

Bewertung des langfristigen Windverlaufs in Deutschland anhand des NAO-Indexes

Hintergrund und Fragestellung

Häufig wird die Theorie angeführt, dass Anfang der 1990er Jahre in Mitteleuropa außergewöhnlich starke Windverhältnisse herrschten, die bei einer Bestimmung des langfristigen mittleren Windpotenzials ignoriert werden sollten. In 2006 wurde dies von Garrad Hassan anhand der Verläufe des NAO-Index (North Atlantic Oscillation Index), des Jenkinson-Lamb-Index und des Großwetterlagenindex dargelegt [1]. Die Relevanz dieser Indices für die Windenergiebranche wurde durch Vergleiche mit Wind- und Produktionsindices belegt, da zwischen ihnen ein Bestimmtheitsmaß von 0,49 ermittelt wurde. Darauf basierend wurde die Vermutung geäußert, dass die allgemein als sehr windschwach eingestufte Periode Anfang der 2000er Jahre, die damals hohe Aufmerksamkeit in der Windenergiebranche hervorrief, möglicherweise nur einen Rückgang zu langfristig „normalen“ Verhältnissen darstelle.

In der Folge wurde von Garrad Hassan die Analyse aus [1] erweitert. Zum einen konnten mit fortschreitender Zeit die Wind- und Ertragsindices aus der Windenergiebranche über immer längere Perioden mit den oben genannten Indices verglichen werden. Zum anderen wurden noch weiter in die Vergangenheit reichende NAO-Indexwerte betrachtet. Somit konnten z. B. in 2011 die Schlussfolgerungen aus [1] wiederholt und deutlich überzeugender begründet werden [2].

Die Energieproduktion von Windparks in Deutschland und benachbarten Ländern lag in den letzten 17 Jahren überwiegend unterhalb des Niveaus, das von vielen Gutachtern (darunter *aj*) als langfristiges Mittel angesehen wird. Deshalb stellt sich die Frage nach dem langfristigen Verlauf des Windpotenzials und dem langfristigen mittleren Windniveau immer dringender. Da seit den Arbeiten zu [2] wieder mehrere Jahre vergangen sind und somit Betriebsdaten bzw. Ertragsindices über einen noch längeren Zeitraum mit den oben genannten Wetterlagenindices verglichen werden können, sollten entsprechende Untersuchungen aktualisiert werden. Dies wird im vorliegenden Dokument unternommen.

Der Einfachheit halber wird dabei nur Bezug auf Deutschland genommen. Es sei lediglich erwähnt, dass *aj* die Aussagen aus [1] und [2] bestätigt, wonach Winddatenreihen aus Holland, Großbritannien und Frankreich zu prinzipiell ähnlichen Ergebnissen führen wie Produktionsindices aus Deutschland und somit die Beobachtungen und Aussagen grundsätzlich erhärten. Außerdem wird im Folgenden von den Wetterlagenindices

nur der NAO-Index betrachtet, da dieser die längste Zeitreihe aufweist und allgemein in diesem Zusammenhang als wichtigster angesehen wird, so auch in [2].

Der NAO-Index [3] charakterisiert den Luftdruckunterschied im Nordatlantik. Er basiert auf Luftdruckmessungen in Island, auf den Azoren, in Lissabon und in Gibraltar. Je stärker die Aktionszentren, soll heißen das Islandtief und das Azorenhoch, ausgeprägt sind, desto höher ist der NAO-Index. Diese Konstellation wird als eine der treibenden Kräfte für starke Winde in Mitteleuropa, insbesondere in den Wintermonaten, angesehen.

Folgende Fragen sollen untersucht werden:

- Kann weiterhin die Periode Anfang der 1990er Jahre auf Basis des NAO-Index als außergewöhnlich angesehen werden?
- Kann der NAO-Index als Indikator für das Windpotenzial in Deutschland bestätigt werden?

Einordnung des Zeitraums Anfang der 1990er Jahre

In [1] und [2] wurden Jahresmittel des NAO-Index untersucht, in [2] zusätzlich auch die der Winterperioden. Entsprechend basieren die ersten Untersuchungen des folgenden Abschnitts auf Jahresmitteln und die folgenden auf den Wintermonaten.

