

Auftraggeber: K2 Systems GmbH, Renningen, Deutschland

Projekt-Nr.: KSR04

Berichts-Nr.: KSR04-12-1

Windlasten auf die „S-Dome 6.10“ und „S-Dome 6.15“ PV-Flachdachsysteme der K2 Systems GmbH

Bestimmung der abhebenden und verschiebenden Lastkennwerte in
Übereinstimmung mit den amerikanischen Normen ASCE 7-10, ASCE 7-16 und
ASCE 7-22 sowie mit der europäischen Norm EN 1991-1-4

Der Bericht umfasst 7 Seiten.

Aachen, den 31.07.2023
Ergänzt am 10.10.2023



Daniel Markus, M.Sc.
Abteilungsleiter Bauwerksaerodynamik



André Stollenwerk, M.Sc.
Projektingenieur

Die K2 Systems GmbH mit Sitz in Renningen, Deutschland, entwickelt und fertigt Montagesysteme zur Errichtung von Photovoltaikanlagen auf Flachdächern. Es wurde eine Analyse von Windkanalmessdaten basierend auf Untersuchungen an generischen PV-Flachdachsystemen durchgeführt, um die Bemessungswindlasten auf die „S-Dome 6.10“ und „S-Dome 6.15“ PV-Flachdachsysteme zu bestimmen. Die Analyse wurde vom I.F.I. Institut für Industrieaerodynamik GmbH, Institut an der Fachhochschule Aachen, in Übereinstimmung mit den Richtlinien und Regelungen der amerikanischen Normen ASCE 7-10, ASCE 7-16, ASCE 7-22, ASCE 49-12 und ASCE 49-21, sowie der deutschen Normen DIN EN 1991-1-4:2010-12, DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12 und der Windkanalrichtlinie der Windtechnologischen Gesellschaft, WtG, sowie der EN 1991-1-4:2005 durchgeführt.

Ergebnis dieser Analysen sind Druckbeiwerte auf die PV-Systeme, um die Wirkung des Windes auf diese zu erfassen, da für solche Strukturen in EN 1991-1-4 keinerlei Angaben gemacht werden und in ASCE 7-10, ASCE, 7-16 und ASCE 7-22 lediglich stark vereinfachte und konservative Ansätze gegeben werden. Von besonderer Bedeutung ist hierbei insbesondere die gleichzeitige Wirkung des Windes auf Ober- und Unterseite der Module, die Belüftungseigenschaften sowie weitere aerodynamische Charakteristika. Insofern unterscheiden sich die Druckbeiwerte auf PV-Systeme signifikant von denen, die für Dächer und Dacheindeckungen angesetzt werden, da letztere nur einseitige Belastungen erfassen und nicht die besondere Geometrie von PV-Systemen berücksichtigen.

Die Module der „S-Dome 6.10“ und „S-Dome 6.15“ PV-Flachdachsysteme sind um ca. 7° bis 11° bzw. 9,8° bis 15° zur Dachhaut geneigt und werden auf einer Unterkonstruktion im Querformat montiert. Es handelt sich um ein System in Südausrichtung mit Windleitblechen, die einen mittleren Anstellwinkel von ca. 80° bis 83° haben. Die Module haben Sehnenlängen von ca. 950 mm bis 1170 mm bzw. 1305 mm. Bemaßte Seitenansichten des Systems mit den wichtigsten geometrischen Maßen sind in Bild 1 bis Bild 4 für das „S-Dome 6.10“ System und in Bild 5 bis Bild 7 für das „S-Dome 6.15“ System dargestellt.

