



FGW e. V. • Oranienburger Straße 45 • 10117 Berlin • Deutschland

FA WP - Beschluss zur
Technischen Richtlinie
TR 6 Rev. 9

FGW e.V.

Fördergesellschaft Windenergie
und andere Erneuerbare Energien
Oranienburger Straße 45
10117 Berlin
Tel. : +49 (0)30 / 3010 1505 0
E-Mail : info@wind-fgw.de
www.wind-fgw.de

Berlin, 21.09.2016

FA WP – Beschluss vom 21.09.2016:

Der Fachausschuss Windpotenzial (FA WP) beschliesst die folgende Ergänzung der Revision 9 der Technischen Richtlinie Teil 6 (TR 6).

Die TR 6 Revision 9 wird um den Anhang D “Langzeitkorrektur (informativ)” ergänzt.

i.A. des FA Windpotenzial

Bente Klose

Anhang D Langzeitkorrektur (informativ)

D.1 ANFORDERUNGEN AN VERFAHREN ZUR LANGZEITKORREKTUR

Bei der Ermittlung des Windpotenzials werden im Allgemeinen Winddaten aus der Vergangenheit herangezogen, um die während der zukünftigen Betriebszeit der geplanten WEA zu erwartenden mittleren Wind- und Ertragsverhältnisse zu ermitteln. Es wird von der grundsätzlichen Annahme ausgegangen, dass die Windverhältnisse der Vergangenheit auch in der Zukunft bestehen (Persistenzannahme³). Da die Windverhältnisse von Jahr zu Jahr variieren, ist es erforderlich, dass sowohl bei den Messdaten als auch bezüglich der Projektlaufzeit hinreichend lange Zeiträume betrachtet werden. In der Regel ist es sinnvoll Zeiträume von mehr als zehn Jahren zu betrachten. Doch auch Mittelwerte über längere Intervalle sind zeitlich nicht konstant, wenn auch die Schwankungen mit längerem Mittelungsintervall deutlich geringer werden. Aus diesem Grund und weil die Betriebszeit der geplanten WEA begrenzt ist, ergibt sich eine im klimatologischen Sinne aussagekräftige Vorhersage erst, wenn die zu erwartende Schwankungsbreite der ermittelten langfristigen Windverhältnisse ebenfalls bestimmt wird und als Standardabweichung des Langzeitwertes bei der Unsicherheitsbetrachtung Eingang findet.

Da eine projektbezogene Windmessung zur Ermittlung des Windpotenzials in der Regel auf einen kurzen Zeitraum begrenzt ist, ist deren Anpassung hinsichtlich der saisonalen und interannualen Variabilität mit Langzeitklimadaten unerlässlich. Ebenso sind Produktionsergebnisse von Vergleichs-WEA, die als Kurzzeitdaten herangezogen werden, mit einem geeigneten Verfahren in Langzeitbezug zu setzen, d.h. der langjährige Energieertrag der Vergleichs-WEA ist zu ermitteln. Eine solche Anpassung kann mit Hilfe geeigneter Referenzdaten durchgeführt werden, die für das Windklima am Standort repräsentativ sind und sowohl einen sehr langen Zeitraum als auch den Mess- oder Betriebszeitraum abdecken.

Zum Zweck der Langzeitkorrektur wird eine zwischen Messung und Vergleichsdaten geltende statistische Beziehung für den gemeinsam abgedeckten Zeitraum abgeleitet (**Abb. D-1**). Die Anwendung dieser statistischen Beziehung auf den Langzeitraum des Vergleichsdatensatzes liefert das langjährig zu erwartende Windklima am Messort. Hierbei ist zu beachten, dass die Anwendung der statistischen Beziehung auf den Vergleichsdatensatz auf einen Langzeitraum zu begrenzen ist, für den die Konsistenz des Vergleichsdatensatzes hinreichend überprüft werden kann. Der Konsistenztest ist mit Hilfe mindestens eines weiteren vom ersten unabhängigen, geeigneten Vergleichsdatensatzes durchzuführen und darzustellen. Die Daten standortbezogener Windmessungen beziehungsweise Vergleichs-WEA werden hier als Kurzzeitdaten bezeichnet, die zusätzlich herangezogenen und einen Langzeitraum abdeckenden Daten werden Langzeit- oder Bezugsdaten genannt.

