

# Sichere und korrekte Ballastierung von PV- Flachdachsystemen



# Prof. Dr.-Ing. Hans Ruscheweyh

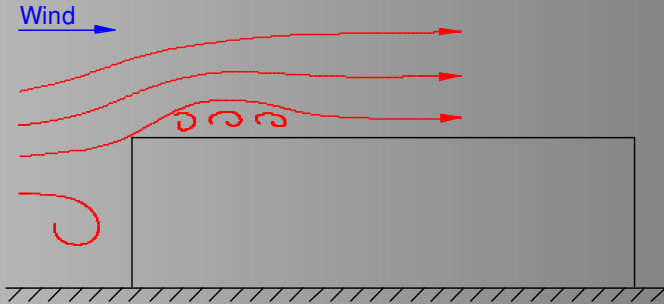


Ruscheweyh Consult GmbH  
Aachen/Würselen  
Seit 1996

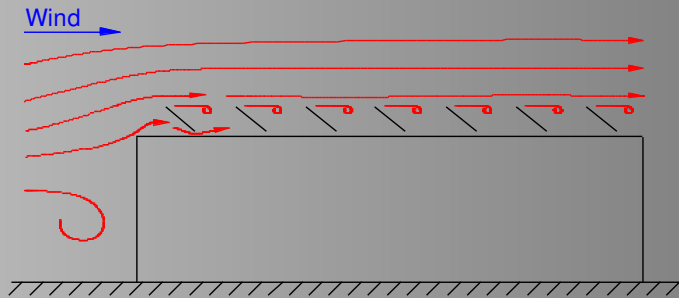
Von 1966-1996 Professor an der RWTH  
Convinor EN Eurocode