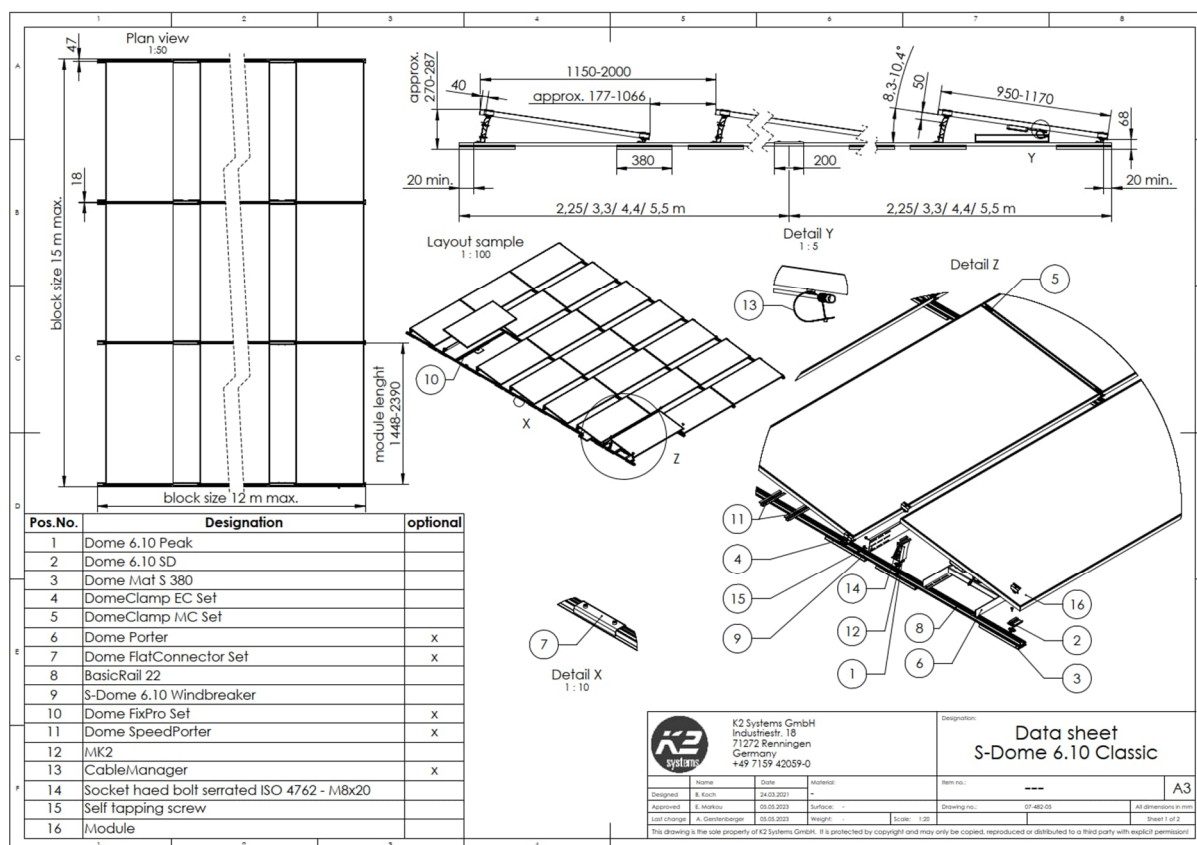


Bild 1: Systemdatenblatt des PV-Flachdachsystems "S-Dome 6.10 Classic"

Berichts-Nr.: KSR04-12-1 vom 31.07.2023 Ergänzt am 10.10.2023

Windlasten auf die „S-Dome 6.10“ und „S-Dome 6.15“ PV-Flachdachsysteme der K2 Systems GmbH

Bestimmung der abhebenden und verschiebenden Lastkennwerte in Übereinstimmung mit den amerikanischen Normen ASCE 7-10, ASCE 7-16 und ASCE 7-22 sowie mit der europäischen Norm EN 1991-1-4