³ Die Annahme von Persistenz berücksichtigt keine langfristigen Klimaänderungen (z.B. CO₂-Anstieg). Klimasimulationen zeigen beim Windpotenzial bzgl. des Energieertrags bisher jedoch nur geringe Auswirkungen.

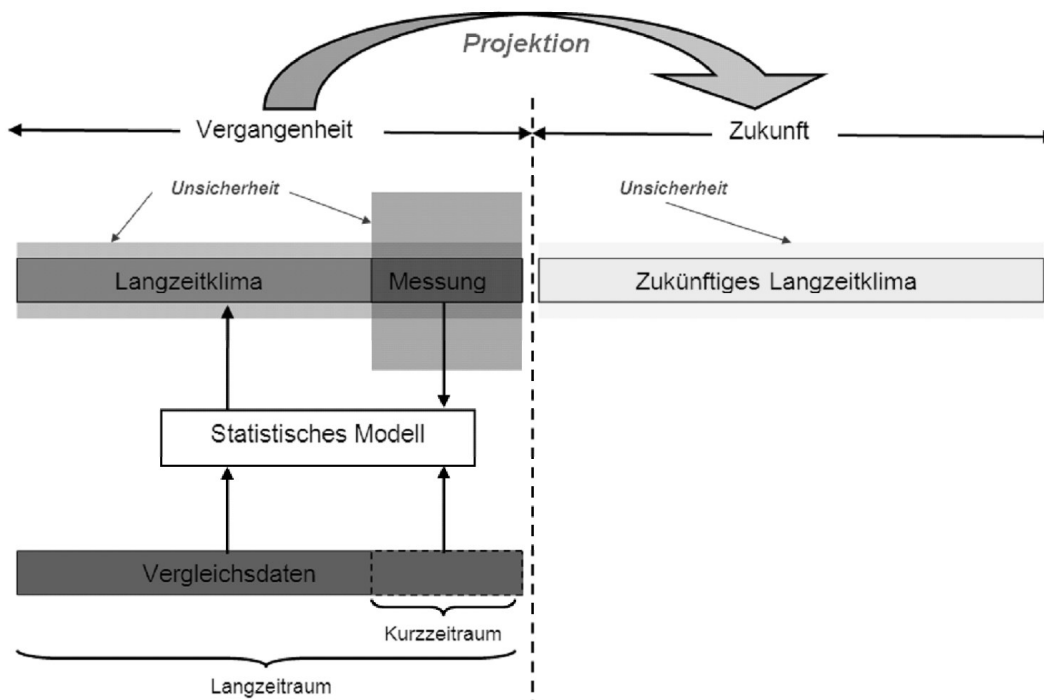


Abb. D-1: schematische Vorgehensweise zur Langzeitanpassung

D.1.1 KURZZEITDATEN

Als Kurzzeitdaten gelten gegenwärtig:

1. Standortbezogene Windmessungen mit Windgeschwindigkeit und -richtung, aber auch Temperatur und Luftdruck
2. Erträge von Vergleichs-WEA (inkl. Verfügbarkeiten und Informationen über den Betriebsmodus)

An die Kurzzeitdaten werden die in Kapitel 2.2. beschriebenen Anforderungen gestellt.

D.1.2 LANGZEITDATEN / BEZUGSDATEN

Als Langzeitdaten kommen derzeit folgende Datentypen in Betracht:

1. Langfristig erhobene Windmessdaten z.B. von den Wetterdiensten
2. Reanalysedaten
3. Mesoskalige Analysen (räumliche Verfeinerungen o.g. Reanalysen mittels höher auflösender Strömungssimulationen)
4. Langjährige Ertragsdaten von WEA
5. Aus WEA-Ertragsdaten oder Winddaten abgeleitete Ertrags- beziehungsweise Windindizes

An die Langzeitdaten werden folgende Anforderungen gestellt:

1. Die Langzeitdaten müssen für das Windklima am Standort repräsentativ sein. Das bedeutet, dass die Lang- und Kurzzeitdaten einen physikalischen und quantifizierbaren Zusammenhang aufweisen müssen. Die Repräsentativität der Langzeitdaten muss mit statistischen Methoden nachgewiesen werden, so z.B. durch den Korrelationskoeffizient r oder das Bestimmtheitsmaß r^2 .
2. Die Langzeitdaten müssen zeitlich konsistent sein. Konsistenz bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die langzeitlichen Schwankungen des Windenergieangebots durch die verwendeten Daten realistisch abgebildet werden müssen und nicht durch Datenfehler (z.B. durch Veränderungen von Messumgebung oder -equipment) verzerrt werden oder unrealistische Trends oder Sprünge aufweisen dürfen. Insbesondere müssen die Langzeitdaten die Unterschiede zwischen Kurz- und Langzeitraum möglichst genau wiedergeben. Werden Datenquellen mit

solchen Datenfehlern zur Langzeitkorrektur verwendet, kann dies zu beträchtlichen Fehlern bei der Ermittlung des Windenergieangebots führen.

Die Konsistenz der Langzeitdaten ist daher quantitativ zu prüfen und zu plausibilisieren und im Bericht nachvollziehbar darzustellen. Eine solche Prüfung ist nur durch den Vergleich von zwei oder mehr unabhängigen Langzeitdatensätzen möglich. Nur wenn sich die mit den einzelnen Datensätzen erzielten Ergebnisse der Langzeitkorrektur gegenseitig mit möglichst geringen Abweichungen bestätigen, können verfälschende Auswirkungen durch Datenfehler wie z.B. fehlerhafte Sprünge oder Trends minimiert werden. Die Abweichungen der mit den einzelnen Datensätzen erhaltenden Ergebnisse geben Hinweise auf die mit den Langzeitdaten verbundenen Unsicherheiten. Die Ergebnisse der Konsistenzprüfung sind im Bericht quantitativ darzustellen. Derartige Vergleiche können die Konsistenz der Langzeitdaten nur für den von diesen Daten gemeinsam abgedeckten Zeitraum belegen. Sollte einer der Datensätze einen längeren Zeitraum umfassen, so ist für diesen Zeitraum eine Konsistenzprüfung nicht möglich. Zusatzinformationen wie z.B. Stationsbesichtigungen oder Messprotokolle helfen die Konsistenz und Stabilität der Langzeitdaten zu untersuchen, sind allein aber nicht ausreichend für die Sicherstellung der Langzeitkonsistenz.

Der final für die Langzeitkorrektur verwendete Datensatz muss durch mindestens einen weiteren unabhängigen Datensatz⁴ verifiziert sein. Wird ein Mittelwert aus mehreren unabhängigen Datensätzen für die Langzeitkorrektur verwendet, so ist es ausreichend, wenn diese Datensätze für die wechselseitige Verifikation verwendet werden. Mit einem einzelnen Langzeitdatensatz allein ist eine sichere Prüfung auf Langzeitkonsistenz nicht möglich. Dies gilt auch für den Fall, dass im Verlauf der Prüfung Datensätze als offensichtlich fehlerhaft ausgeschlossen werden müssen und nur noch ein einziger Datensatz für die Langzeitkorrektur verwendet werden könnte. Denn auch dieser Datensatz könnte Fehler enthalten, die durch den fehlenden Vergleich mit unabhängigen Daten nicht erkannt werden können. Sollte tatsächlich nur ein einzelner Datensatz für die Langzeitkorrektur zur Verfügung stehen, so ist das Ergebnis der Langzeitkorrektur als sehr unsicher anzusehen, was durch eine angemessen hohe Unsicherheit für die Langzeitkorrektur zu berücksichtigen ist.

3. Abhängig von der verwendeten Methodik ist bei der Verwendung von Winddaten für die Langzeitkorrektur eine hohe zeitliche Auflösung im Bereich von Stunden häufig sinnvoll. Wegen der Nichtlinearität der WEA-Leistungskennlinien sind zur Berechnung von Energieerträgen langfristig abgeglichenen Häufigkeitsverteilungen von Windgeschwindigkeit und Windrichtung erforderlich, die die Variabilität des Windes inkl. Tages- und Jahrgang realistisch darstellen.
4. Bei der Verwendung von Ertragsdaten für die Langzeitkorrektur wird der Einfluss der Windvariabilität bereits durch Ertragswerte abgebildet. Daher können Monatsmittelwerte von Betriebsdaten und Ertragsindizes als ausreichend erachtet werden. Hierbei ist allerdings die Verfügbarkeit der WEA zu berücksichtigen. Monatswerte mit (zeitlichen) Verfügbarkeiten unter 90 % sind entsprechend aus der Analyse auszuschließen.
5. Bei Verwendung gemessener Luftdruck und -temperaturwerte zur Ermittlung einer langfristig repräsentativen Luftdichte ist eine Langzeitkorrektur mit geeigneten Langzeitdaten empfehlenswert.

