

Neue Flickerbewertung in FGW Richtlinie

New Flicker Assessment in the FGW Guideline

Klosse, Rainer; Santjer, Fritz; Gerdes, Gerhard J.: DEWI

Summary

In the course of this spring a new version of the German technical guideline for power quality of wind turbines [1] will come up. The main change of the next edition of the guideline is, that a wind distribution function will be considered within the flicker assessment method. This paper will give a comparison between the actual and the draft new version. It will be shown by means of an example, that the new method gives a more reasonable assessment for the flicker factor c . Additionally it is shown, that the new Flicker assessment method gives a better reproducibility of the measurements; the assessment is more independent from the number of data than the actual assessment method. The new method allows to calculate the accuracy, if Flicker at wind speeds above 18 m/s will not be taken into account.

1 Einleitung

Im Verlaufe dieses Frühjahres wird eine neue Version der Technischen Richtlinie [1] erwartet. Hierbei wird sich im Bereich der Messung der Netzeigenschaften von Windenergieanlagen vor allem das Verfahren zur Bewertung des Flickerverhaltens ändern. Die neu geplante Flickerbewertung berücksichtigt die Windgeschwindigkeitsverteilung eines Jahres und damit die Häufigkeitsverteilung des Auftretens von Flicker. Sie entspricht, abgesehen von den Messintervallzeiten weitgehend dem Flickerbewertungsverfahren, das im Entwurf der IEC 61400-21 [2] vorgegeben ist. In diesem Artikel wird das geplante Flickerverfahren vorgestellt und Vergleiche zu dem bisherigen Verfahren gezogen.

2 Verfahren zur Bestimmung des Langzeitflickerwertes

Hauptverbesserung des demnächst in [1] angewandten Verfahrens ist der Bezug der Häufigkeit aller aufgetretenen Flickerwerte auf eine Windgeschwindigkeitsverteilung.

Aufgrund der Abhängigkeit des Flickers von der Leistung und damit von der Windgeschwindigkeit hat die jährliche Windgeschwindigkeitsverteilung Einfluss auf die Erzeugung, Intensität und Häufigkeit von Flicker. Nach der bislang gültigen FGW Richtlinie werden alle Flickerwerte in 10% Wirkleistungsklassen, bezogen auf die Nennleistung, sortiert. Eine Messkampagne ist vollständig, wenn alle Klassen gleichmäßig mit einer Mindestanzahl von Messwerten gefüllt sind. Zur Bestimmung des Langzeitflickerwertes werden nur die Klasse mit dem höchsten Flickermittelwert und ihre benachbarten Klassen herangezogen; diese repräsentieren jedoch nicht die jährlich auftretende reale Verteilung der Flickerwerte. Das neue Verfahren passt den Flickerdatensatz an die Windgeschwindigkeitsverteilung eines Jahres an. Werte, die in einem Jahr selten auftreten, werden weniger gewichtet, und Werte, die im Jahresverlauf häufig auftreten, rücken in den Vordergrund.

Die Ermittlung der strombezogenen Flickerwerte P_{st} geschieht in gleicher Weise wie in dem bisherigen Verfahren, siehe [3] und [4]. Allerdings werden in dem neuen Verfahren die Bezugsimpedanzwinkel 30° , 50° , 70° und 85° gemäß den Vorgaben der IEC Richtlinie [2] verwendet. Mit Hilfe der strombezogenen Flickerwerte P_{st} , der dazugehörigen gemessenen Windgeschwindigkeitswerte und einer vorgegebenen jährlichen Windgeschwindigkeitsverteilung kann der Kurzzeitflickerwert P_{st} bestimmt werden, der zu 99% der Zeit eines Jahres nicht überschritten wird. Dieser wird dann als Langzeitflickerwert P_{lt} definiert. Gemessen wird, wenn nötig, bis zu einer Windgeschwindigkeit von 18 m/s.