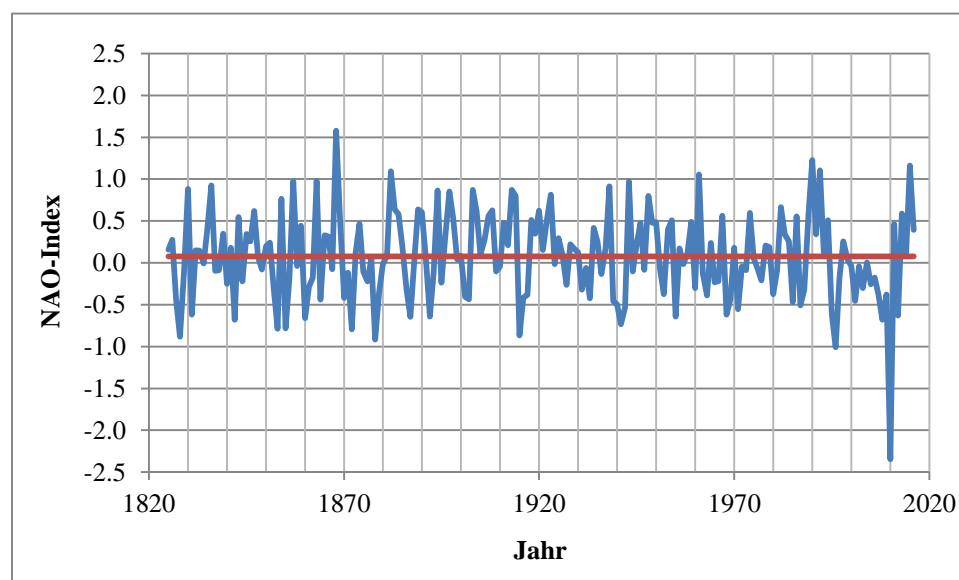


Abbildung 1: Jahresmittel des NAO-Index, rote Linie: Gesamtmittel

Der höchste NAO-Jahresindex wurde nach Abbildung 1 für 1868 ermittelt. Die nächsthöchsten Indexwerte wurden, in der Reihenfolge ihrer Höhe, in den Jahren 1990, 2015, 1992 und 1882 erreicht. Besonders auffällig ist jedoch der extrem negative Wert in 2010. Der zweitniedrigste Wert wurde für 1996 berechnet, gefolgt von 1878, 1828 und 1995.

Da sich die vorliegende Untersuchung mit längeren Perioden relativ hoher oder geringer NAO-Indexwerte befasst, wird Abbildung 1 für gleitende 5-Jahres-Mittel wiederholt, analog zu [1] und [2], siehe Abbildung 2.