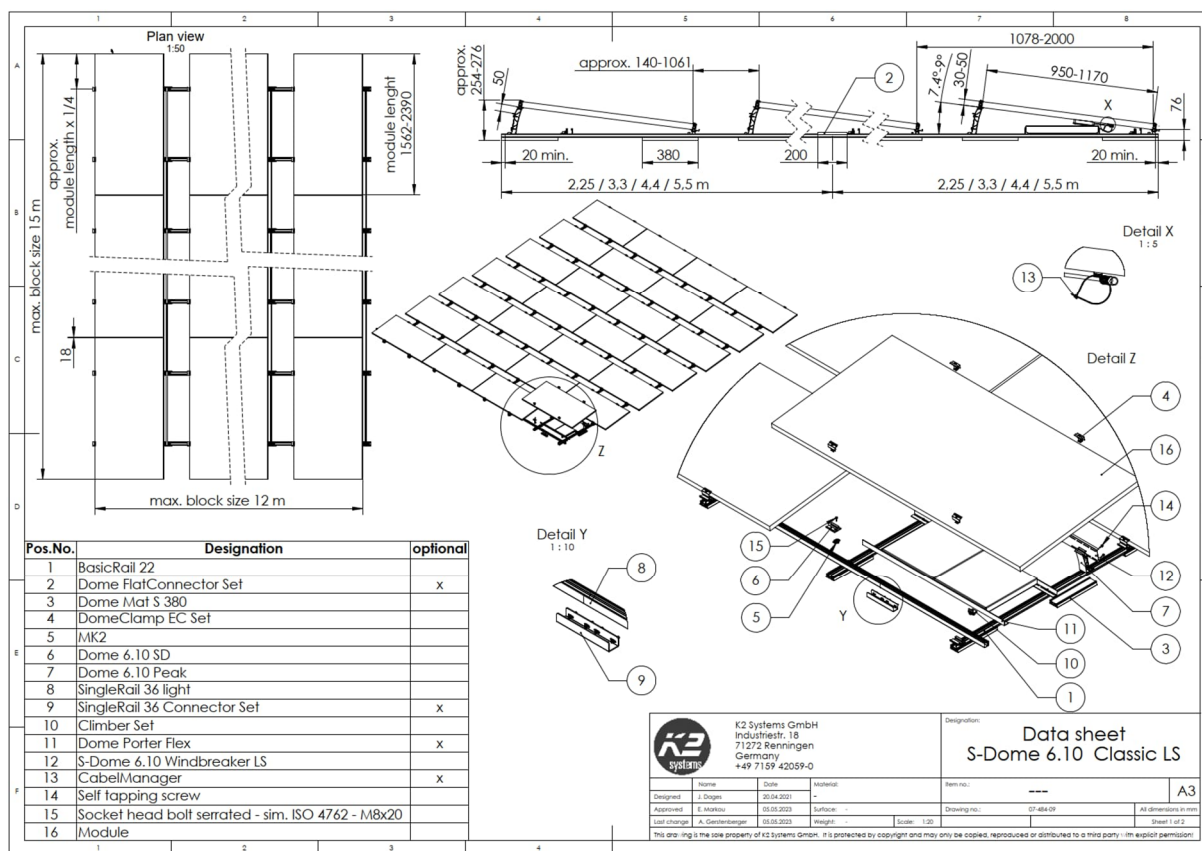


Bild 2: Systemdatenblatt des PV-Flachdachsystems "S-Dome 6.10 Classic LS"

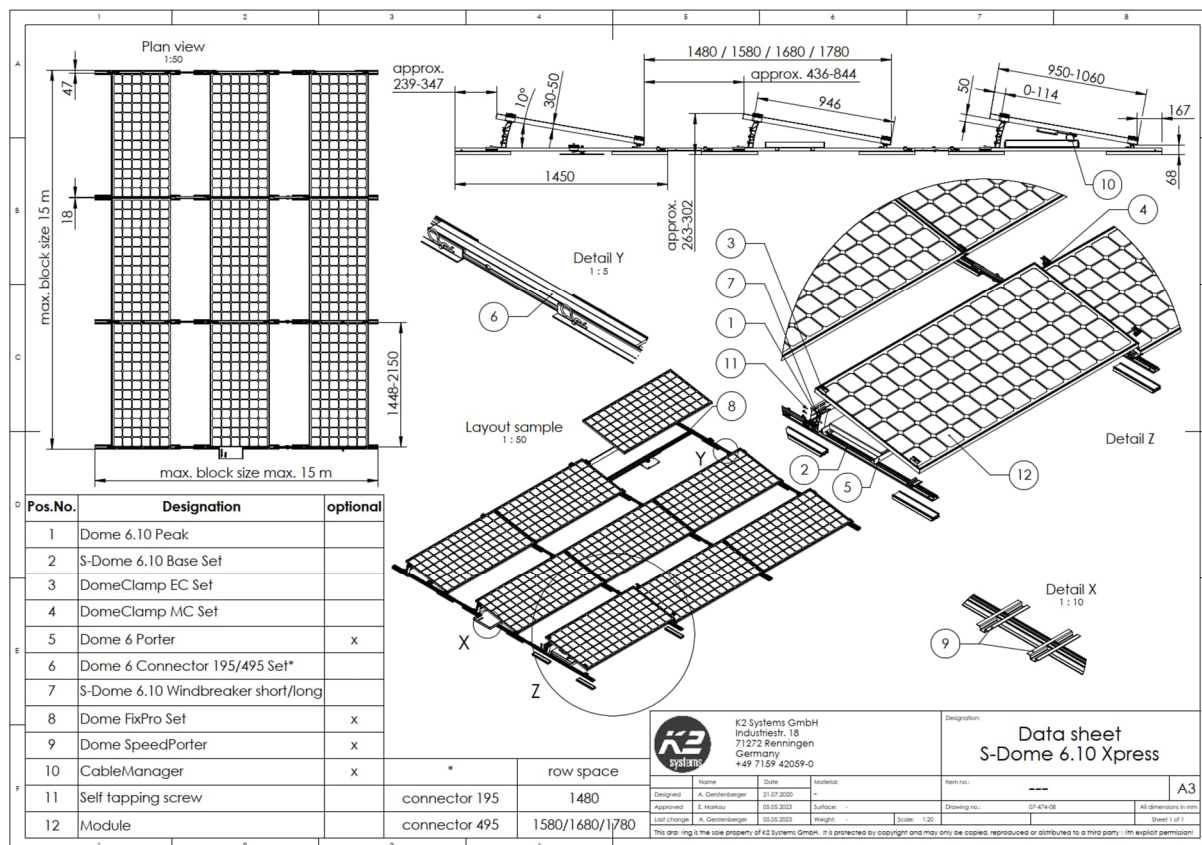


Bild 3: Systemdatenblatt des PV-Flachdachsystems "S-Dome 6.10 Classic Xpress"