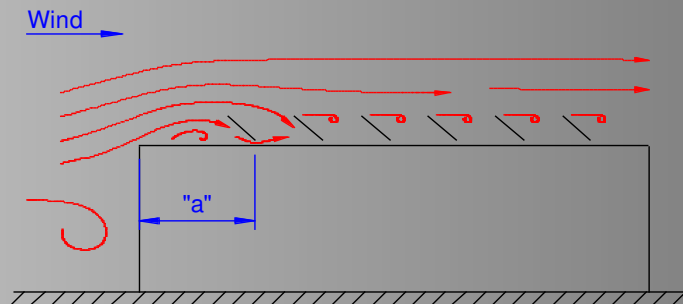
# Einfluss des Dachrandabstandes



Dachumströmung  
ohne PV-Elemente



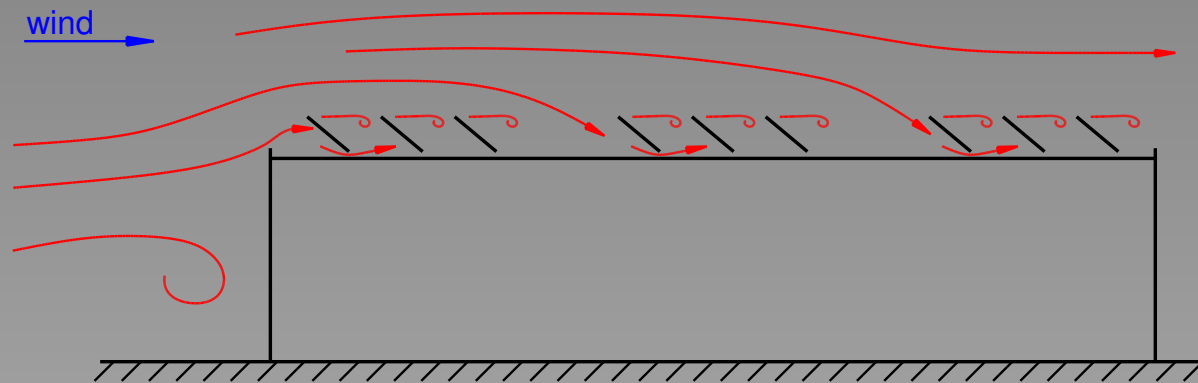
Dachumströmung  
mit PV-Elementen



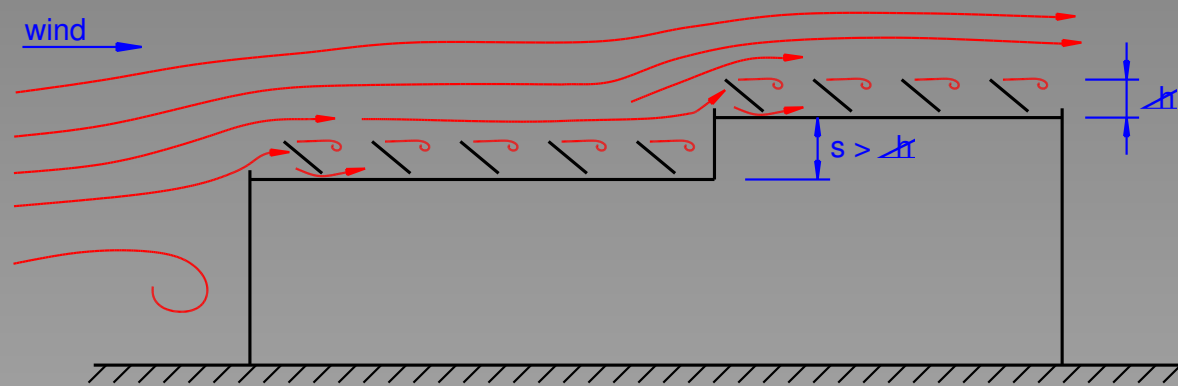
Dachumströmung mit  
PV-Elementen und  
größerem Randabstand



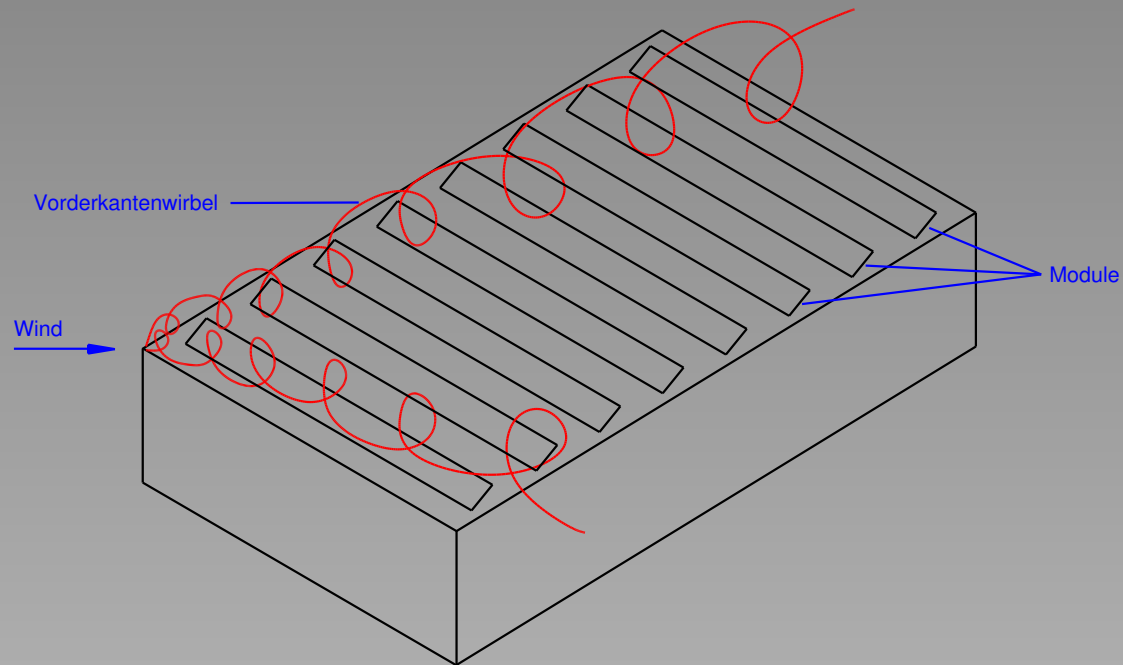
# Lücken zwischen den Modulen



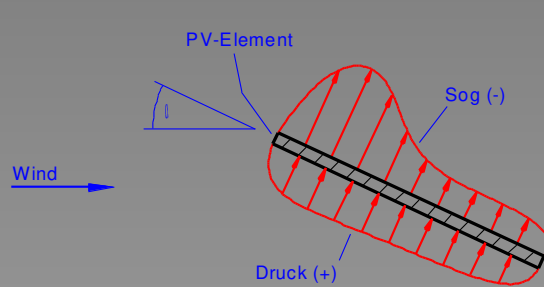
# Stufe auf dem Dach



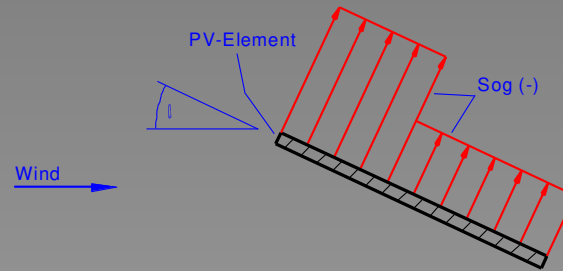
# Vorderkantenwirbelsystem bei Anströmung über Eck



