

Langfristige Stabilität der Windgeschwindigkeit in Reanalysedaten

Im Folgenden wird für verschiedene Regionen Deutschlands und Frankreichs gezeigt, dass die Windgeschwindigkeitsinformationen aus gängigen Reanalyse-Datensätzen offensichtlich nicht langfristig stabil sind. Werden sie für den Langfristbezug von Mess- oder Betriebsdaten aus den letzten Jahren verwendet, führt das systematisch auf zu niedrige Langfristergebnisse.

Einleitung

Zunehmend werden Reanalysedaten, insbesondere die Datensätze NCAR [1], ERA interim [2] und MERRA [3], für den Langfristbezug von Windmessungen und Ertragsdaten im Rahmen von Windgutachten und Projektbewertungen verwendet. In Deutschland stellen sie eine wichtige Ergänzung zu den ebenfalls gängigen BDB-Windindices [4] dar, in Frankreich und anderen Ländern zu Wetterstationsdaten. Häufig ergeben sich jedoch bei der Langfristextrapolation von Standortdaten (Erträge bzw. Windmessungen) der letzten etwa 5 Jahre signifikante Unterschiede in den Ergebnissen je nach verwendeter Datenquelle. *anemos-jacob GmbH (aj)* hat versucht zu klären, welche dieser Quellen in Deutschland und Frankreich die plausibleren Ergebnisse liefern. Für Deutschland wurden von *aj* generierte Produktionsindices und Daten einzelner Wetterstationen in die Untersuchung einbezogen.

Grundgedanke der Untersuchung

Die Langzeitreferenzdaten (Reanalysedaten, Wetterstationsdaten, Wind- und Produktionsindices) werden üblicherweise über einen Zeitraum von einem Jahr oder wenigen Jahren mit Windmessdaten oder Ertragsdaten von Windkraftanlagen (Kurzzeitdaten genannt) verglichen. Auf Basis des Vergleichs werden die Kurzzeitdaten auf längere Zeiträume der Vergangenheit hochgerechnet. Es wird also über diese Langzeitreferenzdaten berechnet, welche mittlere Windgeschwindigkeit oder welcher mittlere Jahresenergieertrag über den entsprechenden Zeitraum in der Vergangenheit erzielt worden wäre.

Wird dieses Procedere nun genauso, also auf Basis eines Vergleichs nur über die letzten Jahre, für eine seit vielen Jahren bestehende Windkraftanlage oder Wetterstation durchgeführt, kann die Konsistenz der Langzeitreferenzreihe geprüft werden. Mit einer langfristig stabilen Referenzdatenreihe müssten dann der mittlere Ertrag dieser Anlage bzw. die mittlere Windgeschwindigkeit der Wetterstation für die weiter zurückliegende Vergangenheit korrekt reproduziert werden.

Vorgehensweise

Deutschland

Die Ertragsdaten einzelner, über einen längeren Zeitraum bestehender Windkraftanlagen wurden zunächst über die Daten weiterer Anlagen der Region um Ausreißer bereinigt. Wenn nötig, wurden die Ertragsdaten in manchen Fällen über lineare Regression noch weiter in die fernere Vergangenheit verlängert. Daraus wurden die mittleren Jahresenergieerträge der letzten 10, 15 und 20 Jahre berechnet.

Dann wurden lineare Regressionen der Monatserträge dieser Anlagen der fünf Jahre 2009 bis 2013 über die Referenzdaten gebildet. Mit den erhaltenen Regressionsgleichungen wurden die mittleren Erträge der vergangenen 10, 15 und evtl. auch 20 Jahre je nach Referenzdatenquelle postuliert. Diese konnten dann mit den tatsächlichen Erträgen verglichen werden.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass Monatsmittel oder Jahresmittel von Windgeschwindigkeitsdaten, wie z.B. aus den Reanalysen, durchaus sinnvoll direkt mit Monats- bzw. Jahreserträgen von Windkraftanlagen verglichen werden können, obwohl es sich um physikalisch unterschiedliche Größen handelt. Hausinterne Tests ergaben erstaunlicherweise, dass eine Umrechnung der Windgeschwindigkeiten über eine Leistungskennlinie in Ertragsdaten auf kein nennenswert anderes Ergebnis führt als eine direkte Verwendung der Winddaten. Deshalb ist hier diese einfache Vorgehensweise zulässig.