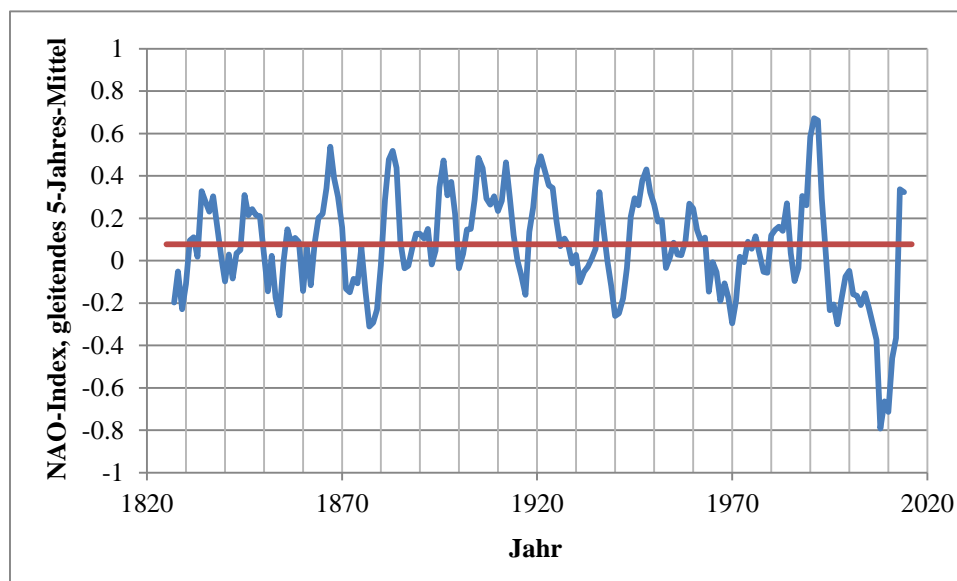


Abbildung 2: Gleitendes 5-Jahresmittel des NAO-Index, rote Linie: Gesamtmittel

Die gleitenden 5-Jahresmittel (Abb. 2) bilden im Vergleich mit den Einzeljahreswerten (Abb. 1) ein auffälliges Maximum um das Jahr 1990. Tatsächlich sind die einzelnen Jahreswerte dieses Zeitraums nicht beispiellos hoch, vor allem im Vergleich zum Jahr 1868. Nur durch die Darstellung des gleitenden 5-Jahresmittel wird der Zeitraum der hohen Indexwerte hervorgehoben, da hier mehrere aufeinanderfolgende, relativ hohe (aber nicht außerordentlich hohe) Werte enthalten sind. Dies ist im Jahr 1868 nicht der Fall. Auf das lokale Maximum folgt hier eine Periode niedriger Indexwerte. Grundsätzlich sind jedoch die Verläufe in Abbildung 2 um 1990 und um 1868 ähnlich, wenn auch um 1990 die Variation größer ist und die Perioden hoher und niedriger mittlerer Indexwerte länger.

Der wirklich auffällige Teil der Zeitreihe ist hingegen die Periode um 2010. Hier wird ein bisher beispiellos niedriger NAO-Indexwert erreicht und dies in einem Zeitraum, in

dem niedrige Werte vorherrschen. Falls wegen einer NAO-Anomalie die Periode um 1990 bei der Festlegung eines langfristig mittleren Windpotenzials ignoriert werden sollte, gilt dies also erst recht für die Periode um 2010.

Probehalber wurde bestimmt, in welchem Zeitraum der näheren Vergangenheit der mittlere NAO-Index des gesamten etwa 200-jährigen Zeitraums ungefähr erreicht wurde. Falls man den NAO-Index als Indikator für das Windpotenzial ansieht, ergibt dies einen Hinweis auf einen geeigneten Langfrist-Bezugszeitraum. Dies ist für die Periode 1989 bis 2005 der Fall. Dieses Ergebnis steht vollkommen in Widerspruch zu dem Trend der gegenwärtigen Diskussion und Praxis, da hier ausgerechnet Jahre enthalten sind, die gerne als außergewöhnlich und somit nicht repräsentativ angesehen werden. Wird der mittlere NAO-Index der letzten 100 Jahre zum Maßstab gemacht, führt dies z. B. auf den Vergleichszeitraum 1991 bis 2000, was ebensowenig als Referenzzeitraum akzeptiert werden dürfte.

Während in [1] wie oben Jahresmittel des NAO-Index analysiert wurden, wurde in [2] zusätzlich die Winterperiode separat betrachtet. Dies ist sinnvoll, denn nach einer Untersuchung der *aj* entscheiden die Wintermonate darüber, ob eine 12-Monats-Periode windstark oder windschwach ist. Gleichzeitig wird auch allgemein vor allem für den Winter ein Zusammenhang zwischen NAO-Index und Windstärke angenommen [1, 5]. Deshalb zeigt die folgende Abbildung den langfristigen Verlauf der mittleren NAO-Indexwerte für die Wintermonate.