Berichts-Nr.: KSR04-12-1 vom 31.07.2023 Ergänzt am 10.10.2023

Windlasten auf die „S-Dome 6.10“ und „S-Dome 6.15“ PV-Flachdachsysteme der K2 Systems GmbH

Bestimmung der abhebenden und verschiebenden Lastkennwerte in Übereinstimmung mit den amerikanischen Normen ASCE 7-10, ASCE 7-16 und ASCE 7-22 sowie mit der europäischen Norm EN 1991-1-4

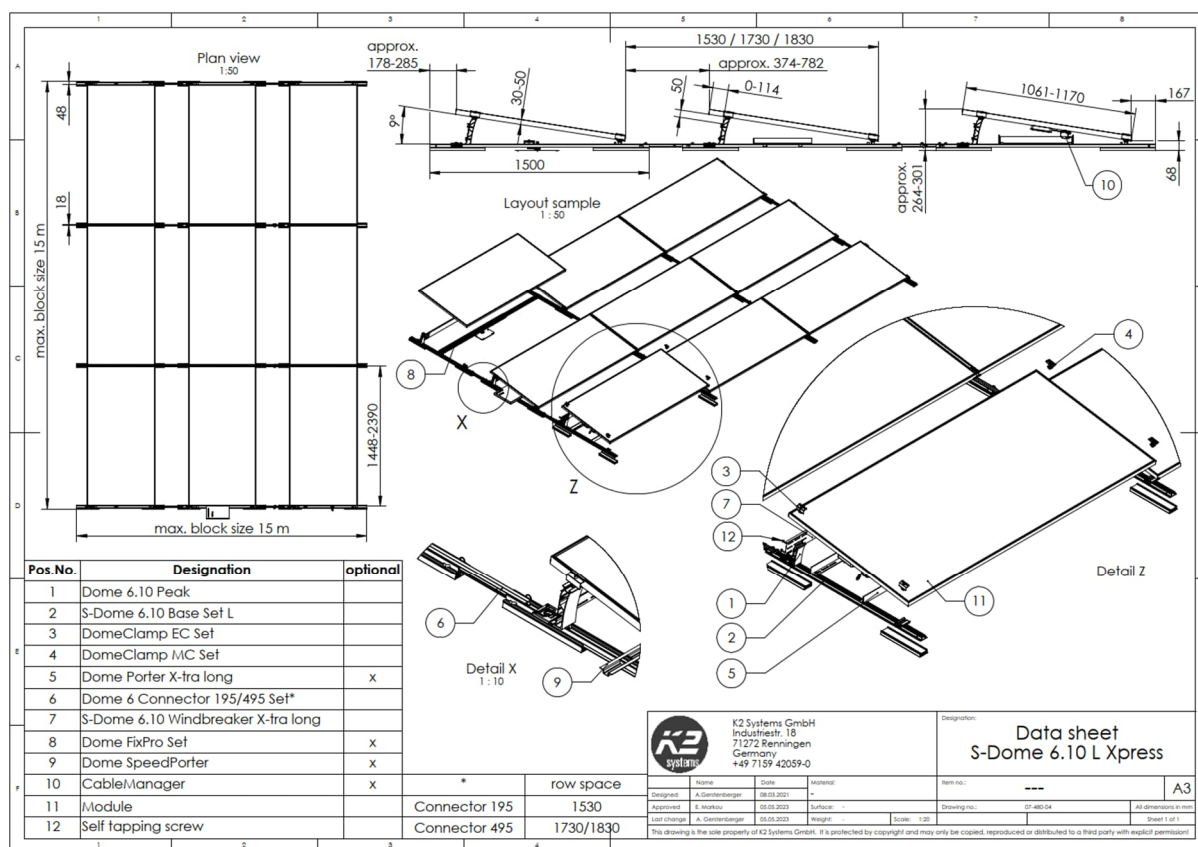


Bild 4: Systemdatenblatt des PV-Flachdachsystems "S-Dome 6.10 L Xpress"

