



Konzeption einer Windkraftanlage in der EMN

WIND4EMN

Standortsuche und die darauffolgende Konzeption einer Windkraftanlage, basierend auf Reanalyse Daten, in der europäischen Metropolregion Nürnberg

Name: Tim Popp
Anschrift: [REDACTED]
Email: poppti65203@th-nuernberg.de
Telefon: [REDACTED]
Matrikelnummer: [REDACTED]
Hochschule: Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm
Art der Arbeit: Projektarbeit
Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Matthias Popp
Korrektor: [REDACTED]

Ort, Datum

Unterschrift

Abstract

In dieser Projektarbeit wird mit der Hilfe von Reanalysedaten ein geeigneter Standort für eine Windkraftanlage in der Europäischen Metropolregion Nürnberg (EMN) ausgesucht. Hierzu werden Daten vom Windenergieatlas Bayern und der Datenbank MERRA2 der NASA verwendet. Daraufhin wird an diesem Standort das Windaufkommen von 1980 bis 2017 untersucht, um das windstärkste und das windschwächste Jahr und die durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten zu ermitteln. Anschließend werden die Benutzungsrate und die in einem Jahr abgegebenen Energien von modernen Anlagen in diesen Jahren verglichen.

Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	II
Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis.....	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einleitung.....	1
2 Auswahl des Standortes	3
2.1 Anlagen mit einer Nabenhöhe von 160m.....	4
2.2 Anlagen mit einer Nabenhöhe von 130m.....	5
3 Auswerten der MERRA 2 Daten	6
4 Berechnen der Windkraftanlagen	6
4.1 Vergleich der Windkraftanlagen	7
4.2 2017: Jahr mit durchschnittlicher Windstärke.....	7
4.3 2007: Das Windstärkste Jahr	12
4.4 2014: Das Windschwächste Jahr.....	13
4.5 Vergleich der Nabenhöhen 130m und 160m.....	15
5 Fazit.....	17
6 Literaturverzeichnis.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Bruttostromerzeugung in Deutschland 2017 (BMWl, 2018).....	1
Abb. 2: Windaufkommen in der EMN auf 160m (Energieatlas Bayern, 2018).....	3
Abb. 3: Standort 1 - Nabenhöhe 160m (Energieatlas Bayern, 2018)	4
Abb. 4: Standort 2 - Nabenhöhe 130m (Energieatlas Bayern, 2018)	5
Abb. 5: Mittlere Windgeschwindigkeiten auf 130m von 1980 bis 2017.....	6
Abb. 6: Leistungskennlinie der Anlage E-138 EP3 (Enercon E-138, 2018).....	8
Abb. 7: Durchschnittliche Tageswindgeschwindigkeiten 2017	9
Abb. 8: Abgegebene Leistung der Anlage E-115 im Jahr 2017.....	10
Abb. 9: Abgegebene Leistung der Anlage E-141 im Jahr 2017.....	11
Abb. 10: Abgegebene Leistung der Anlage E-138 im Jahr 2017.....	11
Abb. 11: Durchschnittliche Tageswindgeschwindigkeiten 2007	12
Abb. 12: Abgegebene Leistung der Anlage E-138 im Jahr 2007.....	13
Abb. 13: Durchschnittliche Tageswindgeschwindigkeiten 2014	14
Abb. 14: Abgegebene Leistung der Anlage E-138 im Jahr 2014.....	15
Abb. 15: Mittlere Windgeschwindigkeiten auf 130m und 160m von 1980 bis 2017..	16

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Daten der Windkraftanlagen.....	7
Tab. 2: Vergleich der Anlagen - 2017.....	10
Tab. 3: Vergleich der Anlagen - 2007.....	13
Tab. 4: Vergleich der Anlagen - 2014.....	14
Tab. 5: Vergleich 130m & 160m Nabenhöhe	16

Abkürzungsverzeichnis

EMN:	Europäische Metropolregion Nürnberg
α :	Hellmannscher Höhenexponent
P_{Anlage} :	Nutzbare Leistung durch die Anlage
$c_{p(v_w)}$:	Leistungsbeiwert der Anlage bei v_w
P_0 :	Vorhandene Leistung im Wind
ρ :	Dichte der Luft
A' :	Projizierte Fläche des Rotors
v_w :	Windgeschwindigkeit

1 Einleitung

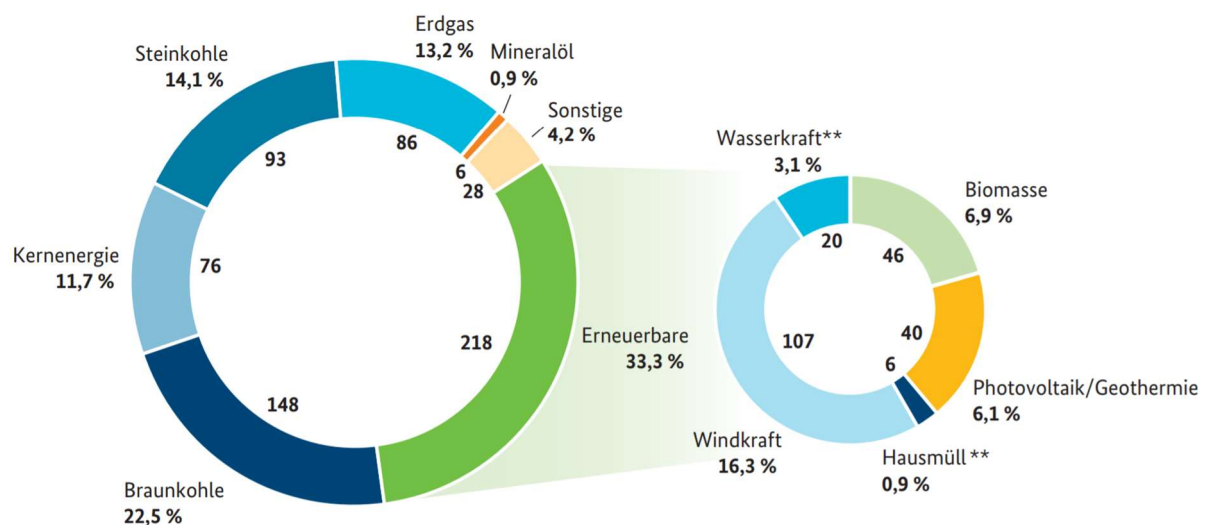
Aufgrund des Pariser Klimaprotokolls vom September 2015, hat sich die EMN als Ziel gesetzt, die CO₂-Emissionen der gesamten Metropolregion bis 2050 um 80-95% zu reduzieren. (Metropolregion Nürnberg, 2017) Um diese Reduktion umsetzen zu können, hat sich die EMN vorgenommen bis 2050 den kompletten elektrischen Energiebedarf mit regenerativen Energieträgern zu decken.

Des Weiteren ist umweltverträgliche Energiegewinnung im heutigen Bayern und auch in ganz Deutschland ein sehr wichtiges Thema. Dass dies sowohl in der Politik, als auch bei den Wählern so ist, kann man unter anderen daran sehen, dass die Grünen bei der vergangenen Landtagswahl zur zweit stärksten Partei gewählt wurden. Außerdem hat die Bundesregierung beschlossen, dass bis 2022 alle Atomkraftwerke in Deutschland abgeschaltet werden sollen (Bundesregierung, 2018). Um das daraus entstehende Energiedefizit umweltneutral ausgleichen zu können, muss die regenerative Energieversorgung ausgebaut werden.

Hierbei ist die Energie aus Windkraft ein großer Bestandteil. Wie man in Abbildung 1 sehen kann, wurde 2017 bereits ein Drittel der Bruttostromerzeugung regenerativ erzeugt. Von diesen 33,3% sind 16,3% auf Windkraft zurück zu führen. Außerdem ist die regenerativ erzeugte Energie von 2016 bis 2017 um 3,6% und der Windkraftanteil um 2,8% gestiegen. (Heise, 2017)

Bruttostromerzeugung in Deutschland 2017

Insgesamt 654,8 TWh*



Geothermie aufgrund der geringen Menge in Photovoltaik (PV)
*vorläufig, **regenerativer Anteil

Abb. 1: Bruttostromerzeugung in Deutschland 2017 (BMWi, 2018)

Um den Ausbau von Windkraftanlagen möglichst effizient zu gestalten, kann die Verwendung von Reanalysedaten zur Auslegung von Windkraftanlagen einen großen Vorteil bringen. Da man die Windgeschwindigkeiten über einen sehr großen Zeitraum vorliegen hat, kann man die Anlagen so konzipieren, dass sie die vorhandenen Windverhältnisse möglichst gut ausnutzen.