Wetterstationsdaten wurden in die Betrachtung einbezogen, obwohl eine langfristige Homogenität nur für sehr wenige Wetterstationen in Deutschland angenommen wird. Außerdem wurden die jeweiligen BDB-Indices der Region sowie hauseigene Produktionsindices (pi_{aj}) einbezogen, sodass letztlich vier verschiedene Arten von Langfristdaten verglichen wurden.

Frankreich

Für die Untersuchungen wurden die Datenreihen einzelner Wetterstationen verschiedener Regionen ausgewählt, die von aj im Rahmen üblicher Arbeiten als allgemein besonders homogen bewertet wurden. Die je nach Region „beste“ sollte jeweils über die anderen Referenzdaten reproduziert werden, worunter sich ebenfalls Wetterstationsdaten befanden.

Bei den Untersuchungen für Frankreich besteht der methodische Vorteil, dass nur Windgeschwindigkeiten miteinander verglichen wurden.

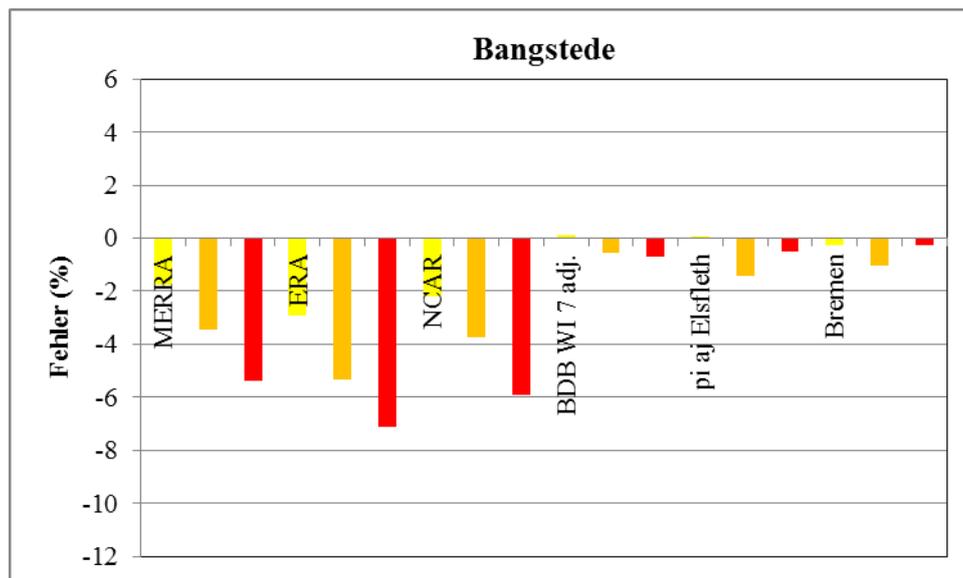
Ergebnisse

Deutschland

Die folgenden Diagramme zeigen die Abweichung des über die Referenzdaten berechneten 10-, 15- bzw. 20-jährigen Ertragsmittels vom tatsächlichen, um Ausfälle bereinigten Ertragsmittel in Prozent.