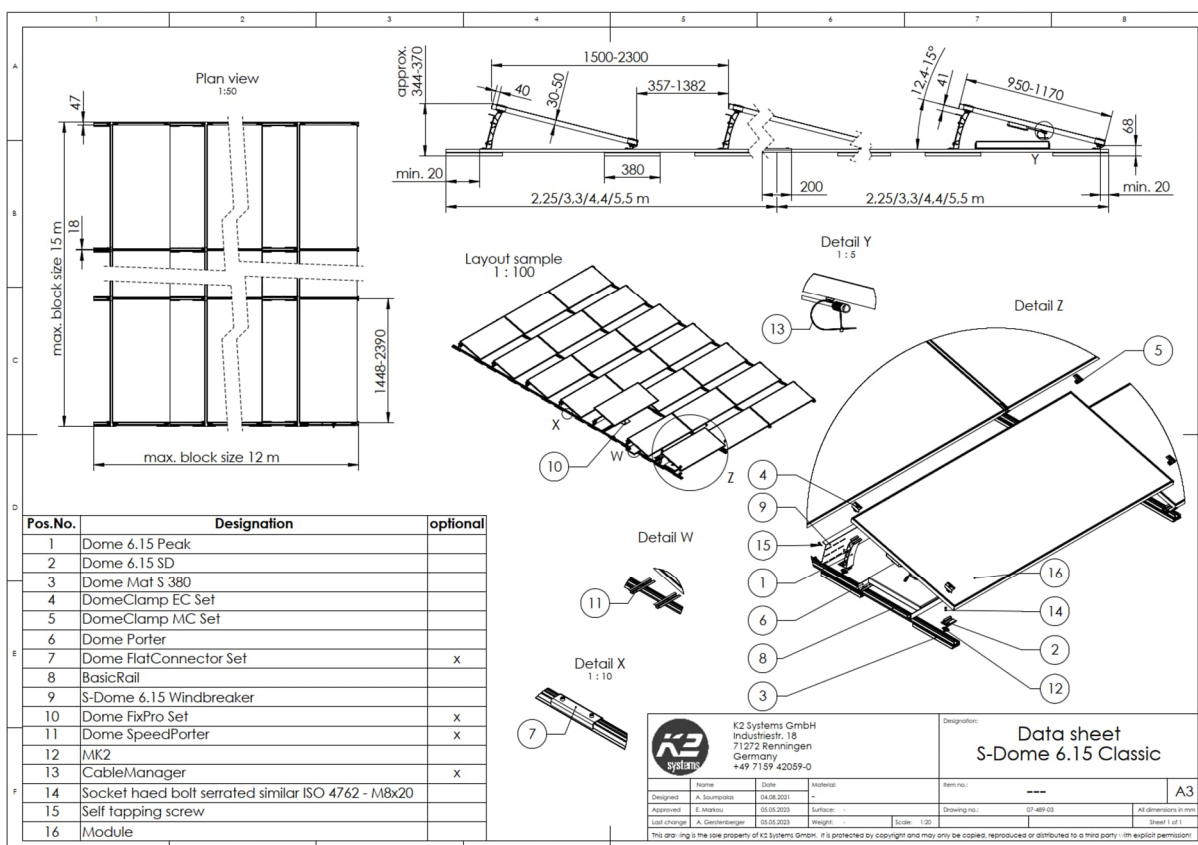


Bild 5: Systemdatenblatt des PV-Flachdachsystems "S-Dome 6.15 Classic"

Berichts-Nr.: KSR04-12-1 vom 31.07.2023 Ergänzt am 10.10.2023

Windlasten auf die „S-Dome 6.10“ und „S-Dome 6.15“ PV-Flachdachsysteme der K2 Systems GmbH

Bestimmung der abhebenden und verschiebenden Lastkennwerte in Übereinstimmung mit den amerikanischen Normen ASCE 7-10, ASCE 7-16 und ASCE 7-22 sowie mit der europäischen Norm EN 1991-1-4