In der geplanten Änderung der FGW Richtlinie werden die P_{st} -Werte in Klassen der Windgeschwindigkeit von 1 m/s Breite klassiert und die relative Häufigkeit der P_{st} -Werte $f_{m,i}$ je Windgeschwindigkeitsklasse nach Gleichung (1) ermittelt.

$$f_{m,i} = \frac{N_{m,i}}{N_m} \quad (1)$$

Hierbei ist N_m die Gesamtanzahl der Messungen und $N_{m,i}$ die Anzahl der Messungen in einer Windgeschwindigkeitsklasse. Aus der Rayleigh-Windgeschwindigkeitsverteilung mit einer mittleren Jahreswindgeschwindigkeit von 8,5 m/s, die als Referenz gelten soll, wird nach Gleichung (2) die relative Häufigkeit der Windgeschwindigkeit für jede Windgeschwindigkeitsklasse $f_{v,i}$ berechnet. Die Referenz von 8,5 m/s stellt in vielen Fällen eine worst-case-Situation dar, weil die meisten WEA mit steigender

Windgeschwindigkeit eine Zunahme an Flicker verzeichnen, was eine stärkere Gewichtung der Flickerwerte bei höheren Windgeschwindigkeiten bewirkt.

$$f_{v,i} = \exp\left(-\frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{v_i - 0,5 \text{ m/s}}{8,5 \text{ m/s}}\right)^2\right) - \exp\left(-\frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{v_i + 0,5 \text{ m/s}}{8,5 \text{ m/s}}\right)^2\right) \quad (2)$$

Dabei ist v_i die Windgeschwindigkeit der i . Klasse. Beide Häufigkeitsverteilungen sind in Abbildung 1 beispielhaft dargestellt. Das Verhältnis $f_{v,i}$ zu $f_{m,i}$ ergibt nach Gleichung (3) den Gewichtungsfaktor w_i , der die Relevanz der Flickerwerte bei der jeweiligen Windgeschwindigkeitsklasse i angibt, siehe Abbildung 2. Zu jedem P_{st} -Wert in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeitsklasse gehört folglich ein Gewichtungsfaktor w_i .

$$w_i = f_{v,i} / f_{m,i} \quad (3)$$

Sind beispielsweise prozentual weniger Flickerwerte in einer Windgeschwindigkeitsklasse vorhanden als in der Referenzwindgeschwindigkeitsverteilung vorgegeben, so hat jeder einzelne Flickerwert in dieser Klasse eine höhere Gewichtung ($w_i > 1$), und fällt daher für die weitere Auswertung stärker ins Gewicht.

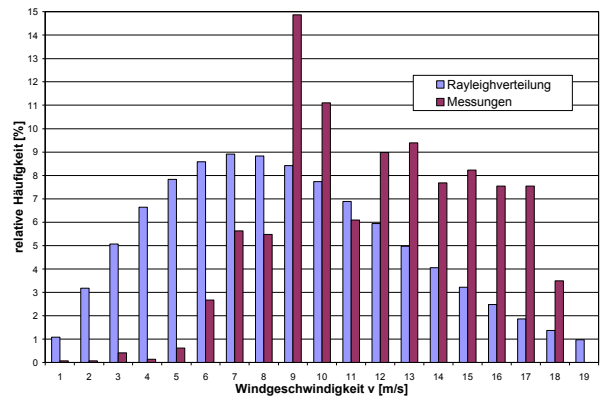


Abb. 1: Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit nach Rayleigh für eine mittlere Jahreswindgeschwindigkeit von 8,5m/s und einer Wind-Messkampagne

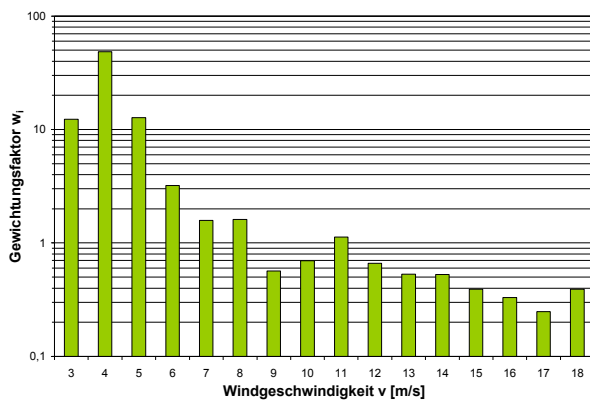


Abb. 2: Gewichtungsfaktoren w_i

Mit der Summenhäufigkeitsfunktion von Gleichung (4) wird dann der 99%- P_{st} -Wert bestimmt, welcher aussagt, dass zu 99% der Zeit eines Jahres an einem Standort mit der gegebenen Windgeschwindigkeitsverteilung dieser Wert nicht überschritten wird. Dieser 99%- P_{st} -Wert wird dem P_{lt} -Wert gleich gesetzt. Gleichung (4) wird sinngemäß auch in der IEC [5] verwendet.