Die Qualität, Konsistenz und Eignung der Langzeitdaten für den Anwendungsfall ist entscheidend für das Resultat der Langzeitkorrektur.

D.1.3 ABGLEICHZEITRAUM

Als Abgleichzeitraum wird der Überlappungszeitraum zwischen Kurz- und Langzeitdaten bezeichnet. Der Abgleichzeitraum muss alle relevanten Wetterlagen und die Bereiche auftretender Windgeschwindigkeiten und -richtungen abdecken. Um von saisonalen Schwankungen unabhängig zu sein, ist dafür in der Regel mindestens ein Jahr an Daten, gemessen am Standort, erforderlich. Langzeitkorrekturen im Sinne dieses Kapitels mit Abgleichzeiträumen unter 12 Monaten sind mit hohen Unsicherheiten behaftet, sodass Windpotential- und Energieertragsabschätzungen ausschließlich auf

⁴ So können z.B. Daten aus dynamischen Downscalingverfahren, die mit Reanalysedaten angetrieben werden, nicht als unabhängig von den zugrunde liegenden Reanalysedaten angesehen werden.

dieser Basis vorläufige Abschätzungen sind. Dies gilt insbesondere dann, wenn keine zeitlich hoch aufgelösten Daten vorliegen und/oder größere Abweichungen im Windklima von Lang- und Kurzzeitdaten auftreten. Bei sehr detaillierten MCP-Methoden (u.a. richtungsabhängig, nichtlinear) und qualitativ hochwertigen Referenzdaten, d.h. Zeitreihen hoher zeitlicher Auflösung und hoher Repräsentativität für den Standort, können auch kürzere Abgleichperioden ausreichend sein. Dies muss bei der Auswertung belegt und in der Unsicherheitsbetrachtung berücksichtigt werden.

D.1.4 BEZUGSZEITRAUM

Als Bezugszeitraum, häufig auch Referenzzeitraum genannt, wird die Zeitperiode bezeichnet, auf welchen die Kurzzeitdaten mit Hilfe des Langzeitbezuges bezogen werden. Der Bezugszeitraum sollte ein langjährig repräsentatives Windregime aufweisen. Hierfür sind Zeiträume von mindestens 10 Jahren anzustreben. Doch mit zunehmender Länge des Bezugszeitraumes nimmt die Gefahr einer Beeinträchtigung der Bezugsdaten durch unrealistische Trends und Datensprünge zu. Gegebenenfalls müssen die betreffenden Zeiträume gesondert behandelt werden oder die Länge des Bezugszeitraumes muss verkürzt werden. Die Verwendung der Langzeitdaten ist auf den als konsistent verifizierten Zeitraum zu begrenzen. Es ist ein Kompromiss zwischen Stabilität des Langzeitklimas und Verlässlichkeit der Daten erforderlich, der für jeden Einzelfall individuell entschieden werden muss. Es kann in speziellen Fällen sinnvoll sein, den Bezugszeitraum auf weniger als 10 Jahre zu verkürzen. Die Länge des Bezugszeitraumes muss unter Berücksichtigung der zeitlichen Variabilität bei der Unsicherheitsbetrachtung berücksichtigt werden.

D.1.5 VERFAHREN ZUR DURCHFÜHRUNG DER LANGZEITKORREKTUR

An ein Verfahren zur Durchführung einer Langzeitkorrektur werden folgende Anforderungen gestellt:

1. Der Abbildungsalgorithmus, also der Zusammenhang zwischen Kurz- und Langzeitdaten für die Herstellung des Langzeitbezuges, muss klar definiert und validiert sein. Eine Validierung mit langjährigen Messreihen ist durchzuführen.
2. Die Methode muss einen eindeutigen statistischen Zusammenhang zwischen Lang- und Kurzzeitdaten für den Abgleichzeitraum herstellen. Der Abbildungsalgorithmus muss die Verteilungscharakteristiken der Kurzzeitdaten widerspiegeln.
3. Die aus der Methode resultierenden Unsicherheiten sind einzuschätzen.