Aus diesem Grund beschäftigt sich diese Projektarbeit mit den folgenden Forschungsfragen:

- Welche Gebiete in der europäischen Metropolregion Nürnberg eignen sich am besten für den Bau einer Windkraftanlage?
- Wieviel Energie geben verschiedene moderne Windkraftanlagen in den windstärksten / -schwächsten Jahren, der laut Reanalysedaten, vorteilhaftesten Gebieten ab und welchen Benutzungsgrad haben sie dabei?

Die Ergebnisse dieser Projektarbeit sollen einerseits aufzeigen, wie wertvoll Daten aus Reanalysen für die Planung von Windkraftanlagen sind und andererseits einen Vorschlag für eine zukünftige Anlage bieten.

2 Auswahl des Standortes

Um den Bau von neuen Windkraftanlagen möglichst effizient gestalten zu können ist es wichtig Standorte mit möglichst hohen Windaufkommen auszuwählen. Für die Auswahl des Standortes werden Daten vom Energieatlas Bayern verwendet. Dieser kann wie, in Abbildung 2 zu sehen ist die durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten in der EMN anzeigen.

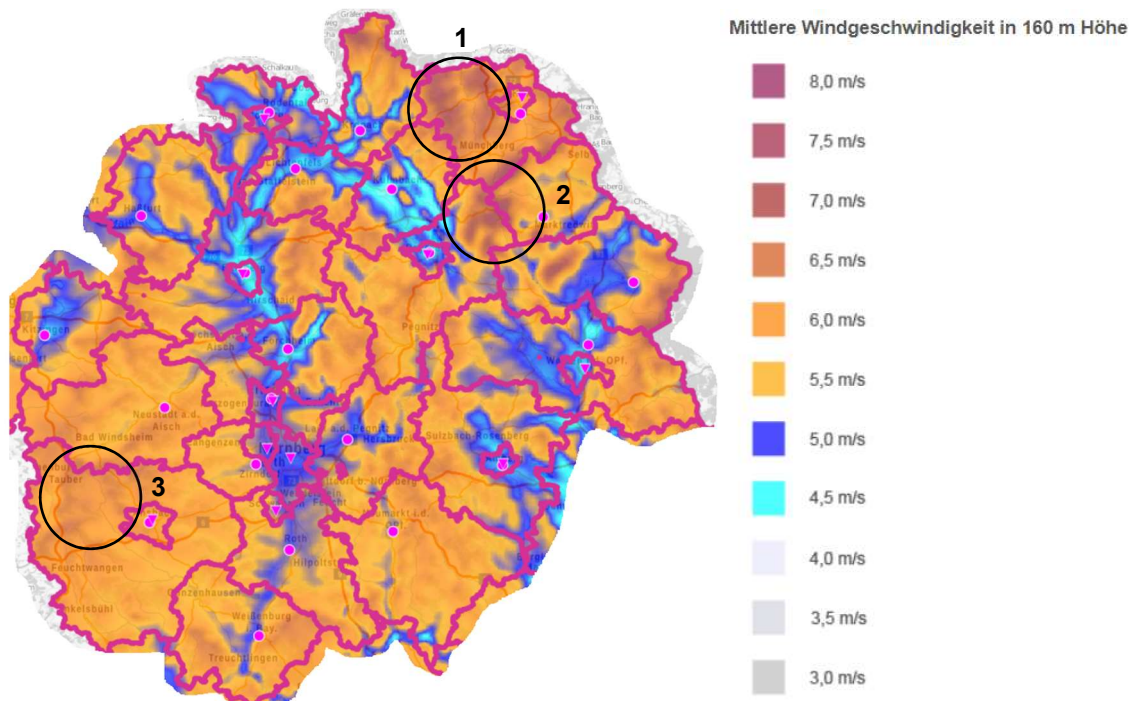


Abb. 2: Windaufkommen in der EMN auf 160m (Energieatlas Bayern, 2018)

Anhand dieser Daten werden nun 3 Standorte genauer darauf untersucht ob dort eine Windkraftanlage errichtet werden kann. Dabei muss man auf einige Dinge achten. In Bayern gibt es beispielsweise seit 2014 die 10H Regel. Diese besagt, dass Windkraftanlagen „einen Mindestabstand vom 10-fachen ihrer Höhe zu Wohngebäuden in Gebieten mit Bebauungsplänen ... – sofern in diesen Gebieten Wohngebäude nicht nur ausnahmsweise zulässig sind – ... einhalten [müssen. Hierbei entspricht die] ... Höhe im Sinn des Abs. 1 [der] Nabenhöhe zuzüglich [des] Radius des Rotors.“ (Bayrische Staatsregierung, 2014).

In den Gebieten 1 und 2 sind die durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten im Vergleich zum Gebiet 3 zwar höher, aber die hohen Windgeschwindigkeiten sind in diesen Gebieten zum Großteil über Wäldern. Außerdem sind die Dörfer in diesen Gebieten sehr nah aneinander gebaut, was das Einhalten der 10H-Regel erschwert.

2.1 Anlagen mit einer Nabenhöhe von 160m

Zuerst werden Standorte für Anlagen mit einer Nabenhöhe von 160m untersucht. Weil die Windgeschwindigkeiten mit zunehmender Höhe aufgrund des exponentiellen Windprofils: $\frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^{\alpha}$ ¹ zunehmen, können höhere Windkraftanlagen mehr Energie aus dem Wind gewinnen. Deshalb hat die Höhe von Windkraftanlagen in den letzten Jahren stark zugenommen. Moderne Anlagen haben zurzeit eine Nabenhöhe von bis zu 160m.

Die 10H Regel erschwert die Auswahl eines Standortes für eine Windkraftanlage mit einer Nabenhöhe von 160m enorm. Da die meisten Anlagen dieser Höhe einen Rotordurchmesser von rund 140m haben beträgt der Mindestabstand somit 2300m.

In den drei untersuchten Gebieten befinden sich die einzigen Standorte, welche eine geeignet hohe durchschnittliche Windgeschwindigkeit haben und die 10H Regel erfüllen inmitten von Wäldern. Dies wird in Abbildung 3 beispielsweise verdeutlicht. Ein Errichten von Windkraftanlagen inmitten von Wäldern sorgt zum einen für Schwierigkeiten beim Bau der Anlagen und zum anderen beeinflusst es die Flora und Fauna in diesen Gebieten negativ. Daher werden nachfolgend Anlagen mit einer Nabenhöhe von 130m untersucht.

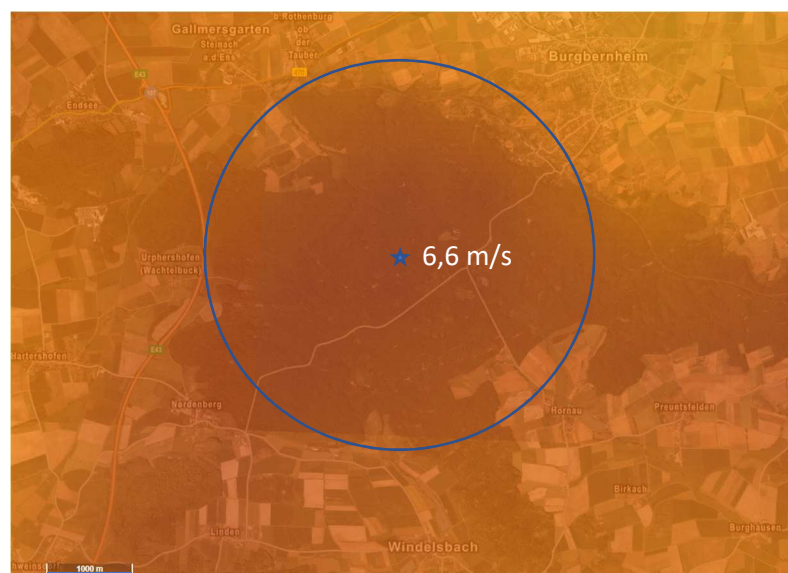


Abb. 3: Standort 1 - Nabenhöhe 160m (Energieatlas Bayern, 2018)

¹ α = Hellmannscher Höhenexponent

2.2 Anlagen mit einer Nabenhöhe von 130m

Bei den meisten modernen Windkraftanlagen ist die nächst kleinere Nabenhöhe 130m. Durch die geringere Nabenhöhe wird die potentielle Windenergie, aufgrund der kleineren Windgeschwindigkeiten auf niedrigeren Höhen, geringer. Dafür haben kleinere Windkraftanlagen den Vorteil, dass man die 10H-Regel besser einhalten kann.