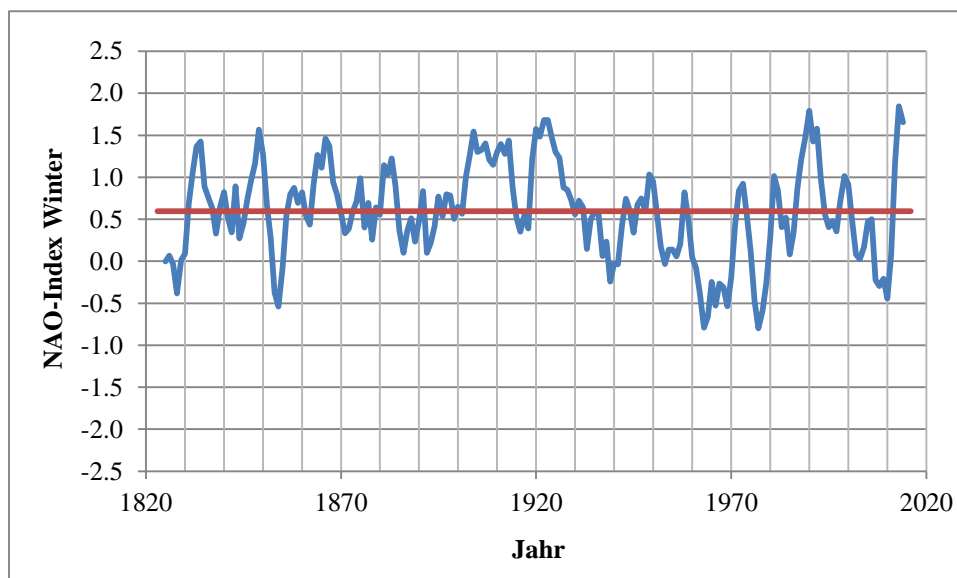


Abbildung 3: Gleitendes 5-Jahresmittel des NAO-Index für den Winter (Dezember bis Februar)

Nach Abbildung 3 stellt die Periode um 1990 keine Anomalie mehr dar, wenn auch Zeiträume vor 1925 betrachtet werden. In [2] wurde nur der Zeitraum ab 1930 gezeigt, wodurch die Periode um 1990 extrem erscheint (in Abbildung 2 noch mehr). Interessant ist jedoch auch, dass das höchste 5-Jahres-Mittel des NAO-Index für den Winter nun um das Jahr 2013 ermittelt wurde. Die Winterperiode, die für den langjährigen Verlauf des Windpotenzials entscheidend ist, ist also um 1990 nicht mehr als außergewöhnlich einzustufen.

Korrelation der NAO-Indexwerte mit Wind- und Produktionsindices

In der Windenergiebranche werden üblicherweise Produktionsindices gebildet, um ein Maß für die relative Energieproduktion von Windkraftanlagen zu erhalten. Der BDB-Index [4] ist die in Deutschland gebräuchlichste Maßzahl. Er wird aus tatsächlichen Ertragsdaten abgeleitet. Veröffentlichte Wind- und Produktionsindices sind außerdem aus Holland und Dänemark bekannt und manche Firmen bilden darüber hinaus interne Indices.

In [1] war zwischen den Jahresmittel des NAO-Index und dem Mittelwert verschiedener Wind- und Produktionsindices aus Deutschland, Holland, Großbritannien und Dänemark über den Zeitraum 1990-2005 ein Bestimmtheitsmaß von 0,49 berechnet worden (Abb. 4, linkes grünes Symbol). Dies konnte als Zeichen dafür gewertet werden, dass der NAO-Index ein Maß für das Windpotenzial in diesem Gebiet darstellt, wenn auch nur mit mäßiger Korrelation. In [2] wurden Vergleichsdaten aus Frankreich hinzugefügt. Das Bestimmtheitsmaß lag nun für den Zeitraum 1990-2009 bei etwa 0,45 und beim Vergleich nur mit dem BDB-Index bei noch immer 0,47.

aj aktualisierte nun die Berechnungen der Korrelationen zwischen NAO-Index und BDB-Indices. Wegen verringerter Datenverfügbarkeit bzw. Belastbarkeit einiger BDB-Indices wurden dabei nur die BDB-Regionen 6 bis 24 berücksichtigt, während in [2] noch über alle Regionen Deutschlands gemittelt worden war. Der in [2] betrachtete Zeitraum 1990-2009 wurde nun mit dem aktuell verfügbaren Zeitraum 1990-2016 verglichen.