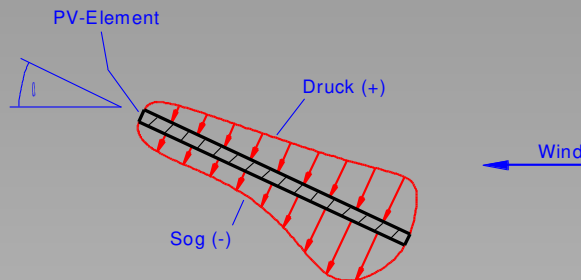
# Wirkliche und Idealisierte Druckverteilung an den Modulen



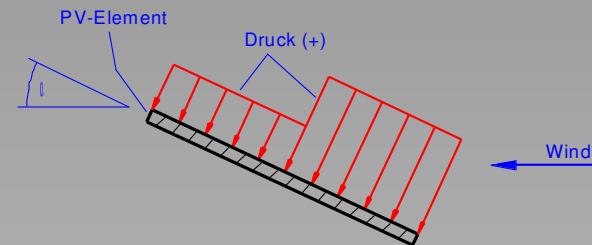
wirkliche Druckverteilung



Beispiel einer idealisierten Druckverteilung



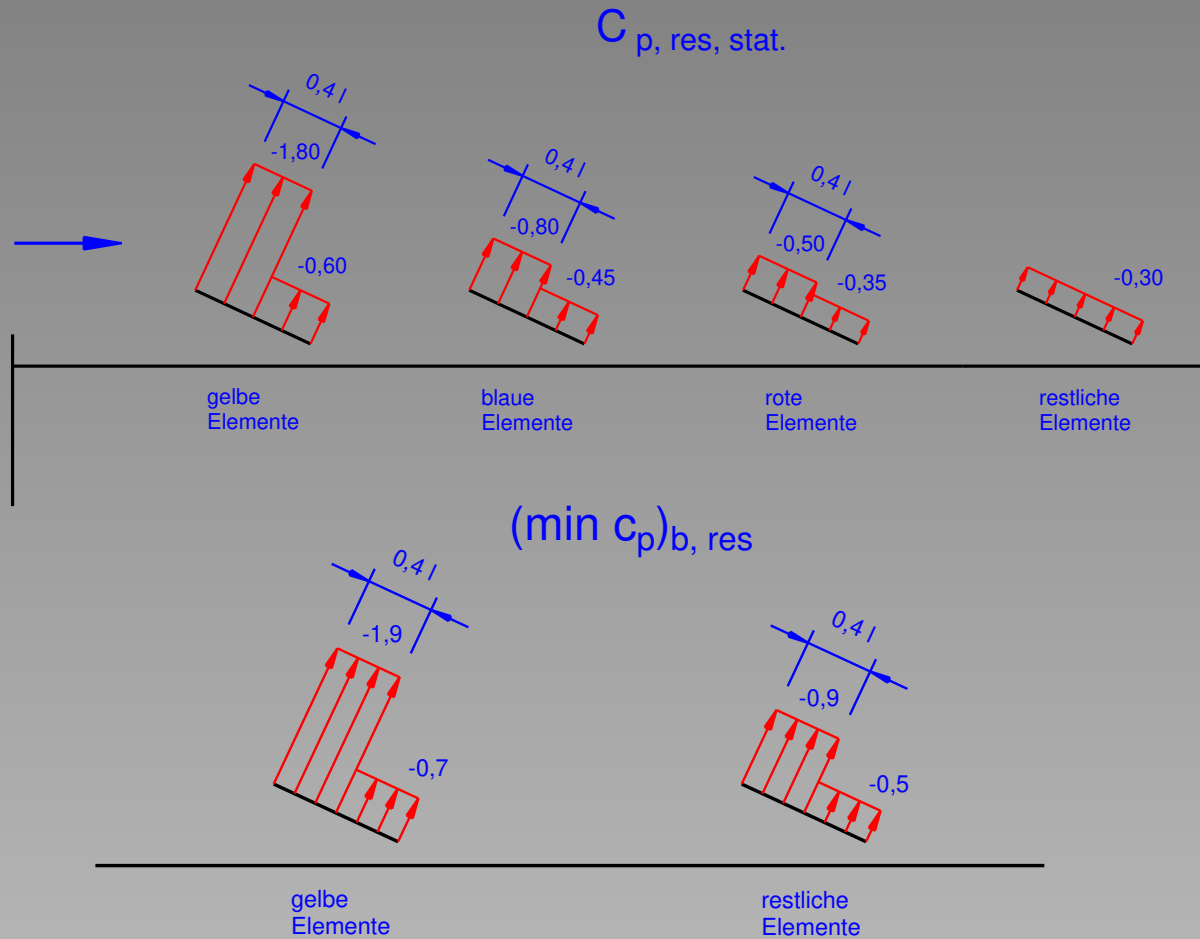
wirkliche Druckverteilung



Beispiel einer idealisierten Druckverteilung