So beträgt der Mindestabstand bei Anlagen mit einer Nabenhöhe von 130m und einem Rotordurchmesser von annähernd 140m ungefähr 2000m. In den untersuchten Gebieten 1 und 2 kann der Mindestabstand, bei einer optimalen Windgeschwindigkeit, immer noch nur dann erfüllt werden, wenn sich die Windkraftanlage in einem Wald befindet. Daher wird ein Standort in Gebiet 3 festgelegt.

Der Standort befindet sich, wie in Abbildung 4 zu sehen ist, an einem Waldrand in der Nähe von Bad Windsheim. Auf einer Höhe von 130m beträgt die durchschnittliche Windgeschwindigkeit hier 6,3 m/s.

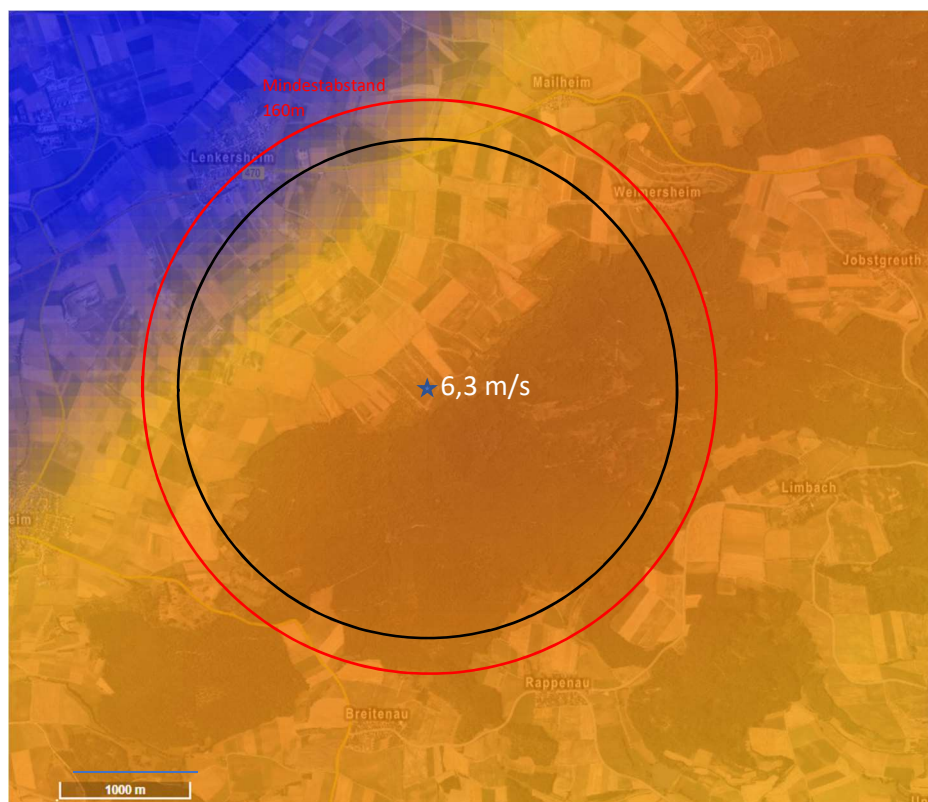


Abb. 4: Standort 2 - Nabenhöhe 130m (Energieatlas Bayern, 2018)

An diesem Standort ist eine Anlage mit einer Nabenhöhe von 130m und einem Rotordurchmesser von bis zu 140m möglich.

3 Auswerten der MERRA 2 Daten

Nachfolgend werden die Windgeschwindigkeiten aus der Datenbank MERRA 2 für den festgelegten Standort ausgewertet. Bei der Betrachtung der MERRA 2 Daten fällt auf, dass die Windgeschwindigkeiten bei den jeweiligen Höhen zu hoch sind. Deshalb werden für die nachfolgenden Berechnungen die Windgeschwindigkeiten bei der Höhe genommen, welche im Durchschnitt der mittleren Windgeschwindigkeit des Standortes entspricht. Hierzu wird, wie in Abbildung 5 gezeigt, der Mittelwert aus allen mittleren Windgeschwindigkeiten von 1980 bis 2017 gebildet

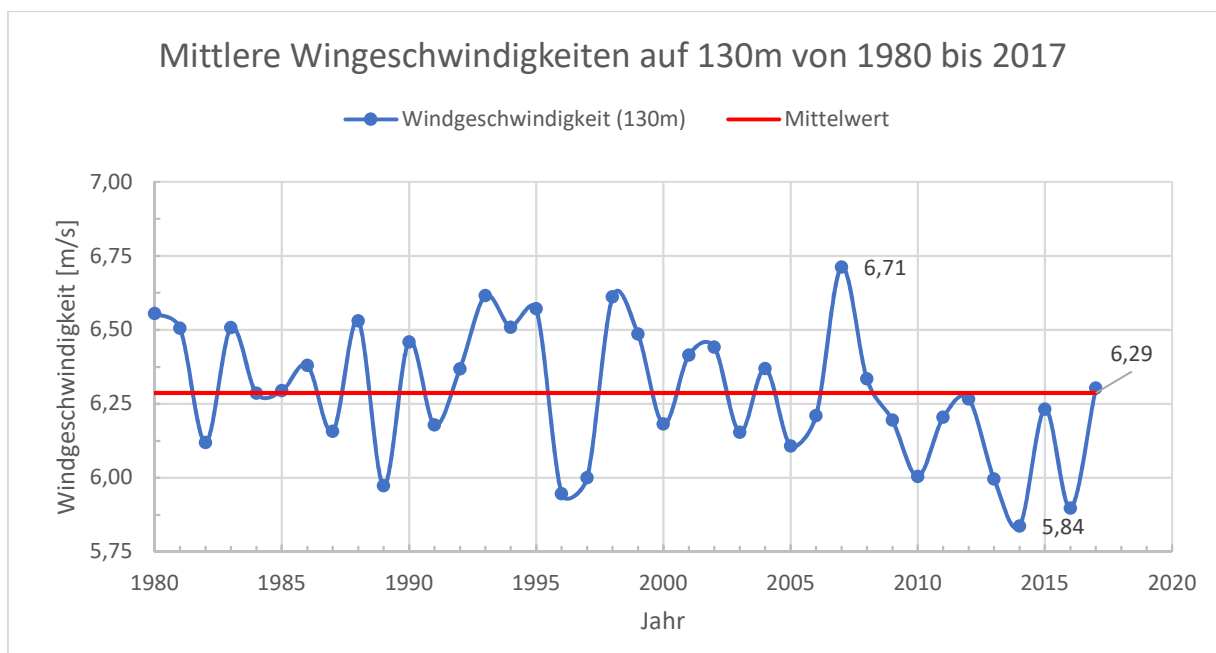


Abb. 5: Mittlere Windgeschwindigkeiten auf 130m von 1980 bis 2017

Aus dem Graphen aus Abbildung 5 folgt außerdem, dass 2007 das Jahr mit der höchsten und 2014 das Jahr mit der niedrigsten Windgeschwindigkeit war. Außerdem entsprach die Windgeschwindigkeit im Jahr 2017 annähernd der mittleren Windgeschwindigkeit des Gebietes.

4 Berechnen der Windkraftanlagen

Nachfolgend werden von 3 verschiedenen Anlagentypen die abgegebene Energie und ihr Nutzungsgrad in den Jahren 2007, 2014 und 2017 ermittelt und miteinander verglichen.