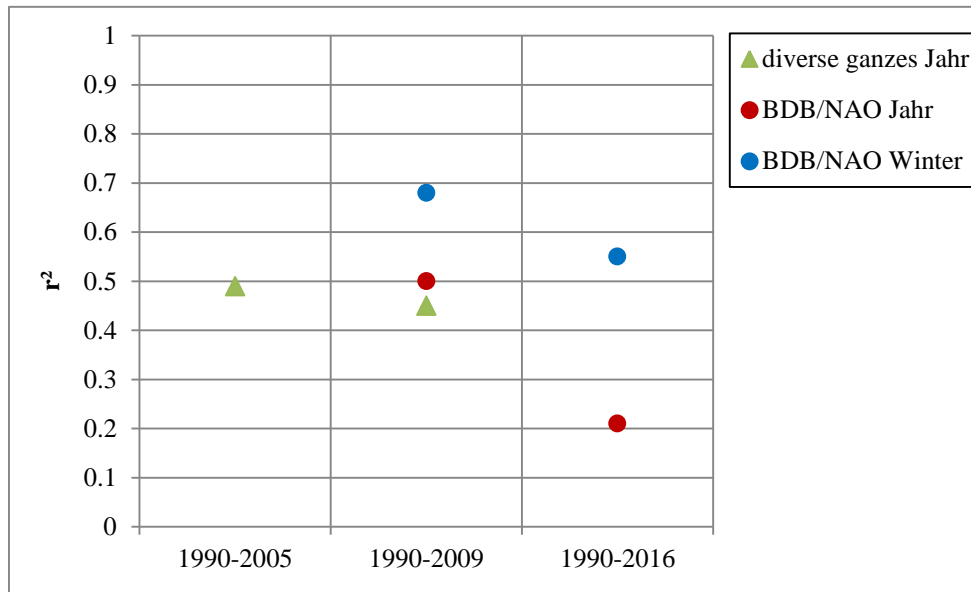


Abbildung 4: Korrelationen des Mittelwerts von Wind- und Produktionsindices verschiedener Länder ([1], [2] - grün) und nur des BDB-Indexes (aktuelle Untersuchung - rot, blau) mit dem NAO-Index für ganze Jahre und Wintermonate; verschiedene Zeiträume ab 1990 (Wintermonate ab 1991)

Durch die Verlängerung des untersuchten Zeitraums sinkt die Korrelation der ganzjährigen Indices erheblich und die der Winterperiode deutlich.

In der folgenden Abbildung sind tatsächlich teilweise Ähnlichkeiten der Verläufe des BDB-Index und des jährlichen NAO-Index erkennbar.

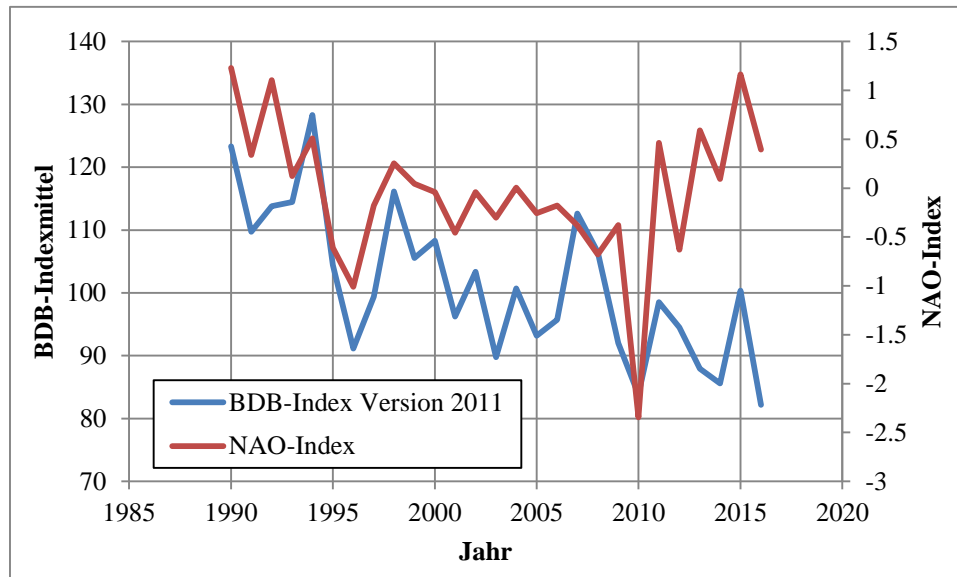


Abbildung 5: Verlauf der Jahresmittel des BDB-Index (Mittelwert der Regionen 6 bis 24) und des NAO-Index ab 1990

