

Fachliche Stellungnahme zur Ermittlung des Böengeschwindigkeitsdrucks aus der Windgeschwindigkeit

Bei der Planung und Realisierung von Photovoltaikprojekten entstehen regelmäßig Diskussionen über die Größenordnung der in der Statik angesetzten Windgeschwindigkeiten zur Ermittlung der Windbelastung. Hintergrund ist die komplexe technische Systematik der Berechnung auf Grundlage der Baufachnormen, die verschiedene Eingangsgrößen wie die Windzone, Rauigkeit des Geländes und Höhe des nachzuweisenden Bauteils über dem Boden berücksichtigt, während z.B. in der Wettervorhersage nach Sturmereignissen typischerweise die maximal gemessenen Windgeschwindigkeiten in der Einheit km/h angegeben werden.

Bei Photovoltaikanlagen stützen sich Versicherungen, finanzierende Banken und Investoren für die Risikoanalyse auf die plakativen Spitzenwindgeschwindigkeiten, die in der Presse publiziert werden oder bei den Wetterdiensten abgefragt werden können. Bei der Durchsicht der projektspezifischen statischen Berechnung zeigt sich dann häufig, dass für die Berechnung der Windlasten signifikant niedrigere Referenzwindgeschwindigkeiten angesetzt worden sind. Dies führt naturgemäß zu Verunsicherung und im Grenzfall zu Zweifeln an der Richtigkeit der statischen Berechnungen. Die nachfolgenden Erläuterungen sollen zur Verdeutlichung der Vorgehensweise bei der baufachlichen Berechnung von Windlasten und zur Klärung von Missverständnissen dienen.

Windgeschwindigkeiten werden an einer Vielzahl von repräsentativen Messstationen mit Anemometern (auch Anemograph genannt) aufgezeichnet. Bild 1 zeigt exemplarisch den Messschrieb eines Anemographen über einen Zeitraum von 700 Sekunden. Die blaue Kurve stellt das genaue Messsignal dar, während die schwarze Kurve eine Glättung der Messreihe über ein definiertes Zeitintervall durch Mittelwertbildung repräsentiert. In der Fachwelt wird die gemittelte schwarze Kurve als stationärer Anteil der Windgeschwindigkeit bezeichnet. Die Abweichungen der blauen Kurve von der schwarzen Kurve nennt man den instationären Anteil der Windgeschwindigkeit, der auf Böigkeit und lokale Turbulenzen zurückzuführen ist. Die im Bauwesen verwendete Referenzwindgeschwindigkeit v_{ref} stellt den stationären Anteil in Form eines 10-Minuten Mittelwerts in offenem Gelände in 10 m Höhe über dem Boden dar.

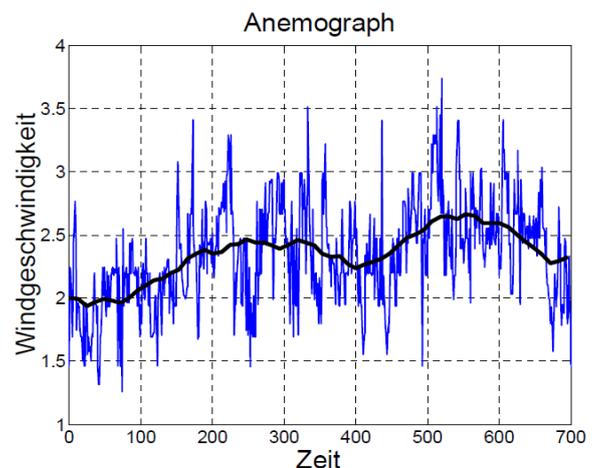


Bild 1 exemplarische Darstellung des Messschriebs eines Anemographen

Dabei handelt es sich statistisch gesehen um diejenige Größe, die in einem 50-jährigen Betrachtungszeitraum nur einmal erreicht oder überschritten wird. Die Auswertung der Referenzwindgeschwindigkeiten basiert auf den Messreihen einer Vielzahl von Messstationen (188) über einen Zeitraum von zum Teil mehreren Jahrzehnten. Die Referenzwindgeschwindigkeit enthält keinerlei Böeneinflüsse und gilt genau für die Bedingungen einer Messung in einer Höhe von 10 m über dem Boden.

