

Für die Auslegung von ballastierten Aufständern für Photovoltaik (PV) auf Flachdächern spielt die Bestimmung der Lagesicherheit eine zentrale Rolle. Unsachgemäße Bestimmung der notwendigen Auflasten kann hier zu erheblichen Sicherheitsrisiken führen. Bei der Auslegung von iFIX wurde daher auf strömungstechnische Untersuchungen besonderer Wert gelegt, die im Folgenden näher erläutert werden.

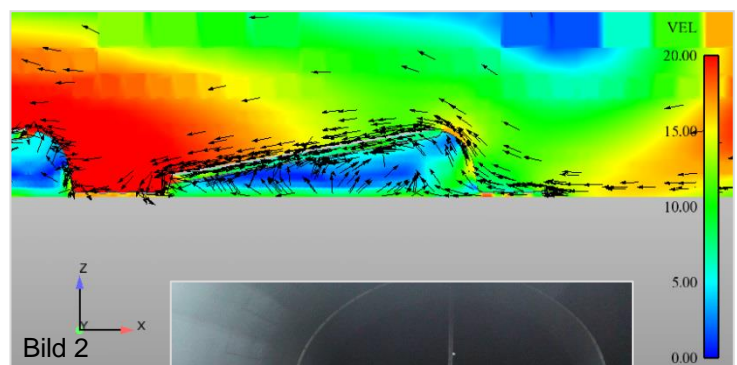
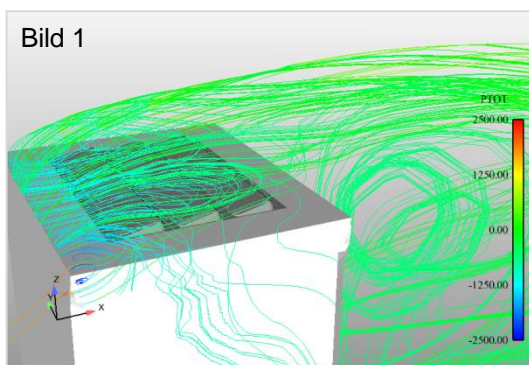
Die Auslegung sollte generell nach den Verordnungen der Behörden und den technischen Regelwerken des Bauwesens erfolgen. Für Deutschland gilt: in der Musterbauordnung und den Bauordnungen der Bundesländer sind Solaranlagen unmissverständlich als Teil eines Bauwerks (Aufdachanlagen) oder als Bauwerk an sich (Freilandanlagen) definiert, und damit auf Grundlage der technischen Regelwerke des Bauwesens auszulegen. Hinsichtlich der anzusetzenden Belastungen gilt für die Windlasten die europäische Norm DIN EN 1991-1-4 (Eurocode 1). Für viele moderne PV-Aufständern lässt sich jedoch aufgrund nicht normierter Bauform die Stabilität anhand dieser technischen Regeln nicht nachweisen. Hier gilt der nationale Anhang für Deutschland, in dem es auszugsweise heißt:

1.5 Belastungsansätze basierend auf Versuchen und Messungen

NDP zu 1.5 (2)

Falls Windkanalversuche herangezogen werden, ist hierfür ein geeigneter Grenzschichtwindkanal (z. B. entsprechend dem Merkblatt „Windkanalversuche in der Gebäudeaerodynamik“, Windtechnologische Gesellschaft WTG e.V.) zu verwenden, in dem die Profile der mittleren Windgeschwindigkeit und der Turbulenzintensität hinreichend genau modelliert werden. Die Messungen und deren Auswertung sind mit geeigneten Verfahren durchzuführen.

Für die iFIX PV-Flachdach-Aufständern sind von voestalpine intensiv strömungstechnische Untersuchungen durchgeführt worden. Die Grundform entstand mittels 3D-Konstruktion anfangs aus einem Zusammenspiel aus Umformprozess des korrosionsgeschützten Stahlblechs und aerodynamischen Anforderungen. Strömungstechnische Grundlagenuntersuchungen erfolgten mittels Finite-Elemente-Methode (FEM). Strömungsverläufe und Druckverhältnisse lassen sich hiermit sehr gut simulieren, visualisieren und analysieren (siehe Bilder 1 und 2).