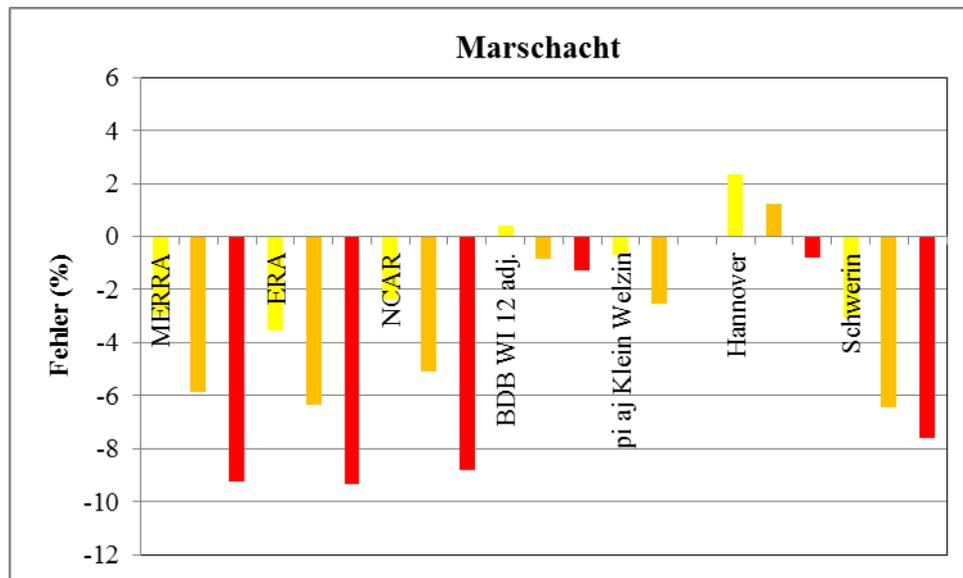
Die gelben Balken beziehen sich auf den 10-Jahres-Zeitraum 2004-2013, die orangefarbenen auf die 15-Jahre von 1999 bis 2013 und die roten Balken auf den 20-jährigen Zeitraum 1994-2013.

Das erste Beispiel betrachtet eine Windkraftanlage bei Bangstede im küstennahen Bereich von Niedersachsen.



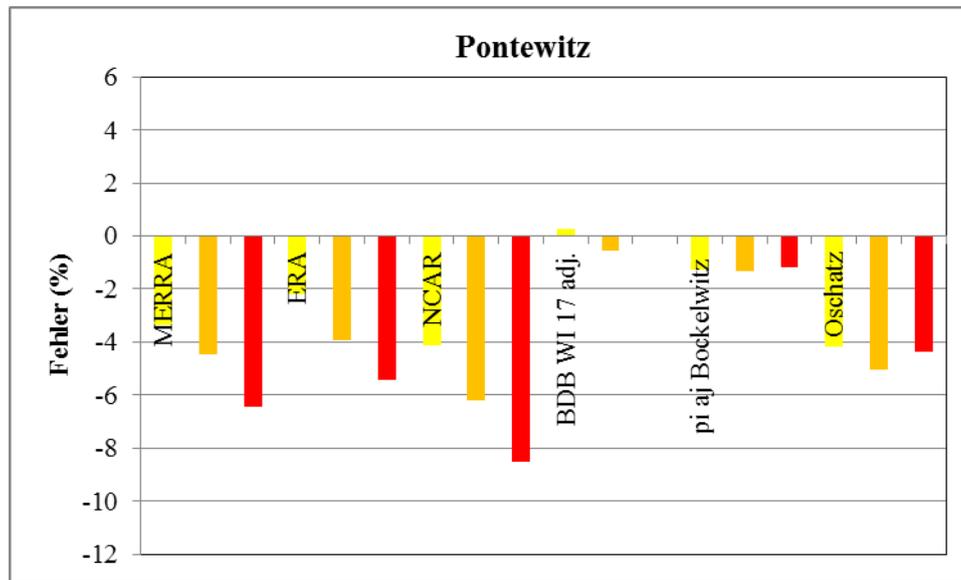
Über die Reanalysedaten (die 9 linken Balken) wird der Ertrag dieser Anlage durchweg zu niedrig wiedergegeben. Die Abweichung steigt bei allen Reanalysen mit der Länge des Betrachtungszeitraums. Im Unterschied dazu werden die tatsächlichen mittleren Erträge für alle Zeiträume über den BDB-Index, den *aj*-eigenen Index *pi aj Elsfleth* und die Wetterstation Bremen gut reproduziert. Dies deutet darauf hin, dass die Reanalysedaten die Langfristverläufe des Windes nicht korrekt wiedergeben und dass diese Inkonsistenz mit der Länge der Datenreihen zusammenhängt.

Das zweite Beispiel stammt aus der Elbmarsch. Die Referenzdatenreihe *pi aj Klein Welzin* reicht weniger als 20 Jahre zurück, weshalb der entsprechende Balken fehlt.