Anhand der ausgewerteten Ergebnisse der Messstationen wurde für Deutschland eine Windzonenkarte erarbeitet, die in den Fachnormen für die Lastannahmen DIN 1055-4 und Eurocode 1 (DIN EN 1991-1-4/NA), der die nationale Norm im Zuge der europäischen Harmonisierung ersetzen wird, publiziert ist. Bild 2 zeigt die Einteilung in 4 Windzonen, denen nachfolgende Grundwerte der Bezugswindgeschwindigkeiten v_{ref} zugrunde liegen.

- Windzone 1: 22,5 m/s (81 km/h)
- Windzone 2: 25,0 m/s (90 km/h)
- Windzone 3: 27,5 m/s (99 km/h)
- Windzone 4: 30,0 m/s (108 km/h)

Die Umrechnung von der Einheit Meter pro Sekunde in die Einheit Kilometer pro Stunde erfolgt durch Multiplikation mit dem Faktor 3,6. Die berechneten Werte von 81-108 km/h verdeutlichen die scheinbare Diskrepanz zu den Spitzenwindgeschwindigkeiten bei Sturmereignissen.

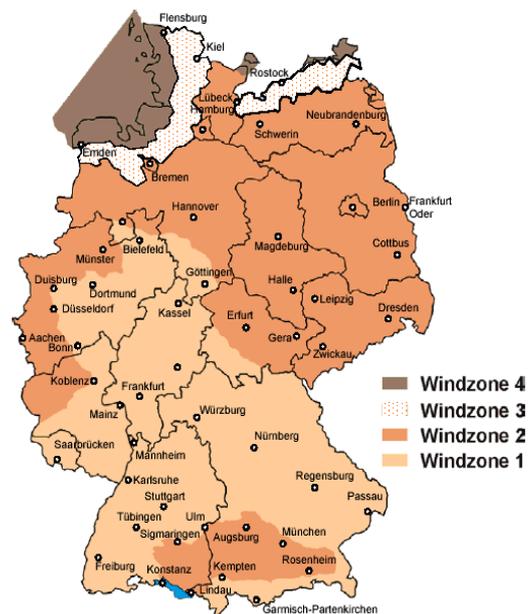


Bild 2 Windzonenkarte für Deutschland

Die Grundlage für die Tragwerksplanung bildet aber nicht die Windgeschwindigkeit, sondern der aus der Windgeschwindigkeit abgeleitete Staudruck. Der Bezugsstaudruck q_{ref} berechnet sich aus dem Grundwert der Bezugswindgeschwindigkeit v_{ref} gemäß folgender Gleichung:

$$q_{ref} = v_{ref}^2 / 1600 \quad \text{in kN/m}^2$$

Dabei ist hervorzuheben, dass die Windgeschwindigkeit im Quadrat eingeht. Das bedeutet bei einer Verdopplung der Windgeschwindigkeit eine Vervierfachung des Staudrucks.

Erst in einem weiteren Schritt werden die Einflüsse der Bauwerks Umgebung und der Höhe des Elements über dem Grund berücksichtigt. Bild 3 verdeutlicht diesen Zusammenhang für offenes Gelände, eine dörfliche Umgebung und eine großstädtische Bebauung.