4.1 Vergleich der Windkraftanlagen

An der Tabelle 1 kann man die Daten der für die Berechnung verwendeten Windkraftanlagen ablesen. Hier fällt auf, dass die Anlage Enercon E-138 die geringste spezifische Leistung hat, deshalb wird sie voraussichtlich den höchsten Benutzungsgrad haben.

Tab. 1: Daten der Windkraftanlagen

Anlage	Leistung [kW]	Durchmesser [m]	Leistungsdichte [W/m ²]	Quelle
Enercon E-115	3000	115	285,30	(Enercon E-115, 2018)
Enercon E-141	4200	141	269	(Enercon E-141, 2018)
Enercon E-138	3500	138	234	(Enercon E-138, 2018)

Diese Windkraftanlagen wurden ausgewählt, um den Einfluss zu zeigen, den die maximalen Leistungen, die Durchmesser und die daraus entstehenden Leistungsdichten auf die abgegebene Leistung und den Benutzungsgrad haben.

4.2 2017: Jahr mit durchschnittlicher Windstärke

Die durchschnittliche Windstärke im Jahr 2017 entspricht annähernd der mittleren Windgeschwindigkeit von 1980 bis 2017. Deshalb werden die Windkraftanlagen anschließend anhand dieses Jahres ausgelegt.

Für die Berechnung der abgegebenen Energien werden die Leistungsbeiwerte (c_p) der Anlagen, sowie die Windgeschwindigkeiten und die Dichte der Luft benötigt. In der Abbildung 6 wird beispielsweise die Leistungskennlinie der Anlage „Enercon E-138“ gezeigt, aus der man die Leistungsbeiwerte bei den jeweiligen Windgeschwindigkeiten ablesen kann.

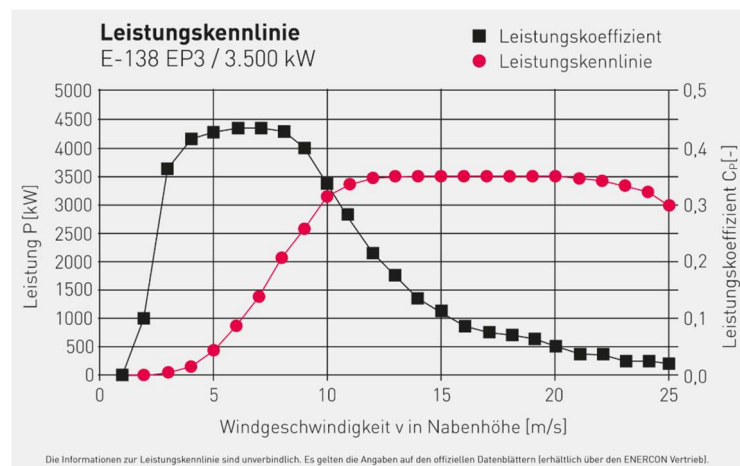


Abb. 6: Leistungskennlinie der Anlage E-138 EP3 (Enercon E-138, 2018)

An der Leistungskennlinie kann man erkennen, dass der Leistungskoeffizient bei steigenden Windgeschwindigkeiten sehr schnell bis zu seinem Maximum von 0,45 ansteigt. Das geschieht, weil er direkt proportional zu der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit ist. Sobald die Windkraftanlage aber ihre maximale Leistung erreicht, fällt der Leistungskoeffizient stark ab. Das kommt dadurch zustande, dass der Leistungskoeffizient der Quotient aus der insgesamt vorhandenen Windenergie und der durch die Windkraftanlage abgegebene Leistung ist. Anhand der Werte aus diesem Graphen können nun die Leistungsbeiwerte für jede anfallende Windgeschwindigkeit interpoliert werden.

Im Anschluss wird der Verlauf der Windgeschwindigkeiten über das Jahr 2017 in Abbildung 7 aufgezeigt. Diese sind zugunsten der Übersichtlichkeit auf die jeweiligen Tageswerte gemittelt. An dem Graphen kann man außerdem erkennen, dass die Windgeschwindigkeiten in den Wintermonaten im Durchschnitt leicht größer als in den Sommermonaten sind.

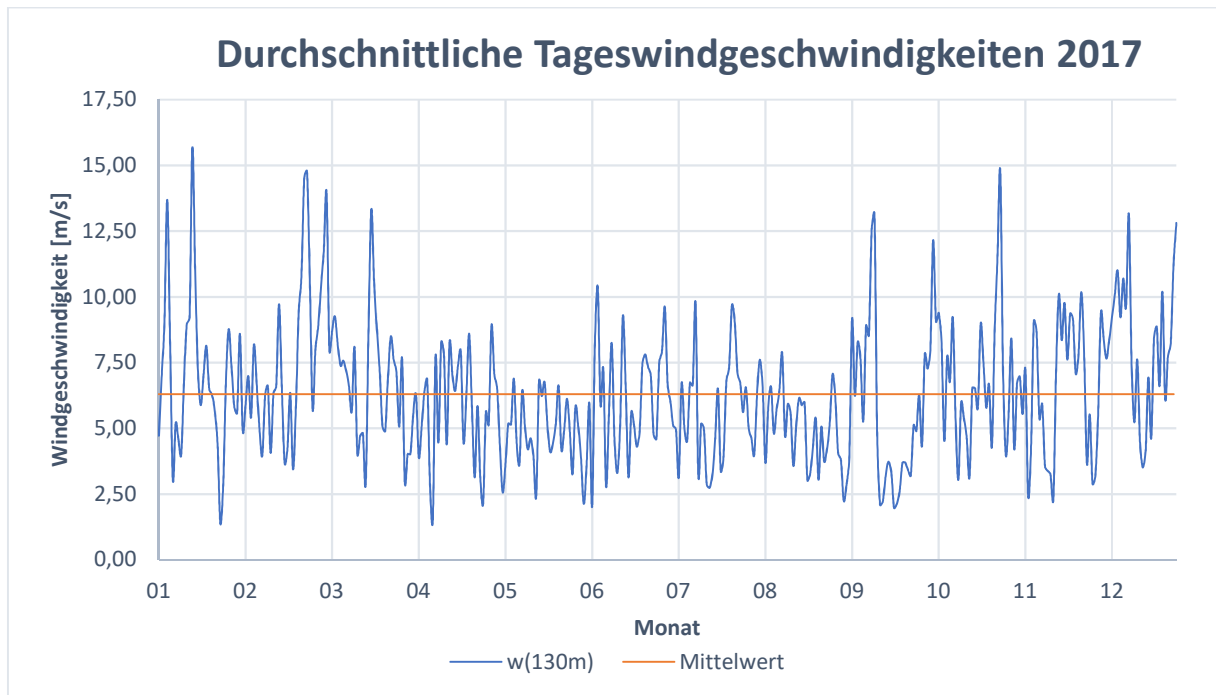


Abb. 7: Durchschnittliche Tageswindgeschwindigkeiten 2017

Wenn alle Daten bekannt sind, können anschließend die abgegebenen Energien für jeden Stunde des Jahres berechnet werden. Die Berechnungen werden anhand der Folgenden Formel durchgeführt.²

$$c_{p(v_w)} = \frac{P_{Anlage}}{P_0} \rightarrow P_{Anlage} = c_{p(v_w)} * P_0 = c_{p(v_w)} * \frac{\rho}{2} * A' * v_w^3 [W]$$

P_{Anlage} = Nutzbare Leistung durch die Anlage

$c_{p(v_w)}$ = Leistungsbeiwert der Anlage bei v_w

P_0 = Vorhandene Leistung im Wind

ρ = Dichte der Luft

$$A' = \text{Projizierte Fläche des Rotors} = \frac{1}{4} * \pi * D^2$$

v_w = Windgeschwindigkeit

Anhand dieser Rechnungen ergeben sich die in Tabelle 2 dargestellten Benutzungsgrade und die Energien welche die Anlagen in einem Jahr abgeben. Die Anlage E-138 hat wie bereits angenommen den höchsten Benutzungsgrad. Deshalb gibt sie im Jahr 2017 ca. 91% der Energie der Windkraftanlage E-141 ab, obwohl deren maximale Leistung um 20% höher ist.