Wieder wachsen die Fehler bei Verwendung der Reanalysedaten mit länger werdendem Betrachtungszeitraum. Zwar ist grundsätzlich bei allen weiteren Referenzdaten ein ähnlicher Trend erkennbar, jedoch ist die Veränderung des Fehlers der Rückrechnung zwischen dem 10- und 20-jährigen Zeitraum bei der Mehrheit der Referenzdaten deutlich geringer als bei den Reanalysen (2 % bis 4 % gegenüber 6 % bei den Reanalysen). Dies legt die Vermutung nahe, dass die Leistungsfähigkeit der betrachteten Windkraftanlage im Lauf der Zeit etwas nachgelassen haben könnte. Die größten Fehler für den 20-jährigen Zeitraum treten wieder bei den Reanalysedaten auf, wobei die Daten der Wetterstation Schwerin ähnlich verlaufen.

Im letzten Beispiel wird eine Windkraftanlage in Ostthüringen, am Südrand der Leipziger Tieflandsbucht, untersucht. In diesem Fall reicht der BDB-Index keine 20 Jahre zurück. Hier wurde keine Zeitreihe einer Wetterstation als langfristig belastbar eingestuft, wobei die der Station Oschatz noch am besten abschnitt und deshalb in die Untersuchung einbezogen wurde.

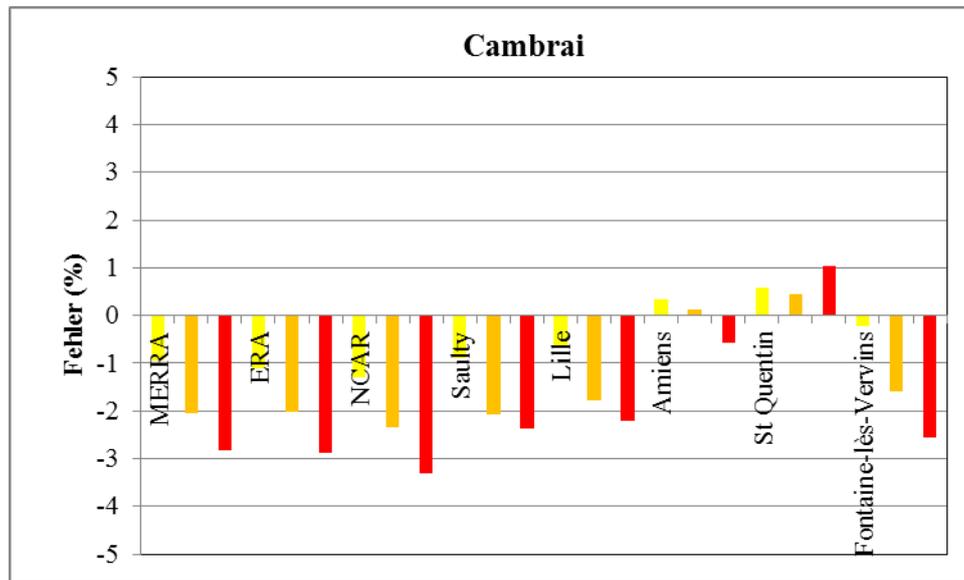


Wieder verschlechtert sich das Ergebnis der Reanalysedaten, je weiter der Betrachtungszeitraum in die Vergangenheit ausgedehnt wird, während die drei anderen Datenquellen keinen solchen Trend aufweisen und sich somit gegenseitig gut bestätigen.