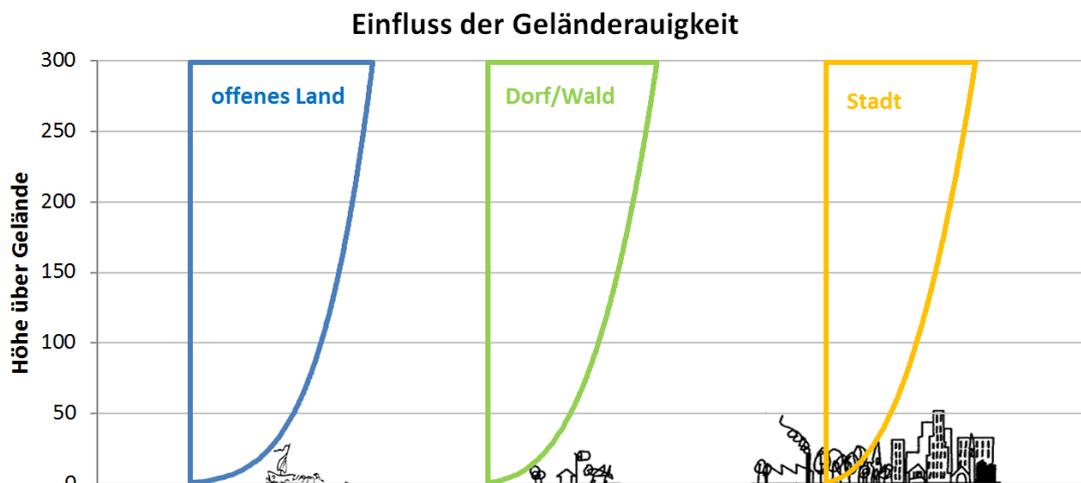
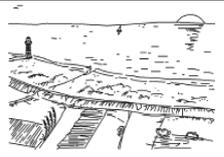
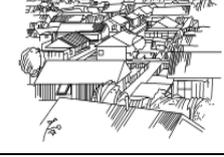


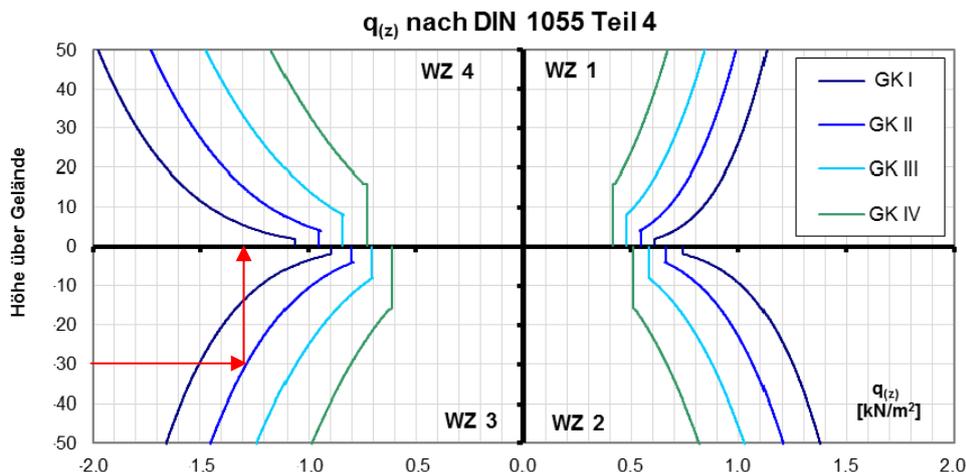
Bild 3 Einfluss der Bodenrauigkeit auf die Windgeschwindigkeit

Die Bebauung oder Bepflanzung setzt dem Windstrom in Bodennähe einen Widerstand entgegen und übt damit eine bremsende Wirkung durch Reibungswiderstand aus. Dieser Effekt wird als Bodenrauigkeit bezeichnet und in der Normung durch eine Einordnung des Standorts in eine sogenannte Geländekategorie berücksichtigt. Gemäß Tabelle 1 sehen die Regelungen für Deutschland die Geländekategorien I-IV vor. Im Übergangsbereich zwischen zwei Geländekategorien sind Mischkategorien zu beachten.