² Die Berechnungen erfolgen durch ein Excel Add-in von Dr. Matthias Popp (Popp, 2018)

Tab. 2: Vergleich der Anlagen - 2017

Anlage	Energie [MWh]	Benutzungsgrad
Enercon E-115	8250,95	0,32
Enercon E-141	11734,29	0,32
Enercon E-138	10705,73	0,35

In den nachfolgenden Abbildungen 8,9 und 10 wird der Verlauf der abgegebenen Leistungen der Anlagen über das Jahr dargestellt. Diese werden zugunsten der Übersichtlichkeit als Tagesmittel dargestellt.

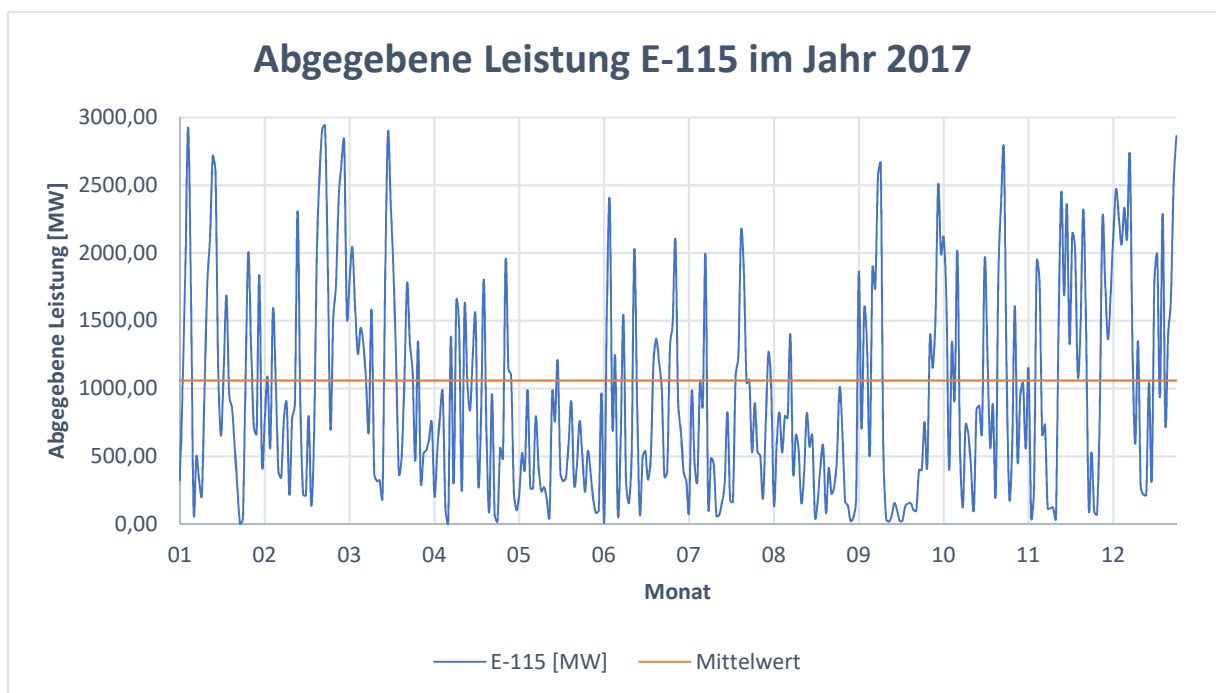


Abb. 8: Abgegebene Leistung der Anlage E-115 im Jahr 2017

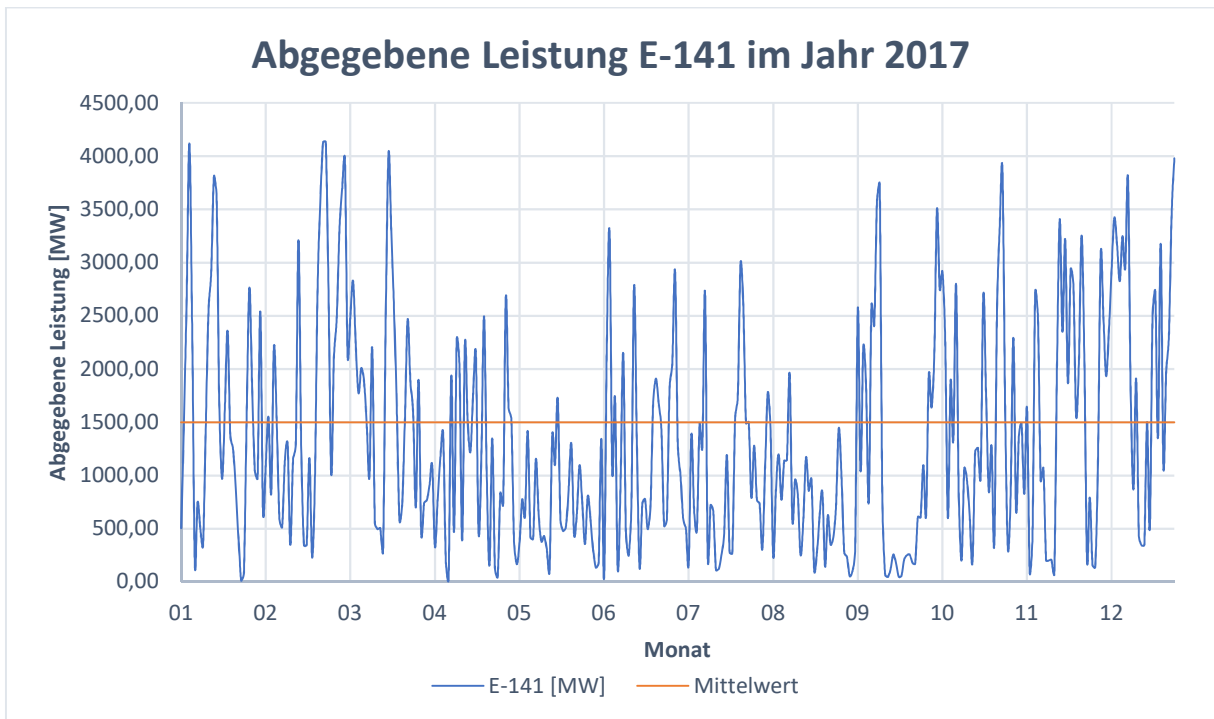


Abb. 9: Abgegebene Leistung der Anlage E-141 im Jahr 2017

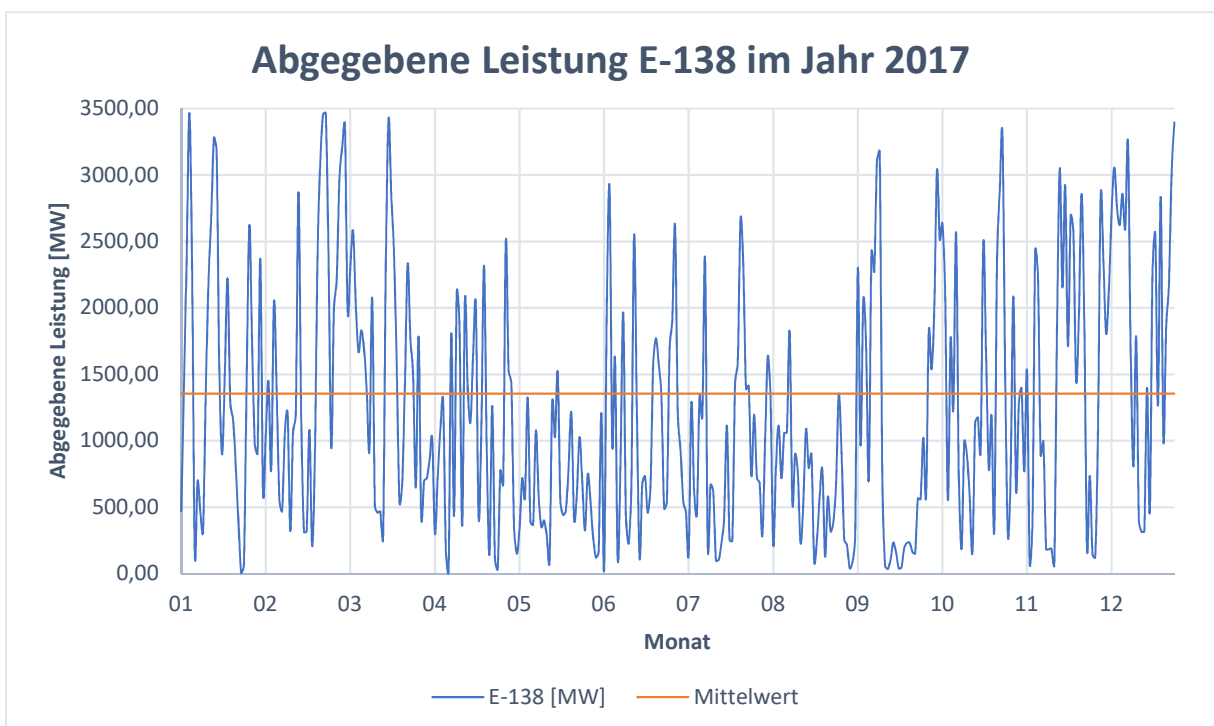


Abb. 10: Abgegebene Leistung der Anlage E-138 im Jahr 2017

An der Abbildung 8 kann man sehen, dass die Anlage Enercon E-115 aufgrund ihrer kleinen Rotorfläche und der kleinsten maximalen Leistung im Tagesdurchschnitt am wenigsten Leistung abgibt. Im Vergleich dazu kann man in Abbildung 10 sehen, dass die Windenergieanlage Enercon E-138 ihre maximale Leistung im Durchschnitt etwas besser ausnutzt.

Aus der Abbildung 9 folgt, dass die Anlage Enercon E-141 durchschnittlich am Tag am meisten Energie abgibt, weil sie die Tage mit hohen Windgeschwindigkeiten am besten Nutzen kann.

4.3 2007: Das Windstärkste Jahr