Frankreich

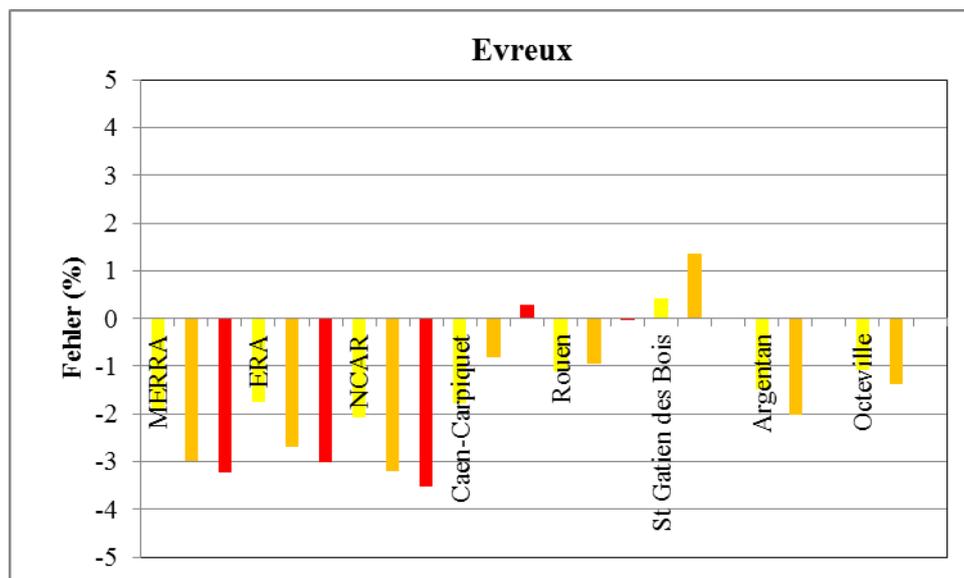
Für Frankreich wird die Abweichung der über die Referenzdaten rückgerechneten, mittleren Windgeschwindigkeit der letzten 10, 15 und 20 Jahre mit der tatsächlich gemessenen mittleren Windgeschwindigkeit der jeweils betrachteten Wetterstation dargestellt. Die Bedeutung der Farben entspricht der in den Beispielen aus Deutschland. Überschlägig kann zum Vergleich angenommen werden, dass ein Fehler der Windgeschwindigkeit von einem Prozent einem Fehler des Energieertrags einer Windkraftanlage in der Größenordnung von zwei Prozent entspricht.

Die erste untersuchte Wetterstation Cambrai befindet sich in Nordfrankreich.



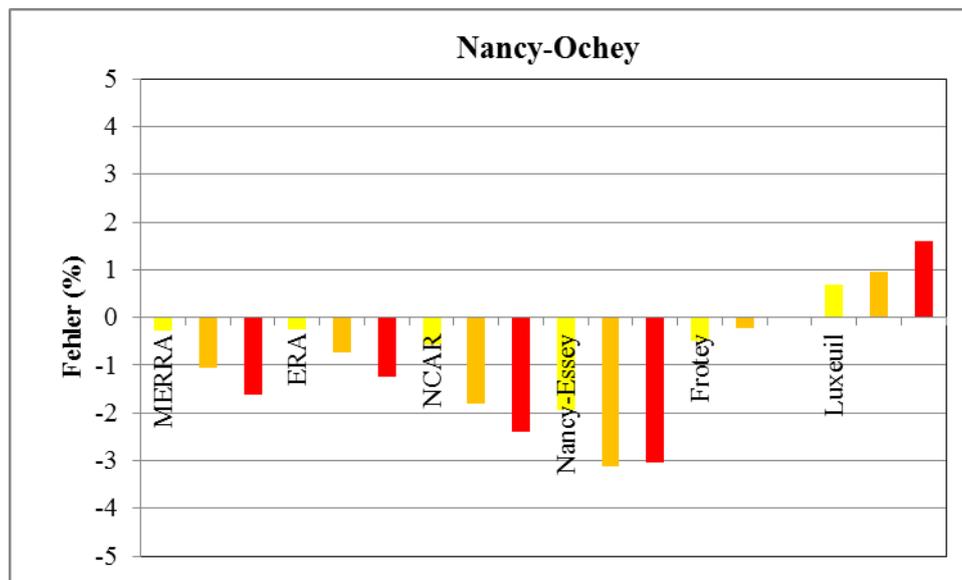
Die drei Reanalysen geben die vieljährige, mittlere Windgeschwindigkeit an der Station Cambrai durchgängig schlechter wieder als die fünf zum Vergleich betrachteten Wetterstationen der Region, mit Ausnahme der Station Saulty beim 15-Jahres-Mittel. Vier der fünf Wetterstationen zeigen mit der Zeit abnehmende Werte, aber nur eine davon weist dabei einen stärkeren Trend auf als die Reanalysen. Die stärkste Abweichung zeigen die NCAR-Daten, was sich bei allen folgenden Fällen fortsetzt.

