

**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: Ilzhöfer GmbH Lasertechnik, Sand am Main  
Projekt Nr. IHS04  
Bericht Nr.: IHS04-2 Kurzfassung

## **Windlasten an dem dachparallelen PV-System ILZOPLAN auf Pult-, Sattel- und Trogdächern mit 5°-25° Dachneigungswinkel der Ilzhöfer GmbH Lasertechnik**

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

Aachen, den 28.06.2013

Dr.-Ing. Th. Kray

Dipl.-Ing. (FH) J. Paul

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

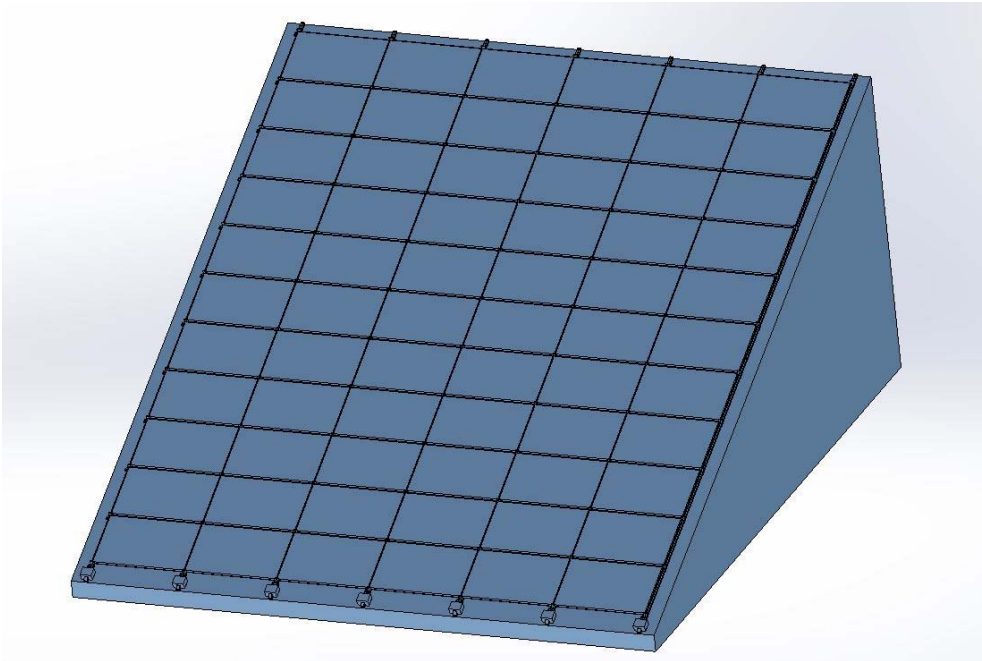
Amtsgericht Aachen  
HRB 4518

Hiermit wird bestätigt, dass für das dachparallele PV-System **ILZOPLAN** der **Ilzhöfer GmbH Lasertechnik** auf Pultdächern mit  $5^{\circ}$ - $25^{\circ}$  Dachneigungswinkel 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 parallel zur Dachfläche ausgerichtet und auf Dachschienen montiert, siehe Bild 1.1. In Bild 1.2 ist ein Windkanalmodell 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 Gebäudefirsthöhe multipliziert werden, um die charakteristischen Windlasten zu bestimmen. Daraus kann mit den, z.B. nach EN 1990 bestimmten, Teilsicherheitsbeiwerten die erforderliche Lagesicherung zur Sicherung gegen Abheben bzw. gegen Verschieben auf beliebigen Pultdächern (bis zu einer Neigung von  $25^{\circ}$ ) berechnet werden. Ein Verschieben der PV-Elemente tritt ein, wenn die abhebenden Windlasten derart die andrückenden Lasten aus dem Eigengewicht des Systems reduzieren, dass die verschiebenden Windkräfte größer sind als die Haftreibung.

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. Dort sind die Rechenwerte aus den Versuchen auf der sicheren Seite über alle Windrichtungen und in Lastbereichen für die Dachzonen F, G und H zusammengefasst. Zusätzlich sind Korrekturformeln für die Wirkung von Hangabtrieb auf geneigten Dächern und für die abnehmende Gleichzeitigkeit der Böenwirkung bei großen Feldern enthalten.

Analog der Ansätze der EN 1991-1-4:2010 für Paneele von  $1 \text{ m}^2$  und  $10 \text{ m}^2$  Fläche sind die Netto-Druckbeiwerte in Abhängigkeit der Lasteinflussfläche als quasistatische Ersatzkennwerte angegeben. Entsprechend der untersuchten Feldgröße gelten sie nicht für einzeln aufgestellte Module sondern nur für Anordnungen mit einer Modulgesamtfläche von mindestens  $10 \text{ m}^2$ , aufgeteilt auf eine Feldanordnung mit  $2 \times 3$  Modulen. Kleinere Feldeinheiten müssen gegebenenfalls mit größeren Windlasten ausgelegt werden.



**Bild 1.1:** Isometrische Ansicht einer Feldanordnung des dachparallelen PV-Systems ILZOPLAN auf einem Pultdach mit 25° Dachneigung



**Bild 1.2:** Windkanalmodell einer Feldanordnung des dachparallelen PV-Systems ILZOPLAN auf einem Pultdach mit 25° Dachneigung bei belegten Eck- und Randbereichen

---

**Bericht Nr.: IHS04-2 Kurzfassung**  
**Windlasten an dem dachparallelen PV-System ILZOPLAN auf Pult-, Sattel- und Trogdächern mit**  
**5 -25 Dachneigungswinkel der Ilzhöfer GmbH Lasertechnik**  
 Bestimmung der abhebenden und verschiebenden Lastkennwerte

Falls ein Dach unterschiedliche Höhen aufweist, ist im Zweifel auf der sicheren Seite die größte Dachhöhe des Bauvorhabens für die Windlastbemessung maßgebend. Die Ergebnisse gelten ohne Einschränkungen für freistehende Gebäude oder solche in gleich hoher oder niedrigerer Umgebungsbebauung. 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.

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 die horizontalen und abhebenden Lasten an dem System in der Feldmitte gering sind. Lediglich am Feldrand 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 Eckelementen durch lokale Ballastierung oder Befestigung als auch im Modulverbund 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 auftretenden  $10 \text{ m}^2$ - Windlasten aus allen gemessenen Dachneigungen ergab maximale Sogbeiwerte im Kernbereich der Dachfläche von  $c_{pM} = -0,035$  [-] und in den Feldeckbereichen von maximal  $c_{pM} = -0,192$  [-]. Gleichzeitig resultieren verschiebende Kräfte an dem System ILZOPLAN aus Netto-Druckbeiwerten von  $|c_{ps}| = 0,215$  [-] in der Feldmitte sowie in den Feldecken von maximal  $|c_{ps}| = 0,485$  [-].

Da Sattel- und Trogdächer jeweils aus Pultdächern zusammengesetzt werden, können die im Windkanal ermittelten Druckbeiwerte unter Berücksichtigung eines ingenieurmäßigen Sicherheitsaufschlags von 10% auf diese Dachformen angewandt werden. Die ausführlichen Zusammenhänge und Versuchsangaben sind der Langfassung des Berichts IHS04-1 zu entnehmen.