Im Jahr 2007 waren die Windgeschwindigkeiten im ausgewählten Gebiet im Durchschnitt am stärksten. Hier erfolgen die Berechnungen analog zum Jahr 2017. Nachfolgend sind die durchschnittlichen Tageswindgeschwindigkeiten in der Abbildung 11 ersichtlich. Diese sind ebenso auf die jeweiligen Tageswerte gemittelt. Des Weiteren kann man erkennen, dass die Schwankungen der Windgeschwindigkeiten nicht so stark sind wie im Jahr 2017.

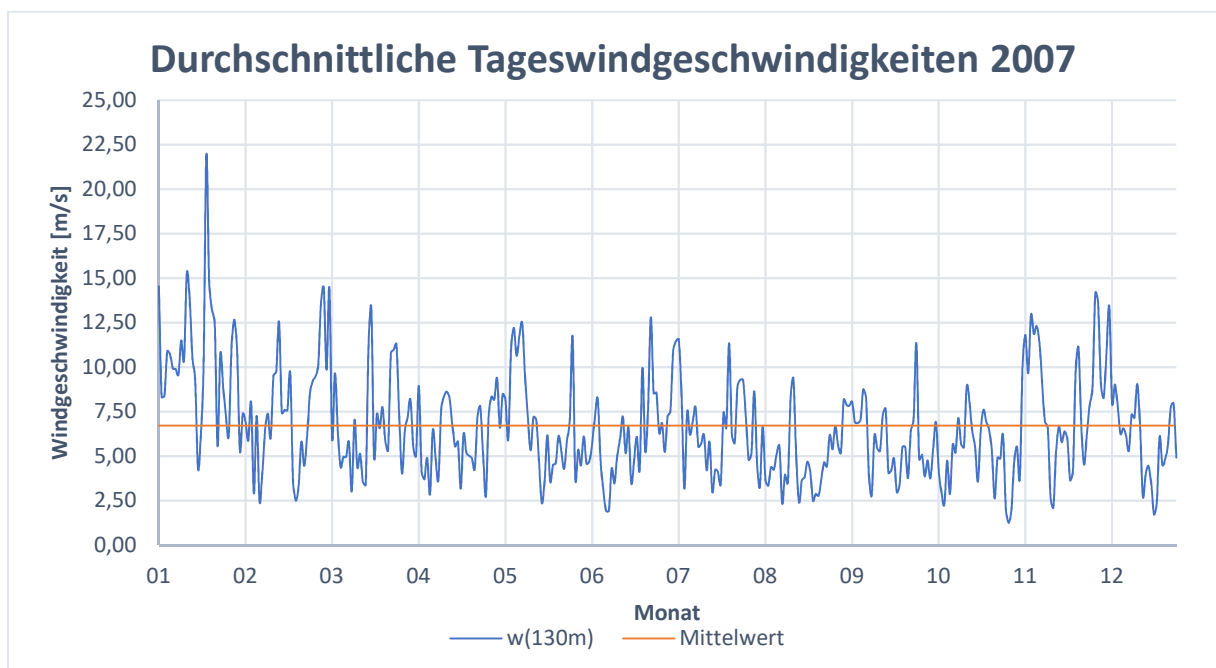


Abb. 11: Durchschnittliche Tageswindgeschwindigkeiten 2007

Wie man in Abbildung 12 beispielsweise sehen kann, erreichen die Anlagen aufgrund der höheren Windgeschwindigkeiten deutlich häufiger ihre maximale Leistung. Das resultiert wie in Tabelle 3 dargestellt in höheren Benutzungsgraden und abgegebenen Energien.

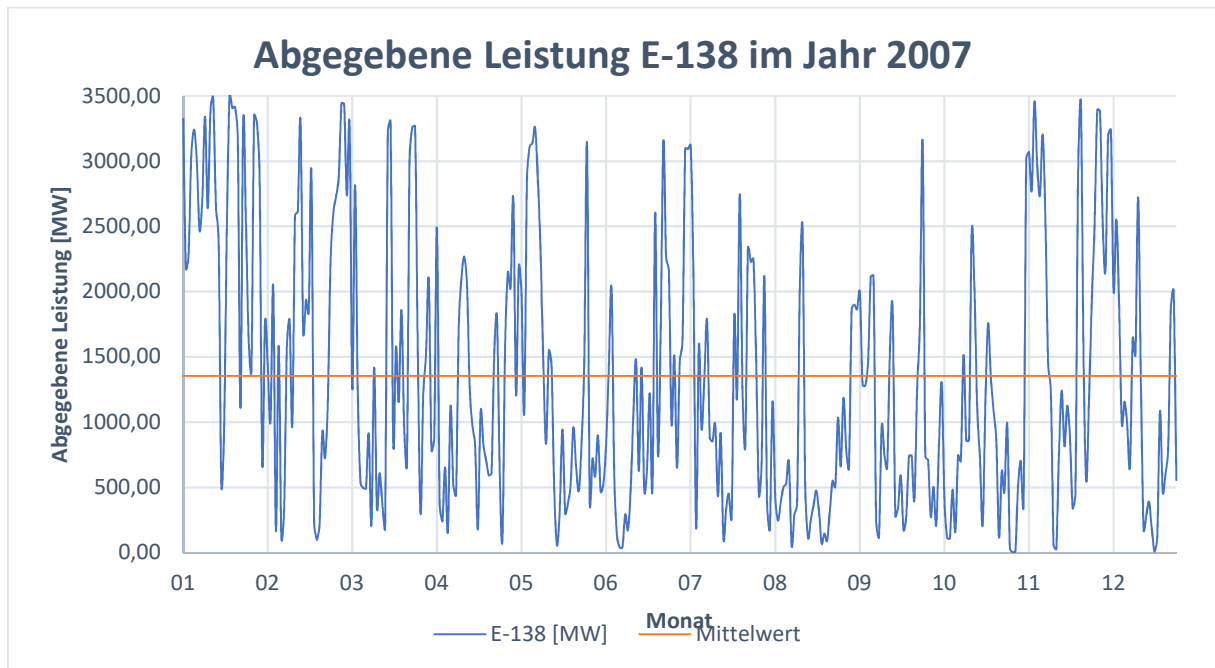


Abb. 12: Abgegebene Leistung der Anlage E-138 im Jahr 2007

Tab. 3: Vergleich der Anlagen - 2007

Anlage	Energie [MWh]	Benutzungsgrad
Enercon E-115	9277,45	0,36
Enercon E-141	13144,02	0,36
Enercon E-138	11866,62	0,39

4.4 2014: Das Windschwächste Jahr

Im Jahr 2014 waren die Windgeschwindigkeiten im ausgewählten Gebiet im Durchschnitt am schwächsten. Die Berechnungen erfolgen hier wieder analog zum Jahr 2014. Die durchschnittlichen Tageswindgeschwindigkeiten in Abbildung 13 ersichtlich.