Das zweite Beispiel Evreux stammt aus Westfrankreich. Bei drei der fünf Vergleichs-Wetterstationen stehen nur 10- und 15-jährige Zeiträume zur Verfügung.



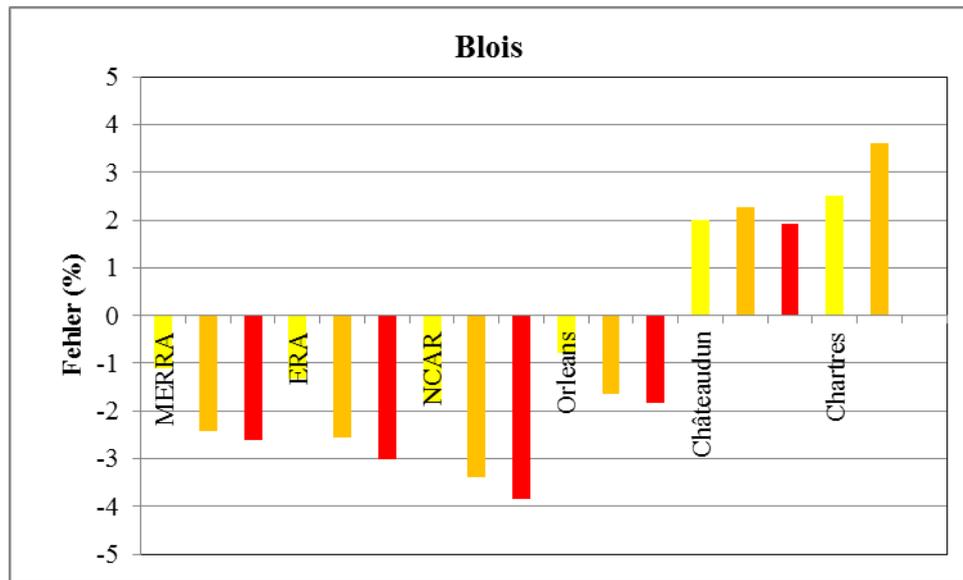
Durchweg schneiden auch hier die Reanalysen schlechter ab als die fünf Vergleichs-Wetterstationen. Der in ihnen enthaltene negative Trend im Vergleich zur Wetterstation Evreux bei länger werdendem Zeitraum der Vergangenheit ist bei keiner der Wetterstationen zu finden.

Als dritter Fall wird eine Wetterstation in Nordostfrankreich herangezogen. Bei der Referenz-Wetterstation Frotey steht kein 20-jähriger Vergleichswert zur Verfügung



Die größten Abweichungen liefert hier die Wetterstation Nancy-Essey, und die Wetterstation Luxeuil weist Fehler derselben Größenordnung wie die Reanalysen, jedoch mit umgekehrtem Vorzeichen. Wiederum zeigen alle Reanalysen einen negativen Trend der Abweichung mit länger werdendem Mittelungszeitraum, der von den Wetterstationen nicht bestätigt wird.

Die letzte betrachtete Wetterstation, Blois, befindet sich im Zentrum Frankreichs, südlich von Paris. Hier sind nur sehr wenige weitere Wetterstationen mit auf den ersten Blick belastbaren Langfristverläufen zu finden. Mit einer davon (Chartres) ist wiederum keine Aussage zum 20-Jahres-Zeitraum möglich.



Die Wetterstation Chartres liefert größere absolute Fehler als die Reanalysen, aber zwei der Wetterstationen geben die Mittelwerte der Wetterstation Blois zumindest beim 15- und 20-Jahres-Zeitraum besser wieder als die Reanalysen.

Schlussfolgerungen

Die vorgestellte Methode ermöglicht es, die langfristige Konsistenz von Langzeitreferenzdaten zu prüfen. Da keine verwendete Datenreihe vollkommen frei von Inkonsistenzen sein wird, kann nur eine größere Zahl an Vergleichen und Plausibilitätsprüfungen eine Orientierung geben. Insbesondere ist nicht auszuschließen, dass die Windkraftanlagen, deren Betriebsdaten zum Vergleich verwendet wurden, ihr Betriebsverhalten ändern, oder dass die Windmessung an einer untersuchten Wetterstation Inkonsistenzen enthält.