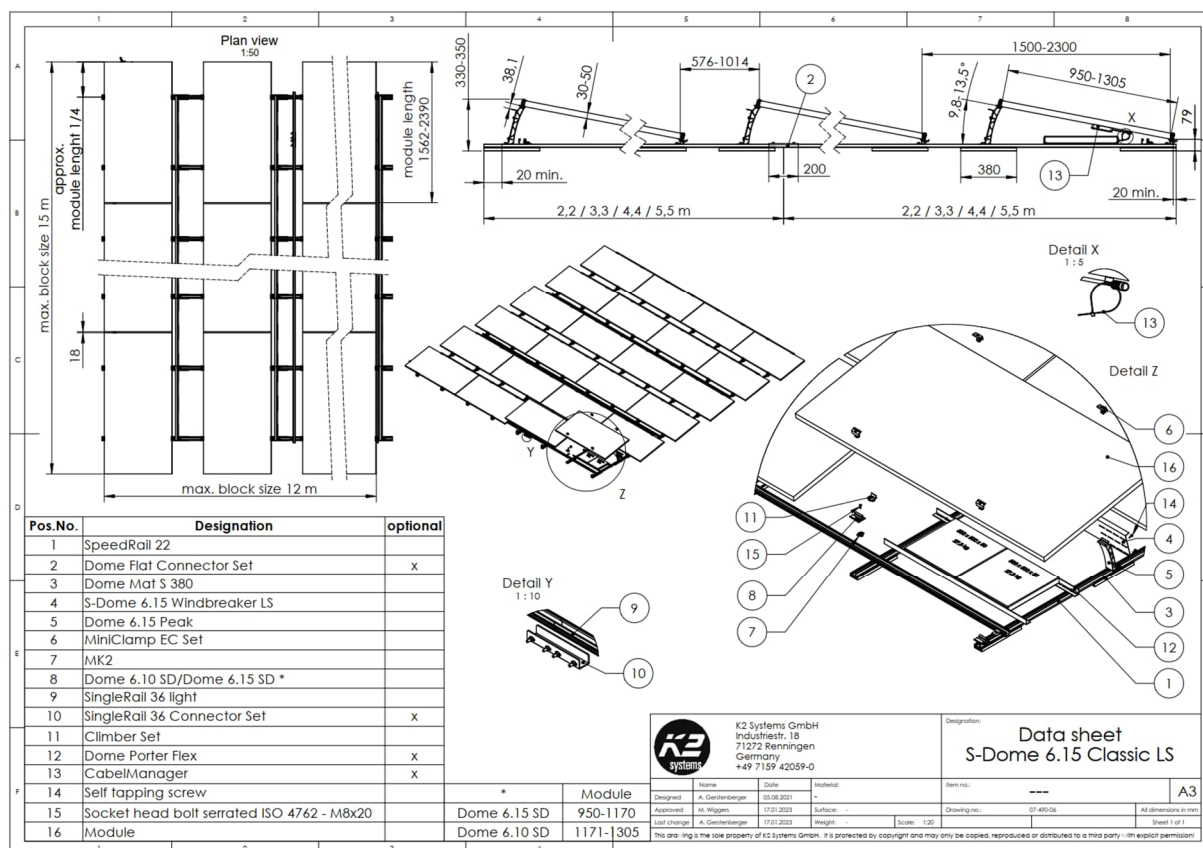


Bild 6: Systemdatenblatt des PV-Flachdachsystems "S-Dome 6.15 Classic LS"