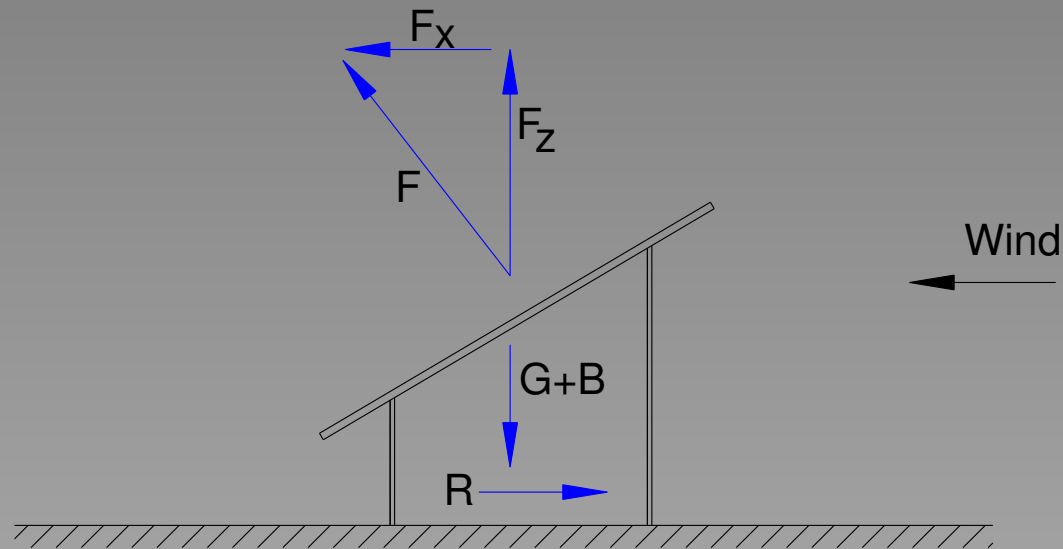


# Exemplarische Belastungsschemata





# Wirkliche und Idealisierte Druckverteilung an den Modulen



Abheben:  $G+B > F_z$

Verschieben:  $R > F_x$

$$R = (G+B - F_z) \mu$$

$\mu = \text{Reibfaktor}$

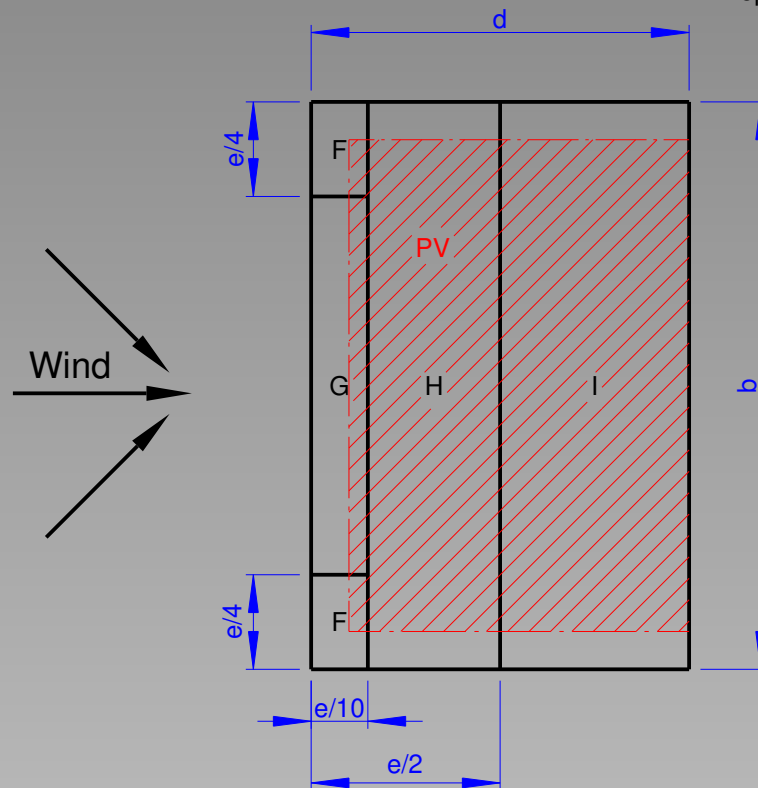


# Einteilung der Dachflächen bei Flachdächern

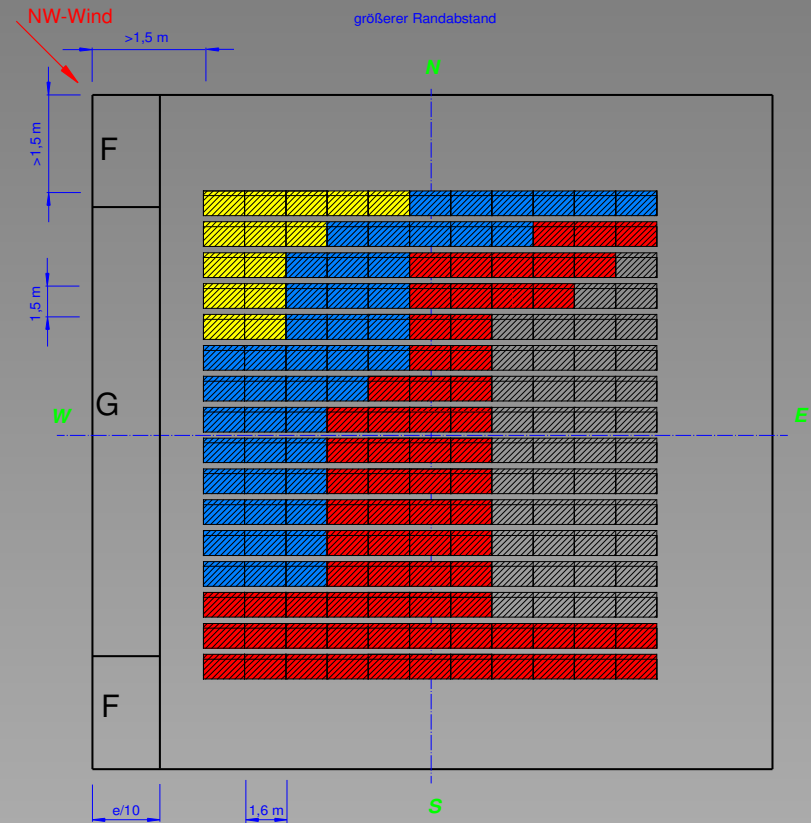