Es ist jedoch unwahrscheinlich, dass alle älteren Windkraftanlagen gleichartig einen Effizienzverlust von mehreren Prozent erlitten haben. Nur dies würde erklären, dass in jedem Fall eine steigende negative Abweichung der über die Reanalysen berechneten mittleren Erträge auftritt. Somit muss angenommen werden, dass die Reanalysen für diese Abweichungen verantwortlich und dem zufolge instabil sind. Dies wird dadurch bestätigt, dass die weiteren Vergleichsdaten (*aj*-eigene Produktionsindices, BDB-Indices und Wetterstationsdaten) die von den Reanalysen aufgezeigten Trends nicht belegen.

Genauso wenig ist anzunehmen, dass viele der untersuchten Wetterstationen Frankreichs mehrfach im Lauf der Jahre ihre Charakteristika gleichartig geändert haben oder bei allen eine signifikante Erhöhung der Umgebungsrauigkeit stattfand. Nur dies würde die mit der Zeit zunehmende Abweichung von den Reanalysen in immer derselben Richtung erklä-

ren..Deshalb lassen die Ergebnisse auch hier nur den Schluss zu, dass **alle drei untersuchten Reanalyse-Datensätze die Windverhältnisse der letzten Jahre in den betrachteten Regionen im Vergleich zu weiter zurück liegenden Perioden zu hoch einstufen** und deshalb zu niedrige Ergebnisse liefern, wenn mit ihnen Betriebsergebnisse oder Windmessungen aus den letzten Jahren langfristextrapoliert werden sollen. Die Fehler steigen bei Verlängerung des betrachteten Zeitraums in die weitere Vergangenheit.

Offensichtlich ist eine sehr gute Stabilität von Wetterstationsdaten nur selten gegeben. Aus den vorstehenden Abbildungen kann aber auch geschlossen werden, dass sich bei Kombination verschiedener Wind- und Produktionsindices und Wetterstationsdaten in Deutschland bzw. von mehreren Wetterstationen in Frankreich und anschließender Kompromissbildung oder einfach Mittelung die Auswirkungen einzelner Inkonsistenzen tendenziell ausgleichen. Im Gegensatz dazu zeigen die drei Reanalysen stets sehr ähnlich verlaufende Fehler. Ihre Kombination verringert die individuellen Fehler nicht.

Referenzen

- [1] Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, A. Leetmaa, R. Reynolds, R. Jenne, and D. Joseph, 1996: The NMC/NCAR 40-Year Reanalysis, Project. Bull. Amer. Meteor. Soc., 77, 437-471.
- [2] Dee, D. P., S. M. Uppala, A. J. Simmons, P. Berrisford, P. Poli, S. Kobayashi, U. Andrae, M. A. Balmaseda, G. Balsamo, P. Bauer, P. Bechtold, A. C. M. Beljaars, L. van de Berg, J. Bidlot, N. Bormann, C. Delsol, R. Dragani, M. Fuentes, A. J. Geer, L. Haimberger, S. B. Healy, H. Hersbach, E. V. Hólm, L. Isaksen, P. Kållberg, M. Köhler, M. Matricardi, A. P. McNally, B. M. Monge-Sanz, J.-J. Morcrette, B.-K. Park, C. Peubey, P. de Rosnay, C. Tavolato, J.-N. Thépaut, F. Vitart, 2011: The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. Quart. J. R. Meteorol. Soc., 137, 553-597
- [3] Rienecker, M.M., M.J. Suarez, R. Gelaro, R. Todling, J. Bacmeister, E. Liu, M.G. Bosilovich, S.D. Schubert, L. Takacs, G.-K. Kim, S. Bloom, J. Chen, D. Collins, A. Conaty, A. da Silva, et al., 2011. MERRA - NASA's Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications. J. Climate, 24, 3624-3648, doi: 10.1175/JCLI-D-11-00015.1.
- [4] Ingenieur-Werkstatt Energietechnik: Energiewetterbericht - Windindex Betreiber-Datenbasis; jetzt www.btrdb.de