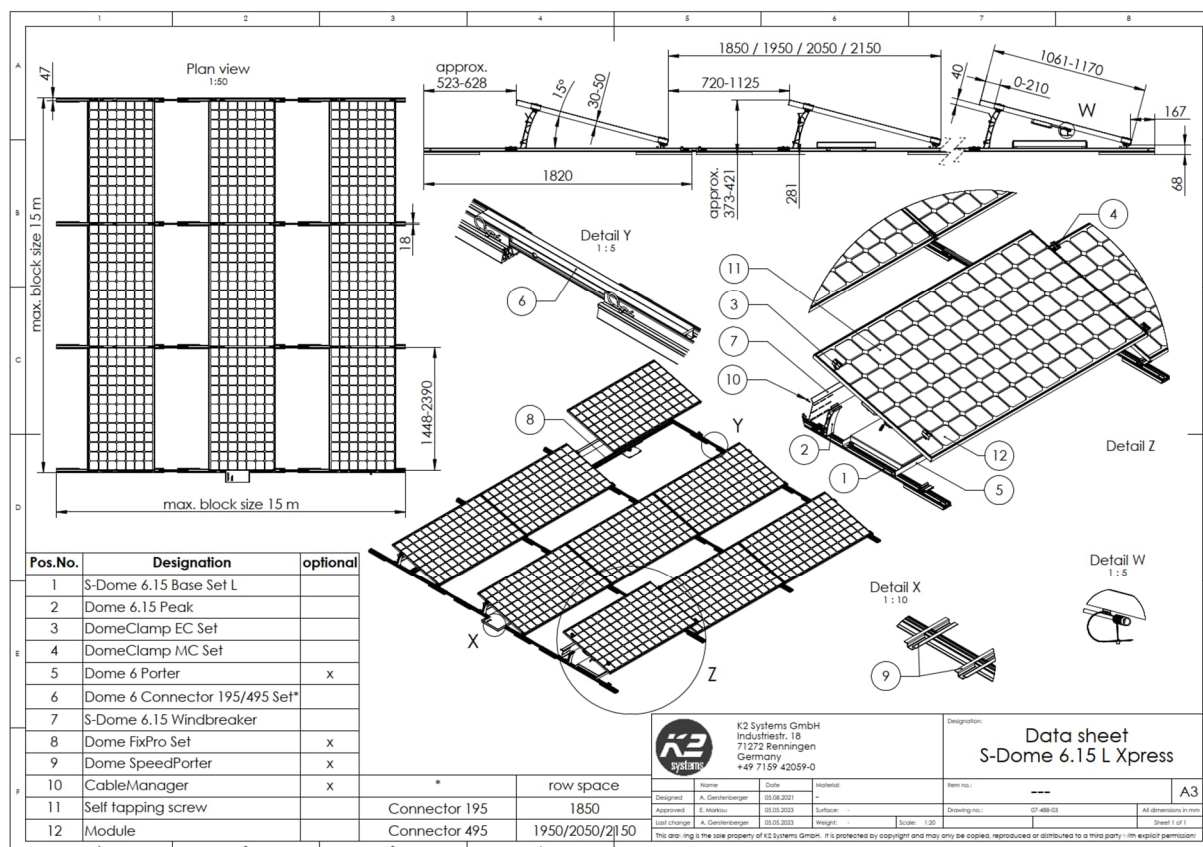


Bild 7: Systemdatenblatt des PV-Flachdachsystems "S-Dome 6.15 L Xpress"

Die Untersuchungsergebnisse sind für Geländerauigkeiten der Kategorien B, C und D zur Anwendung auf Flachdächern mit einer maximalen Dachneigung von 7° unter Einhaltung der Bestimmungen nach ASCE 7-10, ASCE 7-16 und ASCE 7-22, und für Geländerauigkeiten der Kategorien 0 bis IV zur Anwendung auf Flachdächern mit einer maximalen Dachneigung von 10° unter Einhaltung der Bestimmungen nach EN 1991-1-4:2005 sowie zugehöriger Nationaler Anhänge geeignet. Druckbeiwerte sind für verschiedene Dach- und Feldzonen sowie Windsektoren angegeben. Die Ergebnisse dürfen nur für Felder angewandt werden, deren Abstand vom Dachrand $a \geq 2 \cdot (h_s - h_p)$ beträgt, wobei h_s die Systemhöhe und h_p die Attikahöhe ist. Kleinere Abstände erfordern zusätzliche Sicherheiten, die in der Ballastberechnung berücksichtigt werden müssen.

Zur Bestimmung der Windlasten müssen die experimentell ermittelten Nettodruckbeiwerte c_p mit dem Spitzengeschwindigkeitsdruck auf der Dachhöhe multipliziert werden. Im Falle der amerikanischen Normen wird der zugehörige Spitzengeschwindigkeitsdruck q_z auf der Dachhöhe z in Abhängigkeit von der Basiswindgeschwindigkeit, dem Geschwindigkeitsdruckprofilexponenten, dem Topographiebeiwert, dem Windrichtungsfaktor, der Geländehöhe und der Dachhöhe z entsprechend der ASCE 7-10, Abschnitt 30.3.2, und der ASCE 7-16 und ASCE 7-22, Abschnitt 26.10.2, berechnet. Im Falle der europäischen Norm wird der zugehörige Spitzengeschwindigkeitsdruck q_p entsprechend der Nationalen Anhänge zur EN 1991-1-4:2005 berechnet. Für die Berechnung von q_p in Deutschland siehe DIN EN 1991-1-4:2010-12 und DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12.

Spitzensogbeiwerte und Spitzenwindlasten auf Photovoltaikmodule auf Flachdächern werden im Allgemeinen nicht durch Wind senkrecht zu den Fassaden hervorgerufen, sondern durch Wirbel, die sich an den Dachecken aufgrund von Schräganströmung ausbilden, siehe auch Bild 8. Die Druckbeiwerte wurden für eine Anordnung ermittelt, bei der die Windrichtung 0° einem Wind auf die Nordfassade des Flachdachgebäudes entsprach. Die Ergebnisse dürfen jedoch auch angewandt werden, wenn die Hauptachsen des PV-Feldes nicht parallel zu den Dachrändern sind. Weiterhin dürfen die vorliegenden Bemessungswindlasten ohne Einschränkungen auf PV-Felder angewandt werden, welche auf Gebäuden aufgebaut werden, die als steif angesehen werden können. Es werden Anwendungsregeln für Feldunterbrechungen durch Dachaufbauten, gestufte Dächer, L-förmige und weitere nicht-rechteckige Dachformen sowie für den Einfluss höherer Nachbargebäude gegeben.