$$99\% = \frac{\sum_{i=1}^{N_i} w_i \cdot N_{m,i,P_{st} \leq P_{lt}}}{\sum_{i=1}^{N_i} w_i \cdot N_{m,i}} \cdot 100\% \quad (4)$$

Hierbei ist N_i die Nummer des höchsten Windbins i , $N_{m,i}$ die Anzahl der P_{st} -Werte im Windbin i und $N_{m,i,P_{st} < P_{lt}}$ die Anzahl der P_{st} -Werte im Windbin i , die kleiner oder gleich sind als P_{lt} . Die Bestimmung des Anlagenflickerbeiwertes $c(\psi)$ geschieht dann in gleicher Weise wie in der bisher gültigen Version der Richtlinie [1] nach Gleichung (5).

$$c(\psi) = P_{lt}(\psi) \cdot \frac{S_k}{S_{nG}} \quad (5)$$

Hierbei ist S_k die angenommene Kurzschlussleistung des Netzes am Anschlusspunkt der WEA und S_{nG} der aus einer Messung ermittelte Wert der Scheinleistung der WEA bei der vom Hersteller angegebene Nennwirkleistung P_{nG} .

3 Auswirkungen des neuen Verfahrens auf das Endergebnis

Der wesentliche Unterschied zum alten Verfahren liegt darin, dass diejenigen Flickerwerte ein stärkeres Gewicht erhalten, die sich im Bereich häufig auftretender Windgeschwindigkeiten befinden. Diese liegen für reale Standorte vornehmlich im Teillastbereich der WEA. Treten beispielsweise bei einer WEA die höchsten Flickerwerte bei hohen Windgeschwindigkeiten auf, so werden nach bisherigem Verfahren diese Werte in gleicher Weise als maßgeblich für die Flickererzeugung bewertet, wie die gleich hohen Werte einer anderen WEA, die diese Flickerwerte im Teillastbereich produziert. Letztere Anlage erzeugt jedoch eine vergleichsweise höhere Flickerbelastung, da der Betrieb im Teillastbereich wesentlich häufiger auftritt, als der Betrieb im Nennlastbereich bei hohen Windgeschwindigkeiten. Der 99% Wert nach dem alten Verfahren hatte letztlich keinerlei realen Zeitbezug.

Die Abbildungen 3 und 4 zeigen das Flickerverhalten einer WEA bei den Netzimpedanzwinkeln 0° und 85° . Der nach dem neuen Verfahren berechnete Langzeitflickerwert P_{It} , also 99%- P_{st} -Wert, wurde eingetragen. Es ist das grundsätzlich unterschiedliche Verhalten des Flickers bei unterschiedlichen Netzimpedanzen zu beobachten.

Netzimpedanzwinkel ψ	0°	30°	50°	85°
$c(\psi)$ Wirkleistungsklassierung (bisherige Richtlinie)	11,4	7,9	7,3	8,5
$c(\psi)$ Rayleighgewichtung (neue Richtlinie)	10,4	7,5	6,5	7,3

Tab. 1: Vergleich zwischen der Wirkleistungsklassierung und der Rayleighgewichtung.

Zum Vergleich zwischen den Auswerteverfahren wurden für diesen Datensatz die Anlagenflickerwerte $c(\psi)$ für vier Netzimpedanzwinkel nach der bisherigen und der zu erwartenden Richtlinie berechnet und in Tabelle 1 eingetragen.

Tabelle 1 zeigt eine generell günstigere Bewertung der WEA nach dem neuen Verfahren. Dies liegt bei dem Netzimpedanzwinkel von 0° zum einen daran, dass mit steigender Windgeschwindigkeit der Flicker weiter ansteigt. Nach dem neuen Verfahren können aber wesentlich mehr Werte im Bereich höherer Windgeschwindigkeiten toleriert werden, da diese relativ selten auftreten.