In Bild 4 ist eine graphische Auswertung der berechneten Böengeschwindigkeitsdrücke in Abhängigkeit von der Windzone, der Geländekategorie und der Höhe über der Geländeoberkante dargestellt. In den 4 Quadranten sind jeweils die Winddruckprofile für die 4 Geländekategorien in den Windzonen 1-4 aufgetragen. Auf der vertikalen Achse ist die Höhe über dem Gelände angegeben, auf der horizontalen Achse kann der Böengeschwindigkeitsdruck abgelesen werden. Zur Verdeutlichung der Vorgehensweise ist in Bild 4 ein Beispiel angegeben. Für ein Objekt in Windzone 3, Geländekategorie II und einer Höhe von 20 m über Grund lässt sich ein Böengeschwindigkeitsdruck $q_{(z)} = 1,3 \text{ kN/m}^2$ ablesen. Dieser Wert lässt sich hypothetisch in eine äquivalente Windgeschwindigkeit von $v = 164 \text{ km/h}$ umrechnen ($v = 144 \cdot q^{1/2}$). Plakativ wird hier die Referenzwindgeschwindigkeit mit einem Böenreaktionsfaktor vergrößert. Bezogen auf die Windgeschwindigkeit kann dieser für das betrachtete Beispiel mit 1,29 beziffert werden.

Tabelle 1 Einstufung in Geländekategorien gemäß DIN 1055 Teil 4

<p>Geländekategorie I:</p> <p>glattes, flaches Land ohne Hindernisse</p>	
<p>Geländekategorie II:</p> <p>Gelände mit Hecken, einzelnen Gehöften, Häusern oder Bäumen, z.B. landwirtschaftliches Gebiet</p>	
<p>Geländekategorie III:</p> <p>Vorstädte, Industrie- oder Gewerbegebiete, Wälder</p>	
<p>Geländekategorie IV:</p> <p>Stadtgebiete, bei denen mindestens 15 % der Fläche mit Gebäuden bebaut sind, deren mittlere Höhe 15 m überschreitet</p>	



Beispiel:

Windzone 3
Geländekategorie II
Höhe $z = 30 \text{ m}$

$q_{(z)} = 1,3 \text{ kN/m}^2$

äquivalente Windgeschwindigkeit

$v = 164 \text{ km/h}$

Bild 4 Graphische Auswertung der Böengeschwindigkeitsdrücke

Bild 5 zeigt die rechnerische Auswertung der äquivalenten Windgeschwindigkeiten für die verschiedenen Windzonen und Geländekategorien. Die Werte liegen abhängig von den Eingangsparametern zwischen 93 und 200 km/h. Damit liegen die äquivalenten Windgeschwindigkeiten durchaus im Spektrum dessen, was bei Sturmereignissen als Spitzenwindgeschwindigkeit gemessen wurde. Ergänzend ist anzumerken, dass die Windlasten bei statischen Berechnungen mit einem Sicherheitsbeiwert von 1,5 erhöht werden.