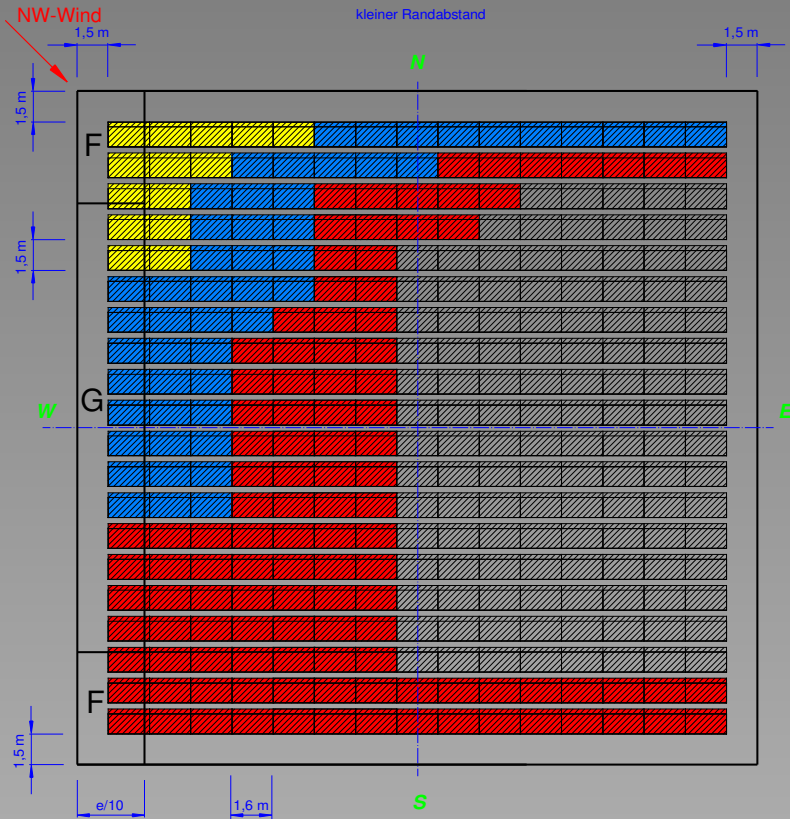
$e = b$  oder  $2h$  der kleinere Wert ist maßgebend  
 $b$ : Abmessung quer zum Wind

z.B.  $h = 10\text{m}$   
$$\frac{e}{10} = \frac{2 * h}{10} = 2\text{m}$$

optimaler Abstand ist  
 $a = 1,50\text{m}$

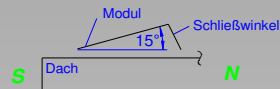


# Belastungszonen



Belastungsstufen:

hohe Sogbelastung → geringe Sogbelastung

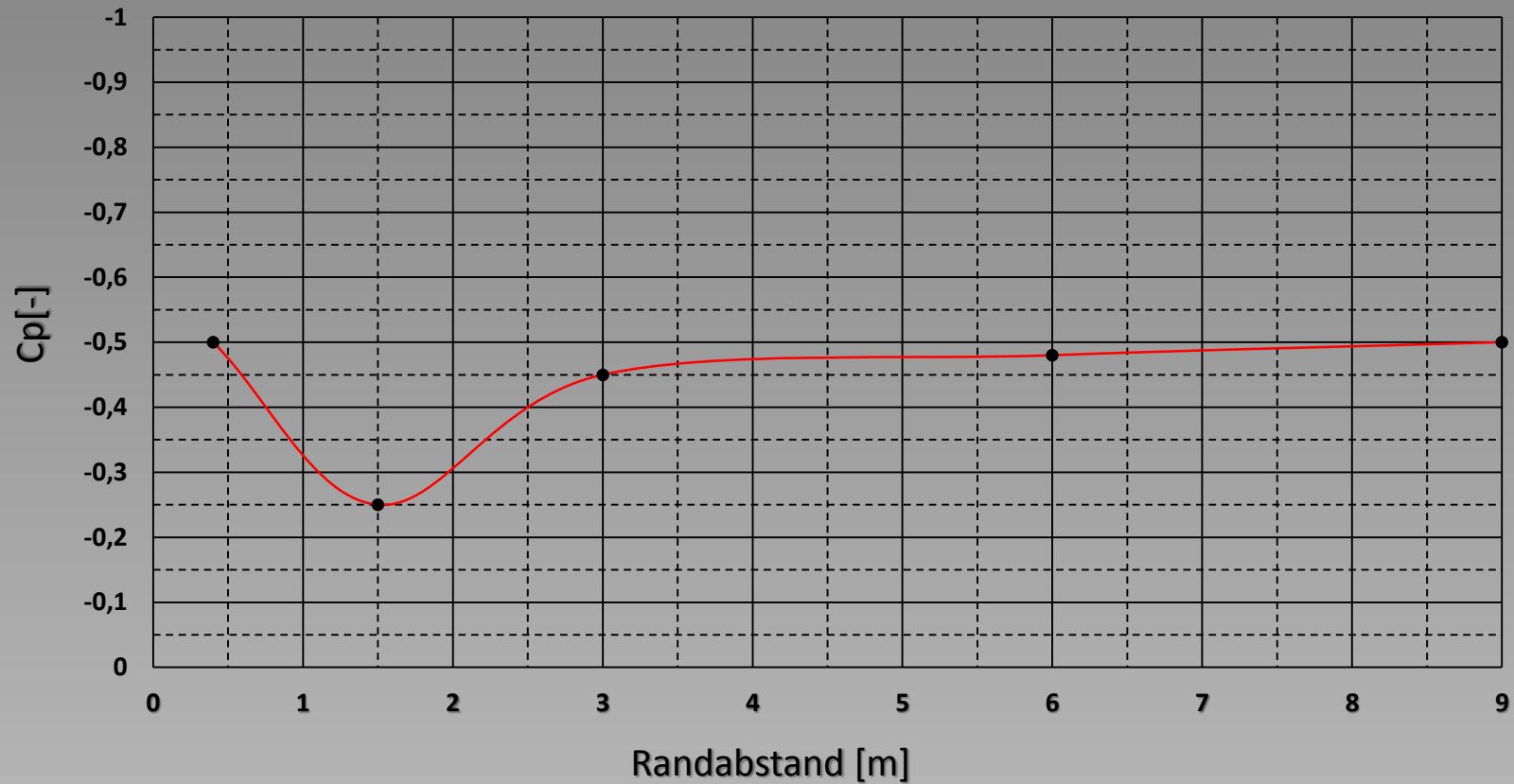
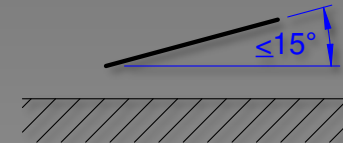


h=10m



# Einfluss des Dachrandabstandes

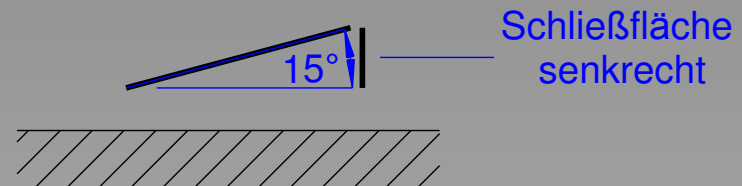
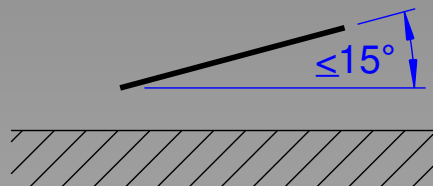
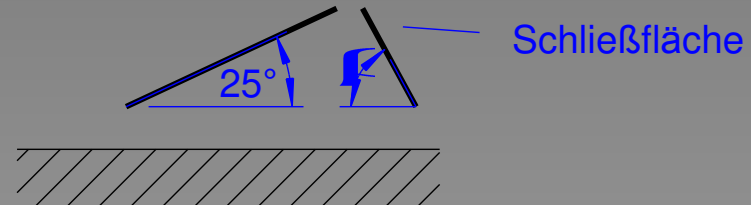
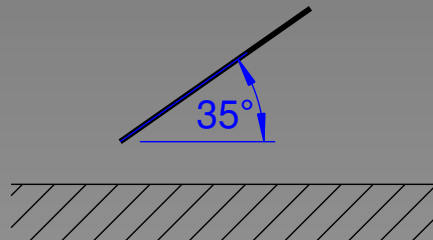
Eckenmodul