Es sind zwei Gruppen von Verfahren zur Erstellung des Langzeitbezuges zu unterscheiden.

1) MCP-Verfahren (Measure-Correlate-Predict):

Bei diesen Verfahren erfolgt durch Vergleich von Messung und Referenz innerhalb der Abgleichperiode die Ableitung einer statistischen Beziehung, deren Anwendung auf die Langzeitreferenz das gewünschte Langzeitklima der Messung (inkl. Zeitreihen, Häufigkeiten etc.) liefert. Zu den MCP-Verfahren gehören u.a.:

- Regressionsanalysen auf der Basis von Zeitreihen, diese können auch richtungsabhängig oder nichtlinear durchgeführt werden.
- Matrixmethoden beruhen auf dem Vergleich von Häufigkeitsverteilungen von Windrichtung und -Geschwindigkeit zur Ableitung der statistischen Beziehung zwischen Messdaten und Referenz. Wichtig ist eine realistische Schätzung der Verteilungsfunktionen auch bei geringen Datenabdeckungen. Zu beachten ist, dass nicht jede Matrixmethode ausreichende Erhaltungsseigenschaften hinsichtlich der statistischen Momente der Häufigkeitsverteilung besitzt.
- Nichtlineare Methoden wie z.B. neuronale Netze.

Generell erfordern MCP-Verfahren eine hohe zeitliche Auflösung der Daten und eine ausreichende Datenabdeckung für alle energetisch relevanten Anteile der Windstatistik. Das verwendete MCP-Verfahren sollte in der Lage sein, die ursprünglichen Messdaten ohne größere Fehler zu reproduzieren, so z.B. deren Mittelwert, Varianz und Richtungsverteilung. Energieerhaltung muss durch das Verfahren gewährleistet werden. Eine einfache lineare Regression der Windgeschwindigkeit ist zunächst nicht energieerhaltend. Jegliche zeitliche Mittelbildung verringert ebenfalls die in den Winddaten enthaltene

kinetische Energie gegenüber den bei der Windertragsermittlung üblichen zehnminütigen Mittelwerten. Bei Anwendung dieser Verfahren sind zusätzliche Maßnahmen zur Sicherstellung der Energieerhaltung erforderlich. Oft lässt die Güte der Korrelation keine komplexen MCP-Verfahren oder den Einsatz von hochauflösenden Daten zu.

2) Skalierungsmethoden auf der Basis integraler Größen:

Durch Vergleich von Mittelwerten des Kurz- und Langzeitraumes der Referenz wird eine einfache statistische Beziehung, z.B. deren Verhältnis, abgeleitet. Deren Anwendung auf Mittelwerte der Kurzzeitmessung ergibt die benötigten Langzeitmittelwerte der Messung. Die Methode ist auf die Anwendung integraler Parameter wie z.B. Mittelwerte begrenzt. Zu den Skalierungsmethoden gehören u.a.:

- die Anwendung eines Ertragsindex, wie z.B. des BDB-Index der Betreiberdatenbasis [7]. Solch ein Index kann aus realen Betriebsergebnissen oder aus anderen Referenzdaten über empirische Beziehungen (z.B. Korrelation von Wind und Ertrag) oder physikalische Modelle (Umrechnung von Wind in Ertrag) abgeleitet werden. Die Anwendung von Ertragsindizes erfordert Daten in mindestens monatlicher Auflösung.
- die Skalierung von gemessener mittlerer Windgeschwindigkeit, den Weibullparametern A und k oder von Häufigkeitsverteilungen.

Auch bei der Anwendung von Skalierungsmethoden muss sichergestellt werden, dass eine aussagekräftige statistische Beziehung zwischen den Mess- und Langzeitdaten besteht. Die Messung der Qualität des Zusammenhangs kann z.B. über Korrelationen, wie z.B. zwischen Ertragsindex und Produktionsdaten, erfolgen. Bei der Anwendung von Skalierungsmethoden sollte der Abgleichzeitraum mindestens ein Jahr betragen, weil Unterschiede in Verteilungen zwischen Kurz- und Langzeitraum, wie z.B. unterschiedliche Richtungsverteilungen, sonst nicht erfasst werden können. Energieerhaltung und korrekte Richtungsverteilung werden durch Skalierungsmethoden sonst eventuell nicht sichergestellt und tragen zur Erhöhung der Unsicherheiten bei.