Nach 2010 divergieren jedoch die beiden Verläufe deutlich, sodass das Bestimmtheitsmaß zwischen ihnen nur noch 0,21 beträgt (s. Abb. 4, BDB/NAO Jahr, 1990-2016). Auch dieses Bestimmtheitsmaß ist noch stark durch das Jahr 2010 beeinflusst, dessen sehr niedriger NAO-Index bei der Berechnung der linearen Regression eine scheinbare Korrelation verursacht. Ohne dieses Jahr liegt das Bestimmtheitsmaß nur noch bei 0,13. Zumindest kann aus der Abbildung 5 keine einfache Signifikanz des jährlichen NAO-Index für das Windpotenzial in Deutschland abgeleitet werden.

Dies ändert sich, wenn wieder nur die Wintermonate betrachtet werden.

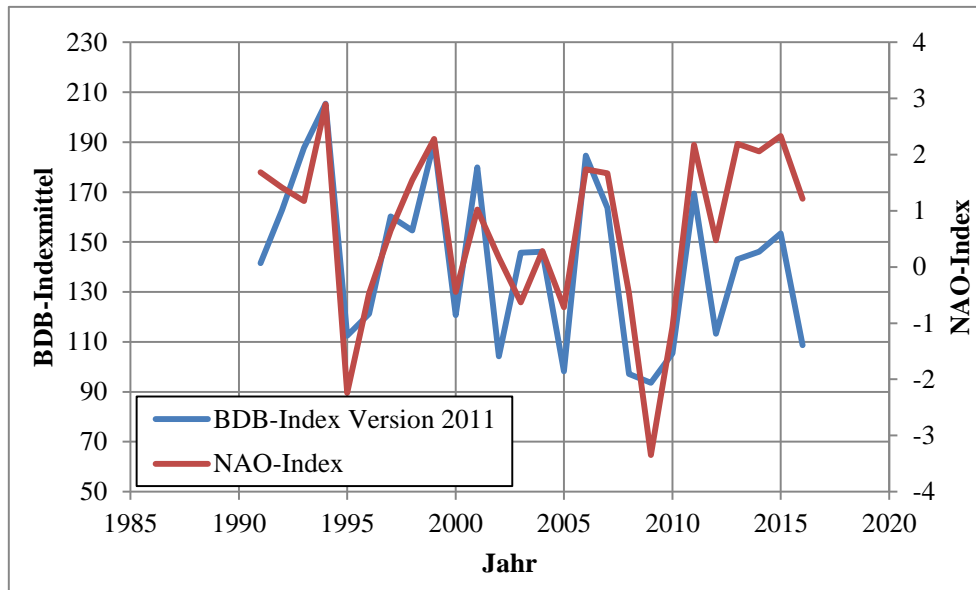


Abbildung 6: Verlauf des BDB-Index (Mittelwert der Regionen 6 bis 24) und des NAO-Index ab 1991 für die Wintermonate

Hier ist eine deutliche Korrelation der Jahr-zu-Jahr-Variabilität erkennbar. Allerdings unterscheidet sich das Verhältnis zwischen BDB-Index und NAO-Index ab 2012 von dem der Vorjahre. Während das Bestimmtheitsmaß zwischen diesen Indices für die Winterperioden über den in [2] untersuchten Gesamtzeitraum 0,68 beträgt, sinkt es für die Periode 1991 bis 2016 auf 0,55. Ein Bestimmtheitsmaß von 0,55 bedeutet, dass ein deutlicher Zusammenhang zwischen den Datensätzen besteht. Dies entspricht dem Eindruck der Abbildung 6. Demnach ist eine Untersuchung der Verläufe des NAO-Index über die Wintermonate für die vorliegende Fragestellung deutlich relevanter als die der jährlichen Indices.