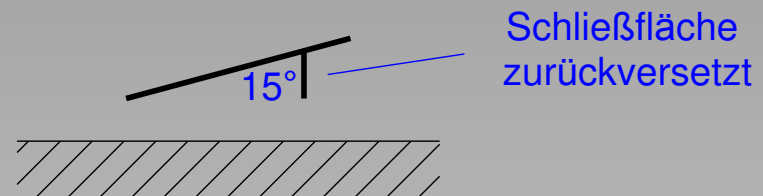
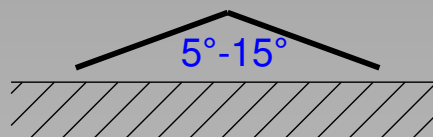
Oft wird fälschlicherweise angenommen, dass durch Freilassen der höher belasteten Bereiche nur die Dachareale mit kleineren Belastungen mit PV-Elementen belegt werden können. Diese Denkweise führt zu der Annahme, dass wenn von Photovoltaikanlagen die hoch belasteten Rand- und Eckenbereiche weggelassen werden, der Randabstand also erhöht wird, die Rand- und Eckenbereiche des nun verkleinerten Feldes die gleichen kleinen Belastungen erfahren, wie vorher, als sie im Windschatten von weiteren Photovoltaikerelementreihen standen. Auf dieser Grundlage erfolgt dann eine falsche Bemessung der PV-Anlage und die Standsicherheit ist nicht mehr gegeben.