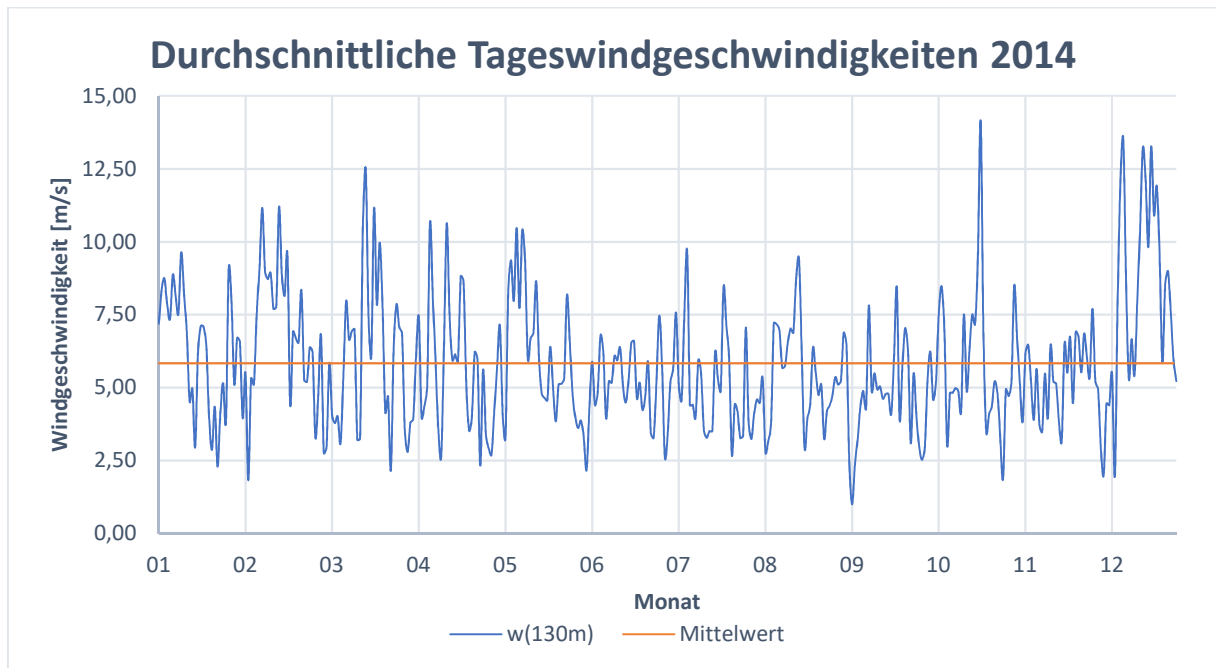


Abb. 13: Durchschnittliche Tageswindgeschwindigkeiten 2014

In Abbildung 13 sieht man weiterhin, dass die Schwankungen der Windgeschwindigkeiten größer als in den Jahren 2007 und 2017 sind. Dies kommt dadurch zu Stande, dass Windgeschwindigkeiten bei geringeren Windstärken instabiler sind. In der Tabelle 4 werden die im Jahr 2007 abgegebenen Energien und die Benutzungsgrade der Anlagen dargestellt.

Tab. 4: Vergleich der Anlagen - 2014

Anlage	Energie [MWh]	Benutzungsgrad
Enercon E-115	6938,06	0,27
Enercon E-141	9936,39	0,27
Enercon E-138	9087,95	0,30

In Abbildung 14 ist zu erkennen, dass die Anlage E-138 im Jahr 2014 ihre maximale Leistung nur selten erreicht.

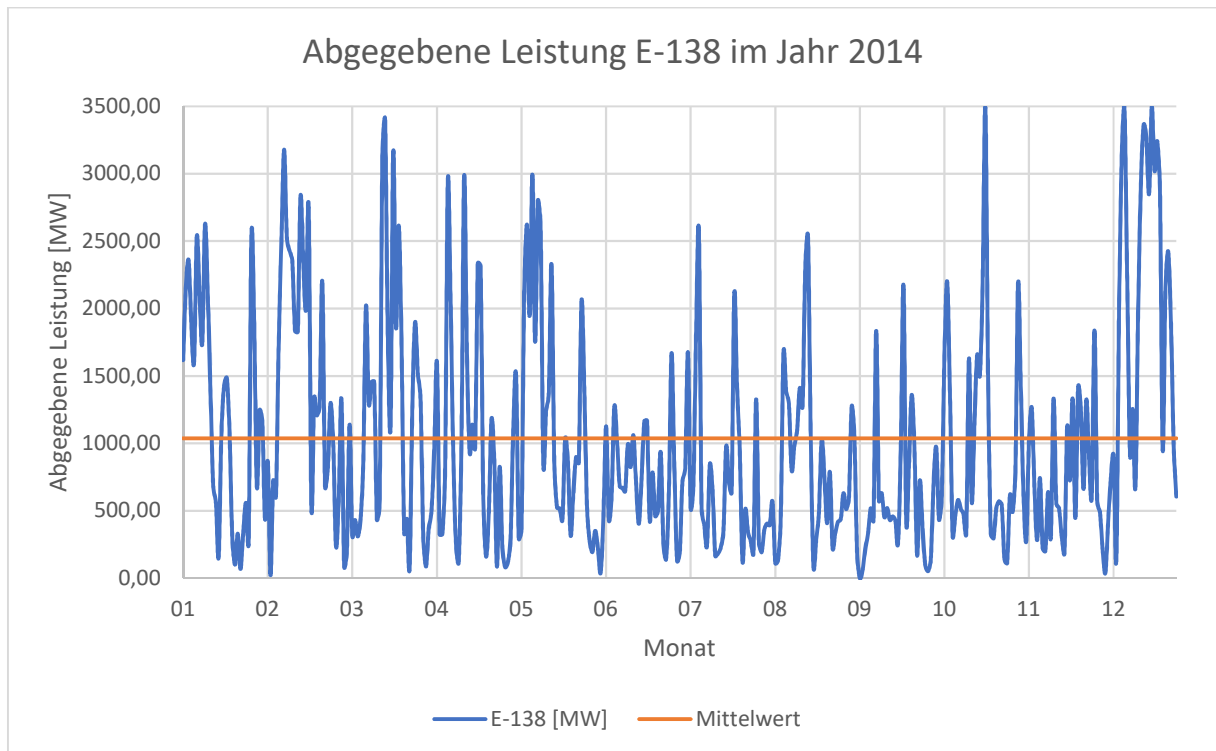


Abb. 14: Abgegebene Leistung der Anlage E-138 im Jahr 2014

4.5 Vergleich der Nabenhöhen 130m und 160m

Aufgrund der gesetzlichen Limitationen kann man an dem gewählten Standort keine Windkraftanlage mit einer Nabenhöhe von 160m bauen. Um besser vergleichen zu können welchen Einfluss die Nabenhöhe auf die abgegebene Leistung und den Benutzungsgrad hat werden die Anlagen in Tabelle 5 bei einer Nabenhöhe von 130m und 160m verglichen. Auf einer Höhe von 160m beträgt die durchschnittliche Windgeschwindigkeit am Standort 6,5 m/s. Die Berechnungen bei einer Nabenhöhe von 160m werden analog zu denen bei 130m durchgeführt. In Abbildung 15 ist der Unterschied der mittleren Windgeschwindigkeiten bei 130m und 160m dargestellt.