Der ähnlich große Abstand auch bei einem Netzimpedanzwinkel von 85° lässt sich dadurch begründen, dass nach dem neuen Verfahren bei mittleren Windgeschwindigkeiten zwar weniger als bei hohen Windgeschwindigkeiten, aber immer noch mehr Werte toleriert werden können als nach dem bisherigen Verfahren. Die Werte im Bereich von 10 m/s sind aufgrund eines ab und zu auftretenden Schaltvorgangs einer Maschinenkomponente weit gestreut. Jeder tolerierte Wert führt an dieser Stelle zu einer deutlichen Reduzierung des Langzeitflickerwertes P_{It} .

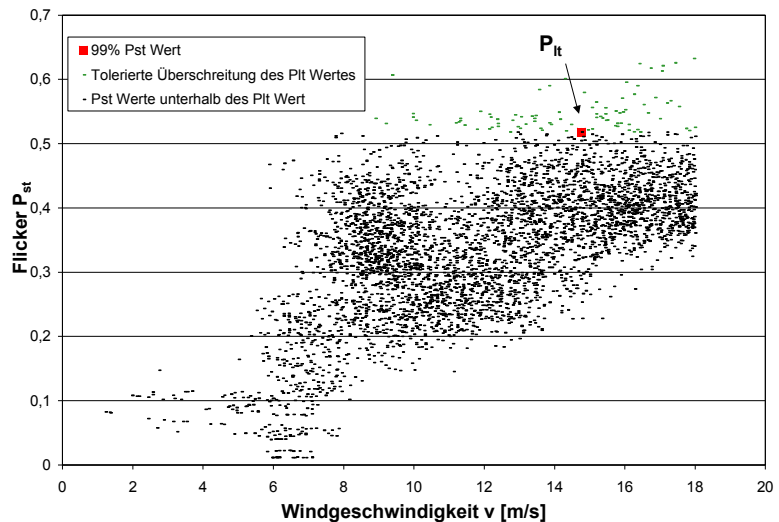


Abb. 3: Flickerbewertung nach Rayleighgewichtung bei einem Netzimpedanzwinkel von $\psi=0^\circ$

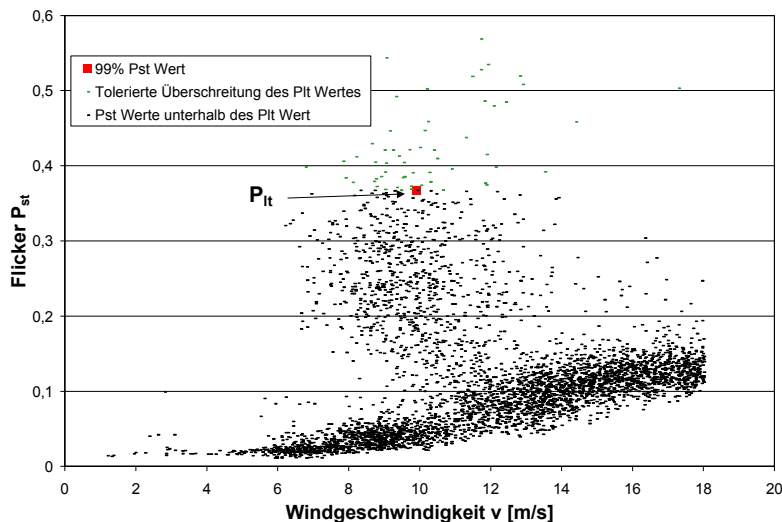


Abb. 4: Flickerbewertung nach Rayleighgewichtung bei einem Netzimpedanzwinkel von $\psi=85^\circ$

Ein weiterer Vorteil des neuen Verfahrens liegt darin, dass immer der gesamte Datensatz zur Bewertung herangezogen wird, und nicht nur Daten von drei Leistungsklassen. Tabelle 2 zeigt wie groß die Abweichungen je nach Verfahren sind, wenn bei dem genannten Beispiel mit Erreichen der geforderten Anzahl von Messungen abgebrochen wird oder wenn zur höheren statistischen Sicherheit die vierfache Menge an Werten im hohen Wirkleistungsbereich herangezogen wird.

