



**Hochschule Aachen**

I.F.I. Institut  
für Industrieaerodynamik GmbH  
Institut an der  
Fachhochschule Aachen

Welkenrather Straße 120  
D – 52074 Aachen

Telefon: 0241/879708-0  
Telefax: 0241/879708-10  
E-Mail: info@ifi-aachen.de

Notifizierte Prüf-, Überwachungs- und  
Zertifizierungsstelle Nr. 1368  
nach dem Bauproduktengesetz

Auftraggeber: Palme Solar GmbH, Herbrechtingen  
Projekt Nr. PSH01  
Bericht Nr.: PSH01-2 Kurzfassung

## **Windlasten an den PV-Flachdachsystemen DuoFlat und DuoFlat DS der Palme Solar GmbH**

### **Bestimmung der abhebenden und verschiebenden Lastkennwerte**

Aachen, den 29.02.2012

Dr.-Ing. Th. Kray

Dipl.-Ing. (FH) F. Hunke

Geschäftsführung:  
Dipl.-Ing. B. Konrath, Dr.-Ing. R.-D. Lieb  
Wissenschaftlicher Beirat:  
Prof. Dr.-Ing. H.J. Gerhardt, Prof. Dr.-Ing. R. Grundmann  
Prof. Dr.-Ing. H. Funke, Prof. Dr.-Ing. Th. Heynen

Sparkasse Aachen  
Kto.-Nr. 47 440 003  
BLZ 390 500 00

Commerzbank AG Aachen  
Kto.-Nr. 3 006 848  
BLZ 390 400 13

Amtsgericht Aachen  
HRB 4518

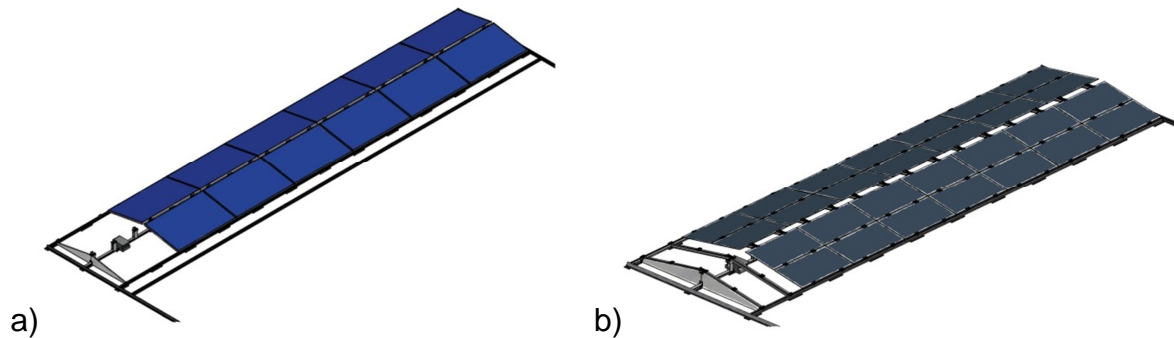
Hiermit wird bestätigt, dass für die PV-Flachdachsysteme **DuoFlat** und **DuoFlat DS** der **Palme Solar GmbH** Windkanalversuche nach Kapitel 1.5 der DIN EN 1991-1-4: 2010-12, bzw. nach der im nationalen Anhang geforderten WtG-Richtlinie am Institut für Industrieaerodynamik GmbH, Institut an der Fachhochschule Aachen durchgeführt wurden. Die PV-Module sind bei dem untersuchten Aufstellsystem DuoFlat mit einem Modulanstellwinkel von  $10,5^\circ$  und bei dem System DuoFlat DS mit  $9,7^\circ$  zur Horizontalen angestellt und auf einer Metallunterkonstruktion befestigt. Beide Systeme sind Ost-West-Systeme, die dadurch gekennzeichnet sind, dass die Module der Reihen gegeneinander angestellt sind, siehe Bild 1.1. In Bild 1.2 sind die Windkanalmodelle dargestellt.

Die Ergebnisse können mit den, nach EN 1991-1-4 und dem nationalen Anhang bestimmten, Bemessungsstaudrücken  $q_p$  in Abhängigkeit von Windzone, Geländekategorie und Gebäudehöhe multipliziert werden, um die charakteristischen Windlasten zu bestimmen. Daraus kann mit den, z.B. nach EN 1990 bestimmten, Teilsicherheitsbeiwerten die erforderliche Ballastierung zur Sicherung gegen Abheben bzw. gegen Verschieben auf beliebigen Flachdächern (bis zu einer Neigung von  $20^\circ$ ) berechnet werden. Ein Verschieben der PV-Elemente tritt ein, wenn die abhebenden Windlasten derart die andrückenden Lasten aus dem Eigengewicht des Systems reduziert haben, dass die verschiebenden Windlasten größer sind als die Haftreibungskräfte.