Nach den obigen Diagrammen stellt dass sich das Verhältnis zwischen NAO-Index und Produktionsindices bei einer Betrachtung eines Zeitraums von etwa 20 Jahren deutlich anders dar als bei einem 27-jährigen Zeitraum. Offensichtlich sind diese Zeiträume noch nicht lange genug für gesicherte Aussagen für diesen Bereich. Das bedeutet im Umkehrschluss, dass Aussagen zum Langfristverlauf der Windverhältnisse auf Basis von Zeiträumen von 20 Jahren und weniger sehr unsicher sein müssen. Erst recht werden für zuverlässige Aussagen zu eventuellen Trends noch deutlich längere Untersuchungszeiträume benötigt.

Die oben dargestellten Diagramme ermöglichen noch weiter gehende Überlegungen: Entweder weisen die großräumigen Luftdruckunterschiede mit dem Verlauf des Windpotenzials in Deutschland vor 2012 einen anderen Zusammenhang auf als danach, oder weitere, das Windpotenzial ebenfalls beeinflussende Vorgänge, wirkten in diesen Zeit-

räumen unterschiedlich. Da die in gängigen Reanalysen enthaltenen Windgeschwindigkeiten wesentlich aus Luftdruckunterschieden berechnet werden [6], besteht ein Zusammenhang der oben diskutierten Divergenz zwischen NAO-Indexwerten und Wind- und Produktionsdaten einerseits mit der inzwischen häufig diskutierten Divergenz zwischen Windgeschwindigkeiten aus Reanalysen und Wind- und Produktionsdaten andererseits. So wie in den Abbildungen 5 und 6 die Verläufe von NAO-Index und BDB-Index in den letzten Jahren ein anderes Verhältnis aufweisen als zuvor, wird auch für diesen Zeitraum für einige Regionen Deutschlands relativ zu Produktionsdaten ein höheres Windpotenzial aus Reanalysedaten abgeleitet. Dies ist exemplarisch in der folgenden Abbildung erkennbar.

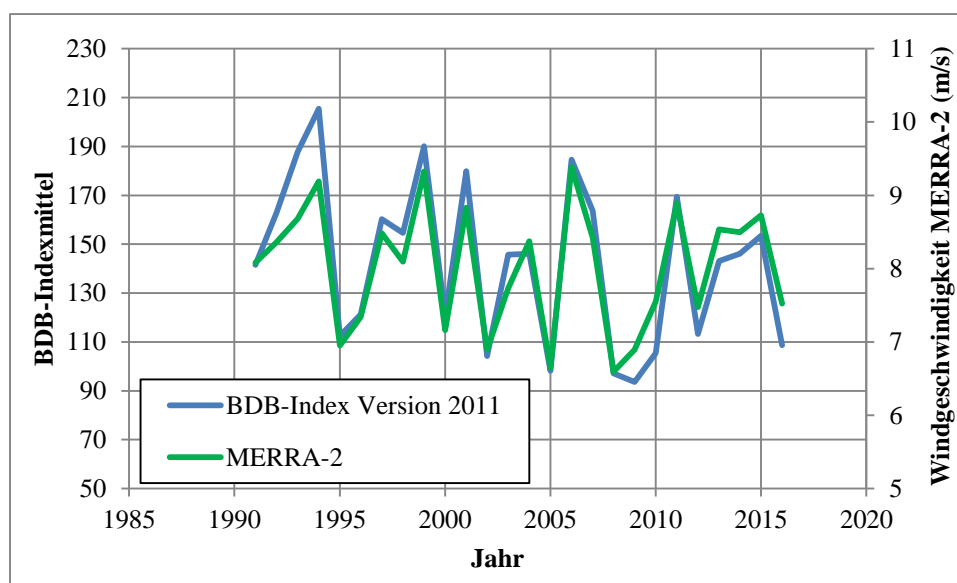


Abbildung 7: Verlauf des BDB-Index (Mittelwert der Regionen 6 bis 24) und der Windgeschwindigkeiten der MERRA-2-Daten für einen Bereich in Norddeutschland über die Wintermonate

Die in 1992 bis 1994 erkennbare Divergenz findet keine Entsprechung in den NAO-Indexwerten für diese Jahre und auch im Jahr 2009 entsprechen sich die Unterschiede in Abbildung 6 und 7 nicht. Dennoch liefert die obige Betrachtung der letzten Jahre einen Schlüssel zum Verständnis der derzeit diskutierten Unterschiede zwischen beobachteten Windgeschwindigkeiten und Erträgen einerseits und den Windgeschwindigkeiten in Reanalysedaten andererseits. Erst wenn diese verstanden sind, können die Aussagen von Klimaprognosen zum zukünftigen Verlauf des Windpotenzials bewertet werden.