Weitere Versuche erfolgten mit Prototypen-Bauteilen in einem Windkanal im Maßstab 1:1 (siehe Bild 3). Hierzu wurden Bauteile auf einem Drehteller montiert unterschiedlichsten Anströmungsverhältnissen ausgesetzt. Die hieraus gewonnenen Erkenntnisse in Bezug auf Umströmung, Sogkräfte, Hinterlüftung und Schwingungsverhalten flossen in die Entwicklung der iFIX-Aufständern ein.

Weitere Erfahrungen in der Handhabung und mit der Herstellung von Prototypen führten so zur aktuellen Bauform mit erhöhter statischer Festigkeit, optimierter Hinterlüftung und schnellerer Montage.



Die FEM-Simulation und Untersuchungen im Windkanal mit Prototypen im Maßstab 1:1 waren bei der Entwicklung von iFIX hilfreich. Bezüglich Windlasten sind jedoch aus bautechnischer Sicht lediglich die Untersuchungen in einem Grenzschichtwindkanal relevant und aussagekräftig, der die Bedingungen der „Windtechnologischen Gesellschaft WTG e.V.“ erfüllt.

Der wesentliche Unterschied zu Windkanälen, wie sie in der Luftfahrt- und Kraftfahrzeugtechnik zur Anwendung kommen, besteht in der Art der Anströmung. Wegen der dort erforderlichen gleichförmig-turbulenzarmen Anströmung sind diese i.d.R. für Fragestellungen der Gebäudeaerodynamik nicht einsetzbar. Daher erfolgten für iFIX diese Untersuchungen in einem weltweit renommierten Grenzschichtwindkanal, in dem schon unterschiedlichste Gebäude und PV-Anlagen-Bauformen auf ihr spezifisches Strömungsverhalten getestet wurden. Dazu wird in verkleinertem Maßstab die Verteilung von Geschwindigkeit und Böigkeit des Windes nachgebildet, wie sie in den unteren 300 Metern einer neutral geschichteten, atmosphärischen Grenzschichtströmung über bebautem Gebiet auftritt.

Um aus Windkanalversuchen direkt auf Naturverhältnisse übertragbare Ergebnisse zu erhalten, ist auf die Einhaltung der maßgebenden Ähnlichkeits- oder Modellgesetze zu achten. Wichtig sind die geometrische Ähnlichkeit des Modells sowie die Ähnlichkeit der An-, Um- und Durchströmung. Die korrekte Modellierung der Um- und Überströmung eines Bauwerks erfordert genau genommen Gleichheit der Reynoldszahlen (Verhältnis von Trägheitskräften zu Zähigkeitskräften) in Modell und in Natur. Die Reynoldszahl-Ähnlichkeit spielt besonders bei der Umströmung gekrümmter Flächen oder bei der Durchströmung von Öffnungen eine wesentliche Rolle. Die Reynoldszahl beeinflusst maßgeblich den Ort der Strömungsablösung und damit die windinduzierte Druckverteilung. Zur Überprüfung der Abhängigkeit der Druckbeiwerte von der Reynoldszahl wurden einige Versuche sicherheitshalber mit mehreren Windgeschwindigkeiten durchgeführt. Hierbei bestätigte sich, dass die aerodynamischen Beiwerte tatsächlich unabhängig von der Windgeschwindigkeit sind.

Für die Windkanaluntersuchungen an iFIX wurde ein für die Messung von mittleren und fluktuierenden Winddrücken geeignetes starres Modell einer PV-Anlage im geometrischen Maßstab 1:35 angefertigt (siehe Bild 4). Die PV-Module wurden als Messmodule derart ausgebildet, dass sowohl der windinduzierte Druck an der Oberfläche (außenseitig) als auch der windinduzierte Druck an der Unterseite (innenseitig) bedingt durch die Hinterlüftung simultan erfasst werden konnte. Das Modell wurde an verschiedene Orte auf dem Flachdach versetzt um die jeweilige Windbelastung zu bestimmen.