Netzimpedanzwinkel ψ		0°	30°	50°	85°
Abweichung von $c(\psi)$ bei reduziertem Datensatz	Wirkleistungsklassierung (bisherige Richtlinie)	5,3%	2,5%	0%	0%
	Rayleighgewichtung (neue Richtlinie)	2,9%	0%	0%	0%

Tab. 2: Abweichung des Anlagenflickerbeiwertes $c(y)$ unter Verwendung eines reduzierten Datensatzes

Aus Tabelle 2 ist zu erkennen, dass sich nur dort Änderungen bemerkbar machen, wo die Flickerkurve die höchsten Werte aufweist und gleichzeitig Daten reduziert wurden, also bei 0° und 30°. Das neue Verfahren zeigt gegenüber dem bisherigen Verfahren somit eine bessere Reproduzierbarkeit der Messergebnisse.

Ein weiterer Vorteil gegenüber der neuen Richtlinie ist, dass die Windgeschwindigkeit festgelegt ist, bis zu der gemessen werden muss. Wenn nach der neuen Richtlinie bis 18 m/s gemessen wird, so sind 3% eines Jahres nach der Rayleighverteilung bei der Bewertung des Flickers ausgeschlossen. Im Extremfall, wenn ab dieser Windgeschwindigkeit alle Flicker P_{st} -Werte höher sind als der ermittelte P_{lt} -Wert, wird anstatt der gewünschten 99% Wert der 99% - 3% = 96%-Wert eines Jahres bestimmt. Dieser Fall ist in der Praxis bis jetzt, soweit er untersucht wurde, nicht aufgetreten. In Abbildung 3 ist z.B. nicht vorstellbar, dass alle Flickerwerte oberhalb von 18 m/s den P_{lt} Wert überschreiten. Einen Zwang zur Messung oberhalb von 18 m/s würde eine solche Messung unverhältnismäßig verteuern, oder sogar an einigen Schwachwindstandorten zur Glückssache machen.

Nach dem bisherigen Verfahren kann strenggenommen eine Messung als vollständig gelten, wenn die maximale Leistung einer WEA erreicht ist. Für eine WEA, welche mit 14 m/s diese Leistung erreicht, bedeutet dies, dass entsprechend der Rayleighverteilung 12% der Zeit eines Jahres nicht berücksichtigt werden. Daher haben sich die drei Messinstitute darauf geeinigt eine Messkampagne bei steigenden Flickerwerten mit hohen Windgeschwindigkeiten einheitlich bis 17 m/s durchzuführen.

4 Zusammenfassung

Es wurde das Verfahren vorgestellt, nach dem in Zukunft gemäß der Richtlinie [1] der Flicker bewertet werden soll. Beim Anwenden des Anlagenflickerbeiwertes c , welcher im Auszug aus dem Prüfbericht dieser Richtlinie eingetragen ist, ergeben sich keine Veränderungen. Jedoch haben Anlagen, die nur bei seltenen Windgeschwindigkeiten hohe Flickerwerte erreichen, mit einem kleineren Anlagenflickerbeiwert zu rechnen als WEA, deren höchste Flickerwerte in den häufigen Windgeschwindigkeiten liegen. Anhand eines Beispiels, bei dem Daten reduziert wurden, ist mit dem neuen Verfahren eine höhere Reproduzierbarkeit der Flickerbewertung beobachtet worden. Desweiteren hat das neue Verfahren einen geringeren systematischen Fehler bei WEA, deren Flickerwerte mit steigender Windgeschwindigkeit weiter ansteigen.

5 Literatur

- [1] Richtlinie zur Bewertung der elektrischen Eigenschaften einer WEA. Rev. 12, Hrsg.: Fördergesellschaft Windenergie.
- [2] Draft IEC 61400-21: Power quality requirements for grid connected wind turbines. IEC 88/101/CD: 1998-12.
- [3] Flickererzeugung durch Windenergieanlagen. R. Klosse, F. Santjer, G. Gerdes. DEWI-Magazin Nr. 10, Februar 1997, Seite 30.
- [4] Flickerbewertung bei Windenergieanlagen. R. Klosse, F. Santjer, G. Gerdes. DEWI-Magazin Nr. 11, August 1997, Seite 59.