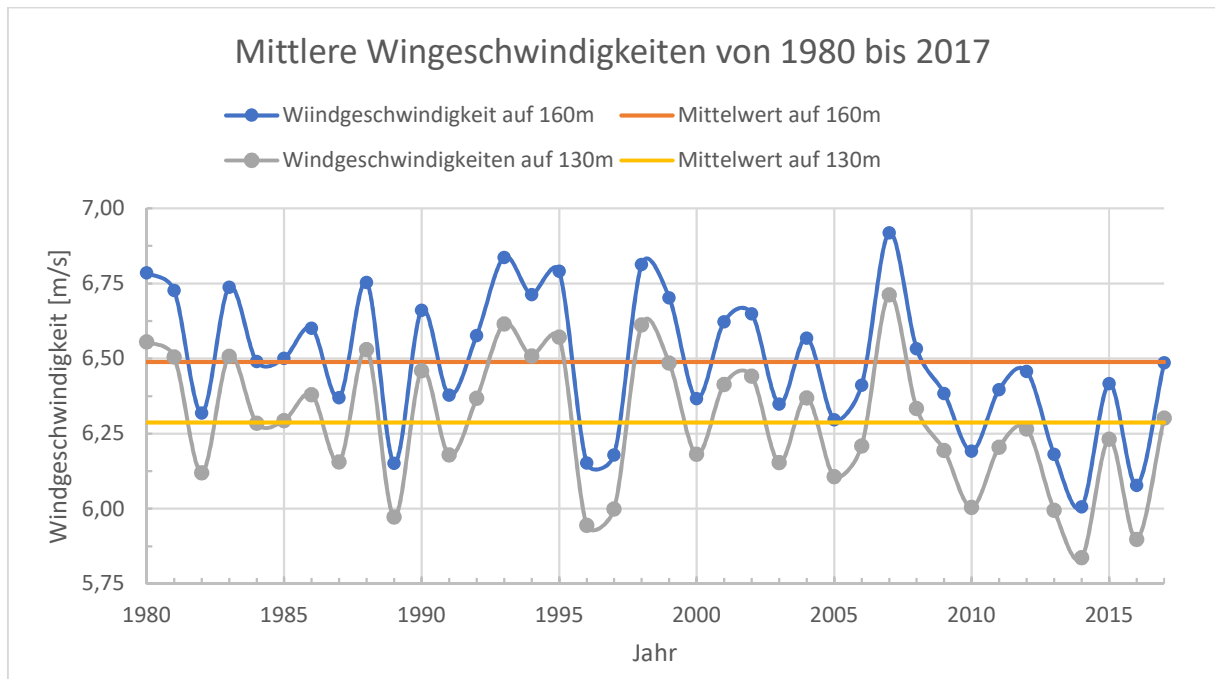


Abb. 15: Mittlere Windgeschwindigkeiten auf 130m und 160m von 1980 bis 2017

Tab. 5: Vergleich 130m & 160m Nabenhöhe

Höhe [m]	Anlage	2007		2014		2017	
		Energie [MWh]	Benutzungsgrad	Energie [MWh]	Benutzungsgrad	Energie [MWh]	Benutzungsgrad
130	Enercon E-115	9277,45	0,36	6938,06	0,27	8250,95	0,32
	Enercon E-141	13144,02	0,36	9936,39	0,27	11734,29	0,32
	Enercon E-138	11866,62	0,39	9087,95	0,30	10705,73	0,35
160	Enercon E-115	9986,567	0,38	7531,57	0,29	8937,00	0,34
	Enercon E-141	13944,41	0,38	10621,30	0,29	12505,20	0,34
	Enercon E-138	12548,68	0,41	9692,24	0,32	11384,79	0,37

Eine Änderung der Nabenhöhe auf 160m würde im Durchschnitt die jährlich abgegebene Energie um 7% und den Benutzungsgrad der Anlagen um 2% erhöhen. Dabei muss man aber Beachten, das ein höher Nabendurchmesser auch in höheren Bau- und Materialkosten resultiert.

5 Fazit

Die im Jahr 2014 eingeführte 10H-Regel macht es um einiges schwieriger geeignete Standorte für Windenergieanlagen zu finden. So wurden 2017 in Bayern nur vier Windkraftanlagen mit einer gemeinsamen Leistung von 13 350 Kilowatt beantragt. Im Vergleich dazu wurden im Rest von Deutschland 1.792 Anlagen mit einer Gesamtleistung von 5.333 Megawatt neu gebaut. (Süddeutsche Zeitung, 2018)

Eine Windkraftanlage des Typs Enercon E-138 erzeugt, bei einer Nabenhöhe von 130m, am ausgewählten Standort bei Bad Windsheim im Durchschnitt jährlich 10.706 MWh. Damit ist sie vergleichbar mit dem Windpark in Burgsalach, welcher laut seiner Ertragsprognose 12.400 MWh pro Jahr erzeugen soll (N-ERGIE, 2018). Dieser Windpark besteht aus zwei Windkraftanlagen des Typs Nordex N117 auf einer Nabenhöhe von 141m.

Wenn man eine Anlage an diesem Standort bauen will, sollte man allerdings noch einmal gezielte Messungen der Windgeschwindigkeiten vornehmen, da die Daten von MERRA 2 über ein sehr großes Gebiet gemittelt sind und deshalb von den realen Werten abweichen können. Dennoch kann man den Ausbau von Windkraftanlagen, welche für die energetische Zukunft der EMN wichtig sind durch den Einsatz von Reanalysedaten um einiges effizienter gestalten.

6 Literaturverzeichnis

Metropolregion Nürnberg, 2017 „Der neue Klimapakt der Metropolregion Nürnberg“
Abgerufen am 30.10.2018 von

<https://www.metropolregionnuernberg.de/nc/presse/pressemitteilungen/detail/article/der-neue-klimapakt-der-metropolregion-nuernberg.html>

Bundesregierung, 2018 „Bundesregierung beschließt Ausstieg aus der Kernkraft bis 2022“
Abgerufen am 30.10.2018 von

<https://www.bundesregierung.de/breg-de/suche/bundesregierung-beschliesst-ausstieg-aus-der-kernkraft-bis-2022-457246>

Heise, 2018 „Deutlich mehr Strom kam 2017 aus erneuerbaren Energien“
Abgerufen am 30.10.2018 von

<https://www.heise.de/newsticker/meldung/Deutlich-mehr-Strom-kam-2017-aus-erneuerbaren-Energien-3924755.html>

BMWi: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2018 „Erneuerbare Energien“
Abgerufen am 30.10.2018 von

<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/erneuerbare-energien.html>

Energieatlas Bayern, 2018 „Karten und Daten zur Energiewende“
Abgerufen am 12.08.2018 von

https://geoportal.bayern.de/energieatlas-karten/?wicket-crypt=Q9GjZ_6uVeI

Bayrische Staatsregierung, 2014 „Gesetz zur Änderung der Bayerischen Bauordnung und des Gesetzes über die behördliche Organisation des Bauwesens, des Wohnungswesens und der Wasserwirtschaft“

Abgerufen am 08.12.2018 von

<https://www.verkuendung-bayern.de/gvbl/jahrgang:2014/heftnummer:19/seite:478>

MERRA 2 Daten, 2018

Abgerufen am 20.11.2018 von

https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/MERRA-2/data_access/

Enercon E-115, 2018; „E-115 EP3“

Abgerufen am 28.11.2018 von

<https://www.enercon.de/produkte/ep-3/e-115-ep3/>

Enercon E-141, 2018; „E-141 EP4“

Abgerufen am 28.11.2018 von

<https://www.enercon.de/produkte/ep-4/e-141-ep4/>

Enercon E-138, 2018; „E-138 EP3“

Abgerufen am 28.11.2018 von

<https://www.enercon.de/produkte/ep-3/e-138-ep3/>

Popp, 2018: Excel Add-In zur Versorgungsanalyse

Dr. Matthias Popp: Email: matthias.popp@th-nuernberg.de

N-ERGIE, 2018 „Unsere Windkraftanlagen“

Abgerufen am 30.11.2018 von

<https://bit.ly/2z8EILO>

Süddeutsche Zeitung, 2018 „10H-Regel zeigt Wirkung: Kaum noch Anträge für Windräder“

Abgerufen am 08.12.2018 von

<https://www.sueddeutsche.de/news/wirtschaft/energie---muenchen-10h-regel-zeigt-wirkungkaum-noch-antraege-fuer-windraeder-dpa.urn-newsml-dpa-com-20090101-180226-99-240576>