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Annahme, dass Anfang der 1990er Jahre bezogen auf lange Zeiträume außergewöhnliche Windverhältnisse herrschten, die eine besondere Anomalie darstellten, konnte vor einigen Jahren durch Rückgriff auf Wetterlagenindices, darunter der NAO-Index, plausibel begründet werden. Erweitert man jedoch die Betrachtung des NAO-Index um die Verläufe der letzten Jahre, ist der Zeitraum um 1990 nicht mehr der einzige außergewöhnliche. Dies gilt bei Betrachtung jährlicher Mittelwerte, aber noch deutlicher bei Untersuchung nur der Wintermonate.

Somit entfallen die bisher vorliegenden Argumente für das Ignorieren des Zeitraums Anfang der 1990er Jahre bei der Bestimmung des langfristigen mittleren Windpotenzials. Das bedeutet nicht zwangsläufig, dass dieser Zeitraum kein außergewöhnliches Windpotenzial aufgewiesen hat. Es bedeutet lediglich, dass zumindest auf Basis der hier betrachteten Vergleichsdaten keine Sonderstellung dieses Zeitraums im Vergleich mit noch wesentlich längeren Zeiträumen erkennbar ist. Bei unvoreingenommener Bewertung sollte er in die Bestimmung des langfristigen mittleren Windpotenzials genauso einbezogen werden wie die letzten 5-10 Jahre.

Der Rückschluss von jährlichen Wetterlagenindices auf die Windverhältnisse erscheint im Unterschied zu früheren Untersuchungen wegen schlechter Korrelation nicht mehr hinreichend signifikant. Eine Betrachtung nur der Wintermonate ist jedoch sinnvoll. Hier besteht weiterhin ein signifikanter Zusammenhang zwischen NAO-Index und Produktionsindices, wenn auch mit stark gesunkener Korrelation. Es ist deshalb festzuhalten, dass darauf basierende Aussagen noch mit hoher Unsicherheit behaftet sind, weil die zur Verfügung stehenden Vergleichszeitreihen aus klimatologischer Sicht noch relativ kurz sind. Aus den Untersuchungen kann entsprechend geschlossen werden, dass Aussagen zum langfristigen Windpotenzial auf Basis von Zeiträumen von weniger als 20 Jahren relativ unsicher sind.

Die Tatsache, dass die Schwankungen des NAO-Index nur einen Teil der Schwankungen des Windpotenzials erklären, scheint einen Hinweis darauf zu liefern, weshalb auch die langfristigen Verläufe der Windgeschwindigkeiten von Reanalysedaten manchmal von den beobachteten Verläufen abweichen.

Referenzen

- [1] Neil Atkinson, Keir Harman, Matthew Lynn, Adam Schwarz, Andrew Tindal (Garrad Hassan): Long-term wind speed trends in northwestern Europe. In: Proceedings of the BWEA conference, 2006

- [2] Wolfgang Winkler (Garrad Hassan): Long-term wind speed trends in Germany. In: Proceedings DEWEK 2011
- [3] Jones, P.D., Jónsson, T. and Wheeler, D., 1997: Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and South-West Iceland. *Int. J. Climatol.* 17, 1433-1450. doi: 10.1002/(SICI)1097-0088(19971115)17:13<1433::AID-JOC203>3.0.CO;2-P
- [4] Ingenieur-Werkstatt Energietechnik: Energiewetterbericht - Windindex Betreiber-Datenbasis; jetzt www.btrdb.de
- [5] Nicola Cortesi, Nube González-Reviriego, Albert Soret, Francisco J. Doblas-Reyes (Barcelona Supercomputing Center): Observed seasonal weather regimes: Impact on wind speed and temperature. Barcelona, April 2017
- [6] Frank Kaspar (DWD): Mitteilung beim Workshop „Klimawandel und Reanalysen“ des Windgutachterbeirats des Bundesverband Windenergie e.V.. Kassel, 28. Februar 2018