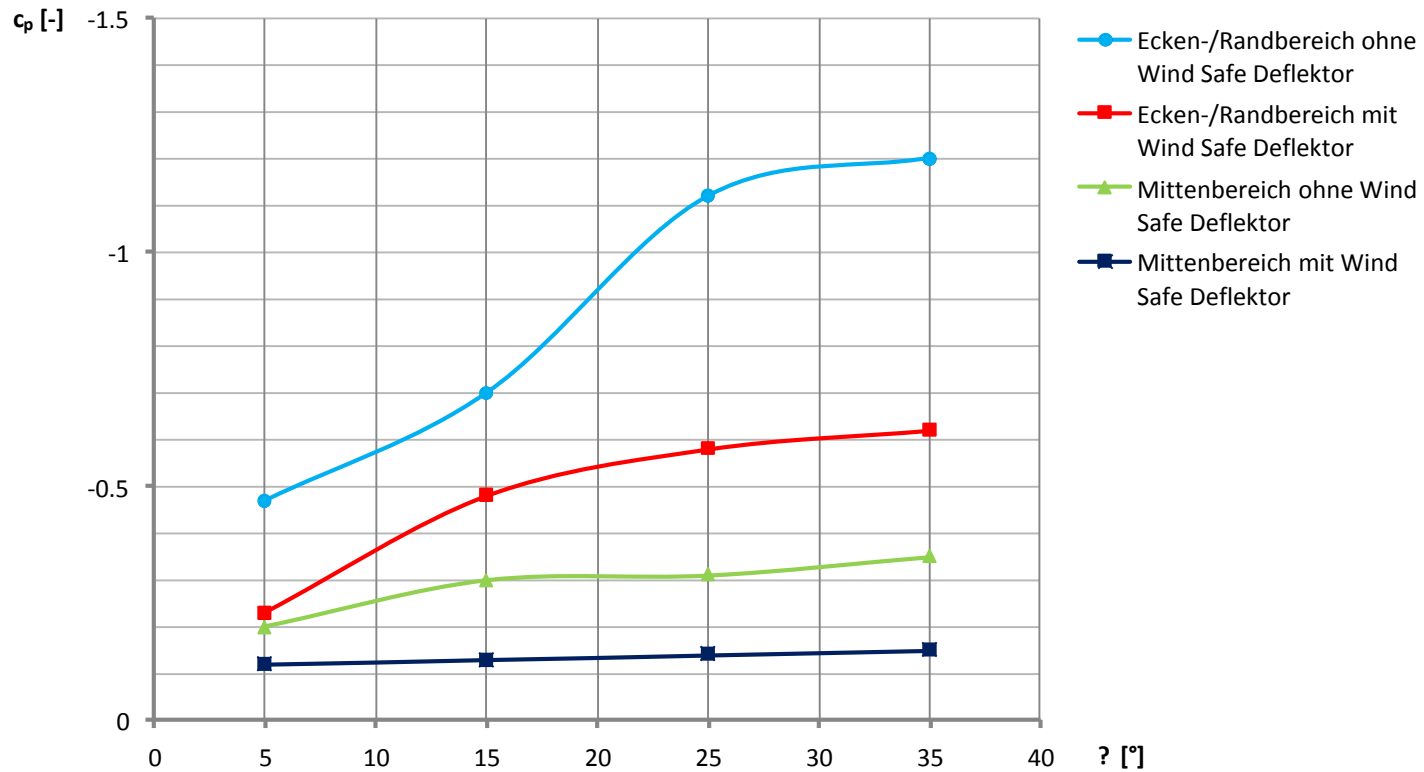
# Entwicklung der Modulaufstellungen



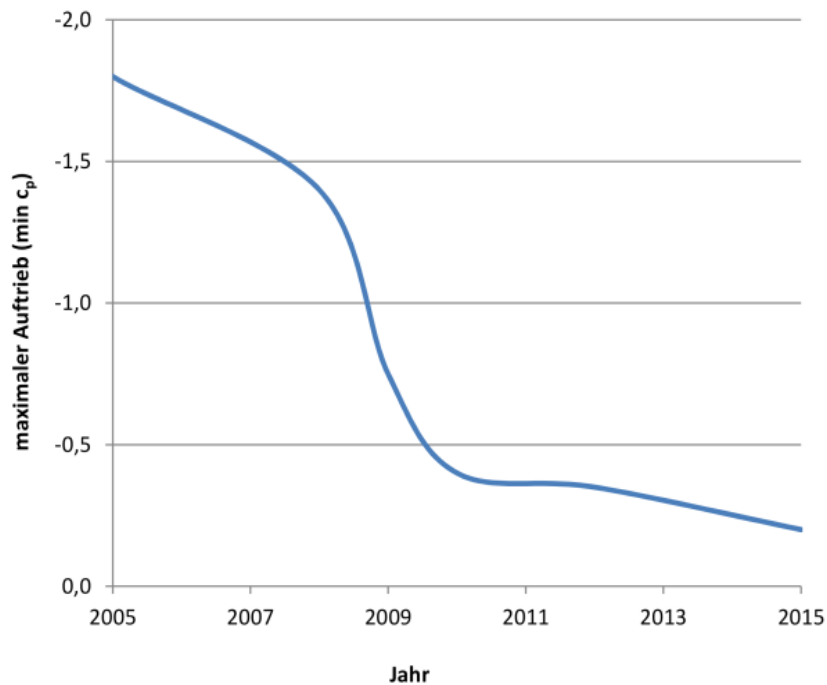
Ost West Aufstellung



## Einfluß des Wind Safe Deflektors auf den Sogbeiwert $c_p$ (stationäre Werte) bei PV - Anlagen auf einem Flachdach



## Entwicklung des Auftriebs an PV Modulen über den Zeitraum von 2005 bis 2015



### Beipielswerte

$c_p$ an der Sogspitze	Konstruktionsprinzip			
	Winkel	Format	Schließwinkel	Ausrichtung
-2,00	$\alpha=25^\circ$	Hoch	nein	Süd
-1,80	$\alpha=25^\circ$	Quer	nein	
-1,40	$\alpha=15^\circ$	Quer	nein	
-0,75	$\alpha=35^\circ$	Quer	ja	
-0,40	$\alpha=15^\circ$	Quer	ja	EW
-0,35	$\alpha=15^\circ$	Quer	-/-	
-0,20 *	$\alpha=15^\circ$	Quer	-/-	

\* aerodynamische Weiterentwicklung





# Normung und Standardisierung

Aufbauend auf den Ergebnissen von Windkanalversuchen und theoretischen Betrachtungen verschiedenster Urheber wird z. Z. versucht, die Windlasten auf PV-Elemente zu standardisieren. Ein Beispiel dafür ist der BRE digest 489 „Wind loads on roof-based photovoltaic systems“ [2]. Die Verfasser des vorliegenden Aufsatzes halten eine Normung / Standardisierung von Windlasten auf PV-Elemente zwar in der Zukunft für notwendig, im Moment jedoch für nicht zweckmäßig, da ständig neue Unterkonstruktionen entwickelt werden, die durch die Standards nicht erfasst werden können. Dem Anwender einer solchen zukünftigen Norm muss deutlich gemacht werden, dass die dort vorgestellten Druckbeiwerte von einer Vielzahl von Einflussparametern abhängig sind und für seine spezielle Anwendung vielleicht einer grundlegenden Modifikation bedürfen. Bis eine brauchbare Norm vorliegt, sollten die Windlasten an PV-Anlagen von speziellen Fachingenieuren bestimmt werden.



Danke für Ihre Aufmerksamkeit

