 15 % der Fläche mit Gebäuden bebaut sind, deren mittlere Höhe 15 m überschreitet

Böengeschw.-druck q: 0,41 kN/m<sup>2</sup>

erforderliche Balastierung Gleitbeiwert  $\mu = 0,4$



- Rückseite geschlossen
- Horizontalfixierung (am Dach)
- Kopplung der Modulreihen

Auskrägung der Basis

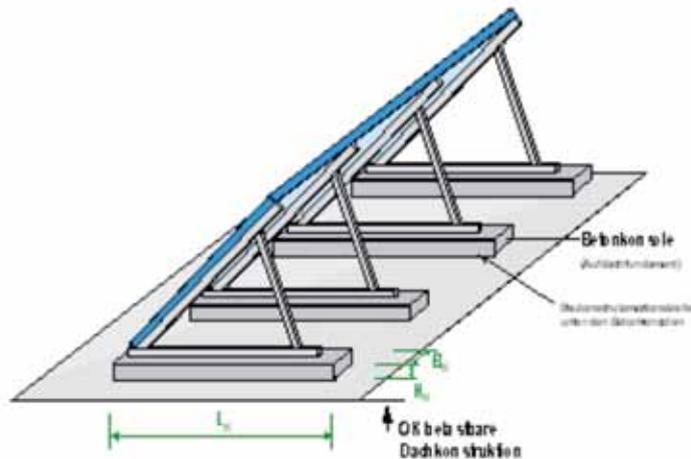
0 cm  
0 cm

**Streckenlast**  
Kippnachweis: 502,8 kg  
Gleitnachweis: 259,0 kg  
Nachweis gegen Abheben: 154,4 kg

Die ausgewiesenen Ballastierungsgrößen gelten für die jeweils erste Innenstütze von Durchlaufträgern

Reduzierung der Ballastierung bei weiteren Innenstützen auf: 80 %

Reduzierung der Ballastierung bei Randstützen auf: 76 %



Beispiel 4

Kalkulationsblatt Anlage 6: Auflastberechnung

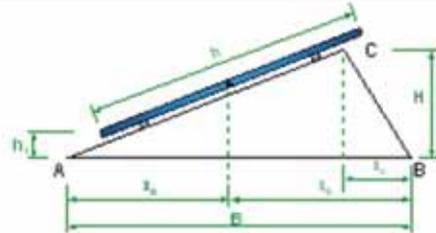


Stand 01.04.2006  
Version 4

Vorbemerkungen

Die nachstehenden Berechnungen gelten für reguläre Bedingungen. Bei Standorten mit speziellen Geländeformationen sind ergänzende Untersuchungen bezüglich der anzusetzenden Windlasten erforderlich.

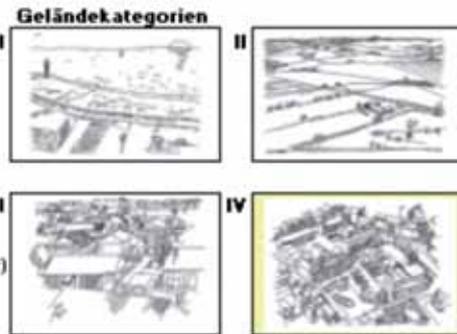
Kunde Mustermann  
Auftrag 815  
Postleitzahl Bauort 83527 Haag in Oberbayern  
48,1762 ° nördl. Breite  
12,1729 ° westl. Länge  
Elementneigung 30  
Elementhöhe h 1,60 m  
Höhe ü.N.N. H 500 m  
Firsthöhe über GOK z 9,00 m  
Abstand Stützrahmen a 1,4 m  
Überstand Querträger  $s_w$  0,50 m  
Basisbreite B B 1,545 m  
Schwerpunkt Abstand  $s_a$  0,822 m  
Attikahöhe  $h_a$  0 m



Ballastierungstyp Punktlasten

Lastannahmen nach DIN 1055

Elementgewicht  $g$  0,15 kN/m<sup>2</sup>  
Schneelast  $s$  1,28 kN/m<sup>2</sup>  
Geländekategorie IV (neben stehende Bilder)



Stadtgebiete, bei denen mindestens 15 % der Fläche mit Gebäuden bebaut sind, deren mittlere Höhe 15 m überschreitet

Böengeschw.-druck  $q$  0,41 kN/m<sup>2</sup>  
erforderliche Balastierung Gleitbeiwert  $\mu = 0,4$

- Rückseite geschlossen
- Horizontalfixierung (am Dach)
- Kopplung der Modulreihen

Kippnachweis  
Gleitnachweis

vorn hinten

Auskragung der Basis

Nachweis gegen Abheben 37,3 kg 37,3 kg erf W = 2 cm<sup>3</sup> (Grundträger)  
Die ausgewiesenen Ballastierungsgrößen gelten für die jeweils erste Innenstütze von Durchlaufträgern  
Reduzierung der Ballastierung bei weiteren Innenstützen auf: 80 %  
Reduzierung der Ballastierung bei Randstützen auf: 76 %