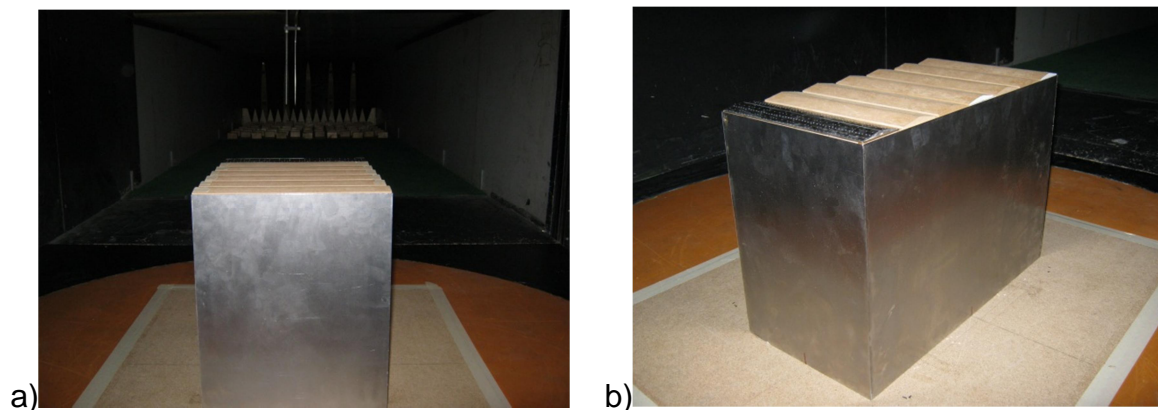
Für die vorgenannten Zusammenhänge hat das I.F.I. ein exemplarisches Rechentool in Excel erstellt, das Grundlage für weitergehende Programmierungen oder die tägliche Auslegungsarbeit im Projekt sein kann und auch eigenständig zum Nachweis der Ballastierung genutzt werden darf. Dort sind die Rechenwerte aus den Versuchen auf der sicheren Seite über alle Windrichtungen und in Auflastbereichen für die Dachzonen F, G und H zusammengefasst.

Die Ergebnisse sind als quasistatische Ersatzkennwerte angegeben. Analog der Ansätze der EN 1991-1-4:2010 für Paneele von  $1 \text{ m}^2$  und  $10 \text{ m}^2$  Fläche gelten die Kraftbeiwerte jedoch nicht für einzeln aufgestellte Module sondern nur für Anordnungen in Feldern mit einer charakteristischen Länge von mindestens 10 m. Pro Reihe müssen mindestens drei Moduleinheiten aufgestellt werden. Der Verbund ist wichtig, um der geringeren Gleichzeitigkeit der Böenwirkung über einem betrachteten Feld mit einer

charakteristischen Länge größer 10 m Rechnung zu tragen. Entsprechend sind kleinere Anordnungen je nach Lage auf dem Dach ggf. zusätzlich zu beschweren.



**Bild 1.1:** a) PV-Flachdachsystem DuoFlat b) Aufstellsystem DuoFlat DS



**Bild 1.2:** Windkanalmodelle der PV-Flachdachsysteme a) DuoFlat und b) DuoFlat DS mit belegten Randzonen

Falls ein Dach unterschiedliche Höhen aufweist, ist im Zweifel auf der sicheren Seite die größte Dachhöhe des BV für die Windlastbemessung maßgebend. Die Ergebnisse gelten für frei stehende Gebäude oder solche in gleich hoher oder niedrigerer Bebauung ohne Einschränkungen. Falls ein Gebäude mehr als doppelt so hoch ist wie die mittlere Höhe der benachbarten Gebäude, muss die Bemessung dieser benachbarten Gebäude nach dem Anhang A.4 der EN 1991-1-4 erfolgen.

Die Ergebnisse wurden für eine Ausrichtung der Reihen in Längsrichtung von Nord nach Süd bestimmt, sind jedoch auf beliebige Ausrichtungen zu den Himmelsrichtungen übertragbar.

Im Zuge der durchgeführten Untersuchungen konnten Beiwerte für die Auslegung im Windkanal ermittelt werden, die auch nach EN 1991-1-4 in Verbindung mit den jeweils gültigen nationalen Anhängen anwendbar sind. Diese zeigen, dass es sich um in der Feldmitte ballastarme Systeme handelt. Die horizontalen und abhebenden Lasten auf die Module sind durch die Reihenanordnung in der Feldmitte gering. Lediglich am Reihenrand und besonders an exponierten Feldecken sind höhere Lasten festgestellt worden, die jeweils zu berücksichtigen bleiben. Dies kann auf Basis der durchgeführten Messungen sowohl unmittelbar in den Rand- oder Ekelementen durch lokale Ballastierung als auch im Verbund mit Reihen und zwischen Reihen durch Lastausgleich mit geringer belasteten Flächen und deren Eigengewicht erfolgen. Im letzteren Fall werden allerdings höhere statische Anforderungen an die Lastübertragung durch die in sich verbundene Unterkonstruktion der Fertigteile gestellt, da theoretisch ein schwebendes Eckmodul durch die benachbarten Modulbereiche gehalten werden muss.

Die Auswertung der maximalen auftretenden Lasten in den verschiedenen Dachbereichen für das System DuoFlat ergab maximale Auftriebsbeiwerte in der inneren Dachfläche von  $c_{fz} = 0,03$  [-] und in den Feldeckbereichen von maximal  $c_{fz} = 0,12$  [-], bezogen jeweils auf die Fläche eines PV-Moduls. Gleichzeitig treten verschiebende Kräfte auf, deren Beiwerte  $c_{fx,y} = 0,01$  [-] in der Feldmitte sowie in den Feldecken von maximal  $c_{fx,y} = 0,07$  [-] erreichen.

Für das Aufstellsystem DuoFlat DS resultieren abhebende Kraftbeiwerte von maximal  $c_{fz} = 0,05$  [-] in der inneren Dachfläche und in den Feldeckbereichen von maximal  $c_{fz} = 0,11$  [-]. Die verschiebenden Kraftbeiwerte müssen in der Feldmitte mit  $c_{fx,y} = 0,01$  [-] sowie in den Feldecken mit maximal  $c_{fx,y} = 0,08$  [-] angesetzt werden.

Die ausführlichen Zusammenhänge und Versuchsangaben sind der Langfassung des Berichts PSH01-1 zu entnehmen.