Um die bemessungsrelevanten Winddruckbeiwerte zur Dimensionierung des iFIX-PV-Flachdach-Montagesystems zu ermitteln, wurde das Modell auf einem beispielhaften Industrieflachdach positioniert. Die Untersuchungen erfolgten sowohl mit als auch ohne Attika. Getestet wurde mit Abstand von 2 Metern zum Dachrand und auch randnahe Belegung (0,5 Meter). Die Höhe des Gebäudes wurde im Rahmen von Voruntersuchungen so festgelegt bzw. so eingestellt, dass die sich ergebenden Beiwerte unabhängig von der im Windkanal modellierten Gebäudehöhe sind und somit als repräsentativ für typische Industriehallenhöhen angesehen werden können. Unterschiedlichste Windverhältnisse wurden durch eine turbulente Grenzschichtströmung über eine raue Platte dargestellt.

Das Bauwerk wurde aus verschiedenen Richtungen im 15°-Winkel-Raster angeströmt. Die höhenabhängigen Verteilungen der mittleren Windgeschwindigkeit und der Windböen (Turbulenz), wurden mit Hilfe von auf dem Windkanalboden angebrachten Rauigkeitselementen und Vortex-Generatoren (Wirbelerzeugern) am Anfang der Messstrecke erzeugt (siehe Bild 5).



Bild 4

Sämtliche Druckmessungen wurden als simultane Zeitreihenmessungen durchgeführt, so dass die zeitgleich wirkenden Windkräfte auf der Ober- und Unterseite bestimmt werden konnten. Die auf diese Weise gemessenen dimensionslosen Winddruckbeiwerte – normiert mit dem dynamischen Druck der Anströmung in Dachhöhe – sind wegen der zuvor beschriebenen Einhaltung der Ähnlichkeitsgesetze direkt auf die Naturverhältnisse übertragbar.

Die durch die Untersuchungen im Grenzschichtwindkanal gewonnenen Winddruckbeiwerte können unter Anwendung der Regeln der DIN EN 1991-1-4 (Eurocode 1) auf reale

Bauwerke angewendet werden. Des Weiteren wurde durch einen staatl. zugelassenen Prüfstatiker die Systemstatik erstellt. Ein von voestalpine entwickeltes anwenderfreundliches Berechnungsprogramm ermöglicht die Umsetzung dieser Erkenntnisse zur sicheren Bestimmung der erforderlichen Ballastierung von PV-Anlagen mit iFIX als Aufständering. In Abhängigkeit von der geografischen Lage der geplanten PV-Anlage werden hier Windlasten, Schneelast, umgebende Geländeformation, Gebäudehöhe und Rauigkeit der Dachoberfläche berücksichtigt. Der so erfolgende statische Nachweis der Lagesicherheit anhand des Windkanalgutachtens, der Systemstatik und des Berechnungsprogramms wurde durch den TÜV Rheinland überprüft, bestätigt und zertifiziert.

Auf dieser Basis ermittelt das Berechnungsprogramm die maximal auftretenden Werte für horizontale (Verschiebung) und vertikale Kräfte (Sog, Druck), die an jeder Stelle des Daches auf die PV-Anlage wirken werden. Diesen Kräften muss durch Ballastierung entgegengewirkt werden. Montagesystemen, die mit deutlich niedrigerer Ballastierung werben, muss daher mit gesunder Skepsis begegnet werden.

Da die Berechnung der Ballastierung von mit iFIX montierten PV-Anlagen auf gesicherten wissenschaftlichen Erkenntnissen beruht, kann der Anwender sicher sein, dass bei Unwettern bezüglich der Lagesicherheit keine Gefahr von seiner PV-Anlage ausgeht.