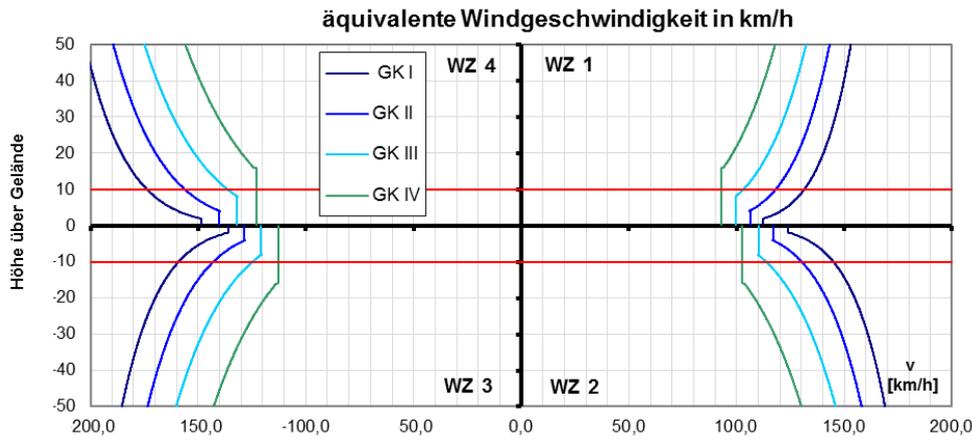


Bild 5 Umrechnung der Böengeschwindigkeitsdrücke in äquivalente Windgeschwindigkeiten

Eine genauere Betrachtung der Darstellung in Bild 4 verdeutlicht, dass bei bodennahen Konstruktionen wie Freilandanlagen durchaus niedrigere Böengeschwindigkeitsdrücke bzw. äquivalente Windgeschwindigkeiten angesetzt werden, als die benannten Spitzenwindgeschwindigkeiten. Letztere werden jedoch im Regelfall von den offiziellen Wetterstationen aufgezeichnet, die per Definition an Standorten in offenem Gelände 10 m über Grund aufgestellt sind. Aus mechanischer Sicht ist die Abminderung der Staudrücke in Bodennähe nachvollziehbar.

Der Vollständigkeit halber muss erwähnt werden, dass bei exponierten Lagen an und auf isolierten Hügeln und Geländestufen eine Erhöhung der Windgeschwindigkeit infolge einer Einschnürung des Strömungsprofils auftreten kann. Nach den normativen Regelungen können derartige Effekte durch Berücksichtigung eines sogenannten Topographiefaktors erfasst werden. Dieser kann in ungünstigen Lagen eine Erhöhung der Windgeschwindigkeiten um bis zu 50% bewirken. Dies gilt nicht für normales hügeliges Gelände, sondern nur für exponierte Lagen. Als plakatives Beispiel kann eine Mülldeponie in ansonsten flachem Umland genannt werden, die zunehmend als Standort für Freilandanlagen gewählt werden.

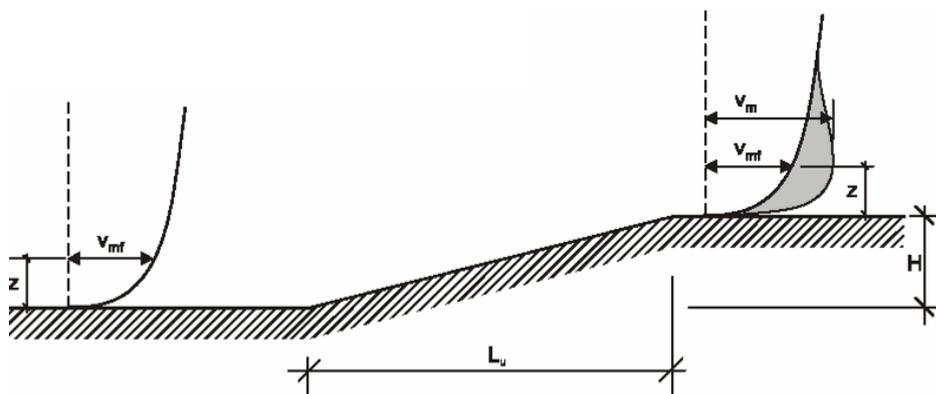


Bild 6 Beeinflussung der Windgeschwindigkeit durch Topografiewechsel.

Zusammenfassend kann festgehalten, dass bei Sturmereignissen gemessene Spitzenwindgeschwindigkeiten mit den Lastansätzen nach DIN 1055 Teil 4 korrelieren, auch wenn die normative Aufteilung in mittlere Windgeschwindigkeit aus dem stationären Anteil und einen Böenreaktionsfaktor sich dem technischen Laien nicht unmittelbar erschließt.

C. Zapfe