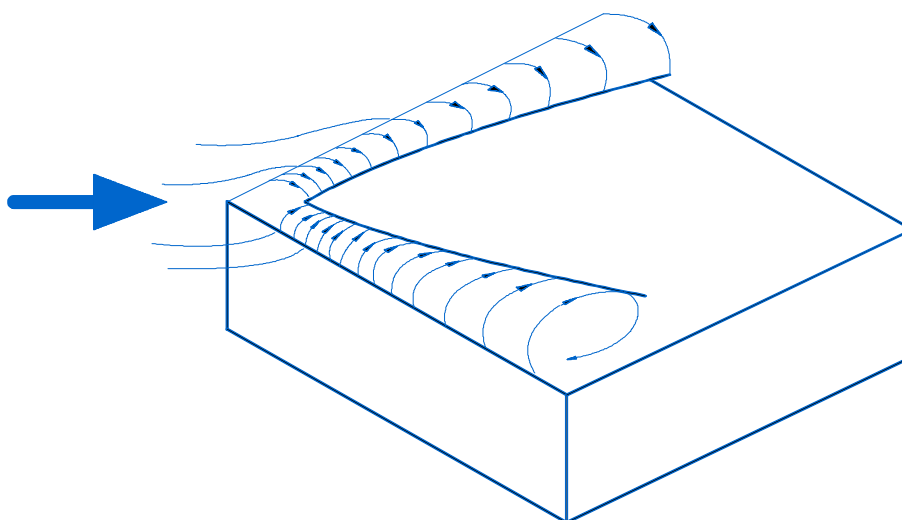


Bild 8: Wirbel, die durch Schräganströmung von der windzugewandten Dachecke ausgehen, führen zu Spitzensogwerten auf Flachdächern und darauf montierten Solarmodulen

Die Methodik der Windkanaluntersuchungen und der Analyse ist im Detail in Bericht KSR04-1-2 für das „S-Dome 6.10“ System und in Bericht KSR04-6-2 für das „S-Dome 6.15“ System ausgeführt. Diese Methodik basiert auf dem aktuellen Stand der Technik für Windkanaluntersuchungen, wie er in aktuellen Normen wie der ASCE 7-22, ASCE 49-21 und SEAOC PV-2-2017 ausgeführt wird, und hat sich in den vergangenen Jahren zum globalen Standard entwickelt. Das I.F.I. Institut für Industrieaerodynamik war signifikant an der Entstehung der Richtlinie SEAOC PV-2-2017 „Wind Design for Solar Arrays“ (deutsch: „Windauslegung für Solarfelder“) der Structural Engineers Association of California (SEAOC, deutsch: „Vereinigung kalifornischer Statiker und Bauingenieure“) beteiligt. Die Inhalte dieser Richtlinie wurden später zu weiten Teilen in die Vorgängerversion der US-amerikanische Baunorm ASCE 7-16 übernommen und sind dort auch in der aktuellen Version ASCE 7-22 weiterhin zu finden. Des Weiteren hat das I.F.I. über die vergangenen Jahre zahlreiche wissenschaftliche Artikel zum Thema der Windlastauslegung von Photovoltaiksystemen auf Flachdächern veröffentlicht. Die Veröffentlichungen basierten auf Windkanaluntersuchungen an zahlreichen verschiedenen Aufdach- und Freilandsystemen, deren Ergebnisse Anwendung in PV-Projekten in Europa, den USA sowie weltweit gefunden haben.

Aktuelle Veröffentlichungen des I.F.I. mit Bezug zu Windlasten auf PV-Anlagen sind unter anderen

- „Windlasten auf dachparallele Photovoltaikanlagen, montiert auf Satteldächern mit 10° Neigungswinkel“, Internationale Konferenz zum Windingenieurwesen ICWE14, Porto Alegre, Brasilien, 2015
- „Spitzensogbeiwerte auf Flachdach-Photovoltaikanlagen: Einfluss der Gebäudegröße und des Modellmaßstabes“, Europäisch-afrikanische Konferenz zum Windingenieurwesen EACWE, Lüttich, Belgien, 2017
- „Spitzenwindlasten auf einachsige PV-Nachführsysteme“, Internationale Konferenz zum Windingenieurwesen ICWE15, Peking, China, 2019
- „Der Einfluss einer Rückwand auf die Windlasten an einem PV-Flachdachsystem“, 8. Europäische und Afrikanische Konferenz zum Windingenieurwesen (EACWE8), Bukarest, Rumänien, 2022