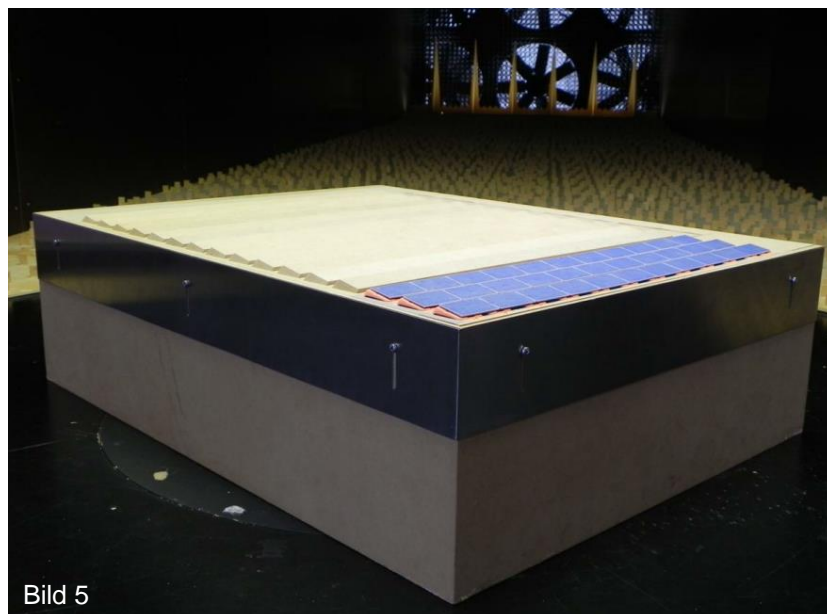
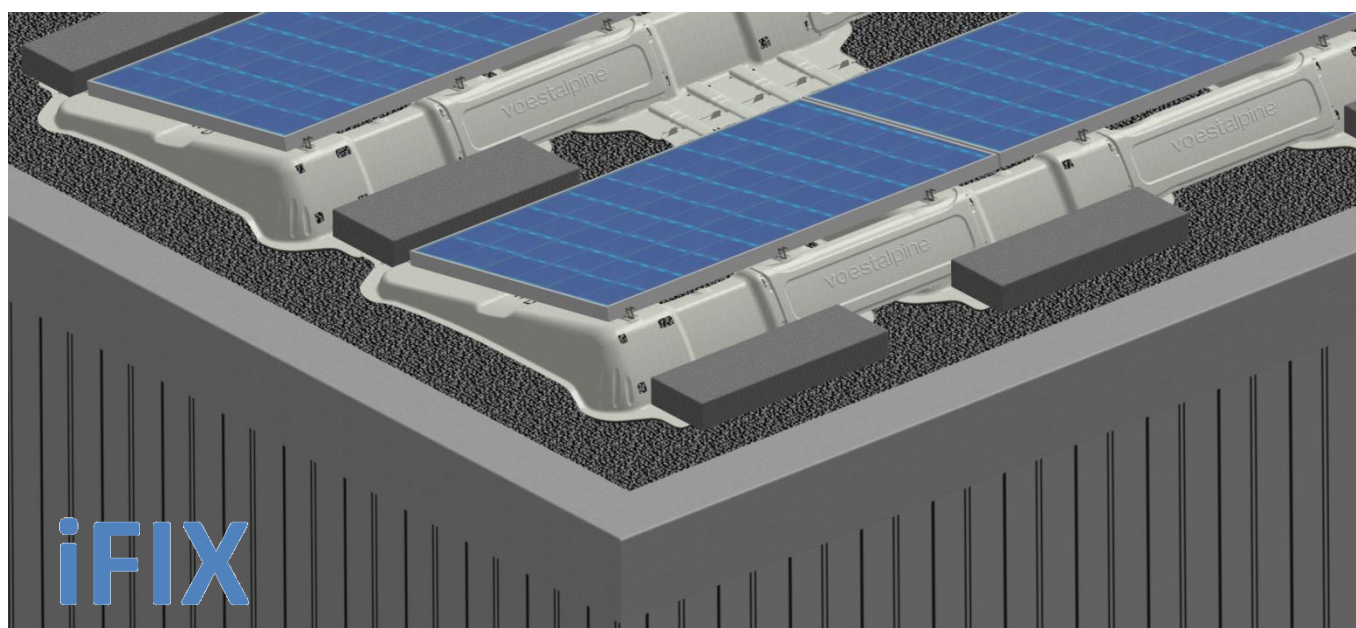


Bild 5



iFIX