Projektbericht

Flächeneignung für Windkraft im Untersuchungsgebiet Nordbayern

~ Eugenio Mincione ~

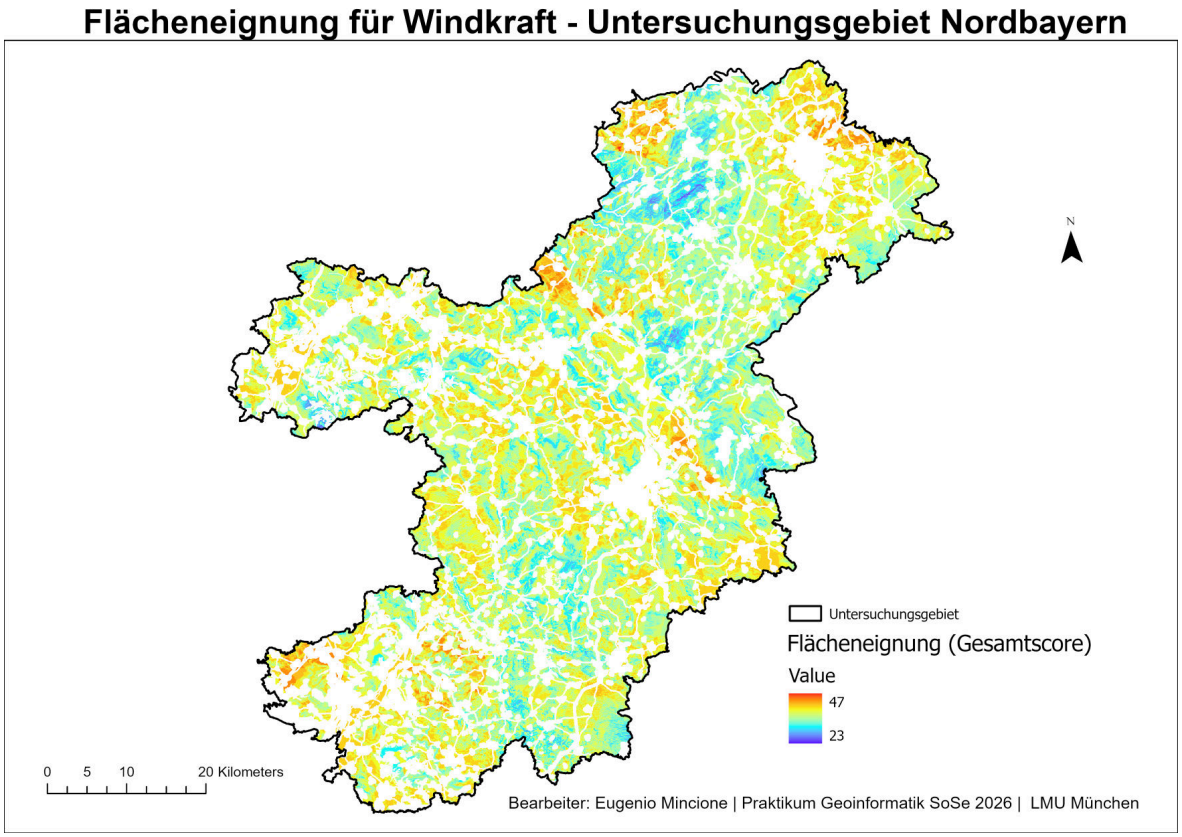


Abbildung 1: Berechnete Flächeneignung für Windkraft im Untersuchungsgebiet

Praktikum: Analyse räumlicher und zeitlicher Daten
Department für Geographie, LMU München – Sommersemester 2026
Vorgelegt von: Eugenio Mincione

1. Einleitung und Relevanz

Der Ausbau der Windenergie gilt als eine der zentralen Säulen der Energiewende, insbesondere um fossile Energieträger schrittweise zu ersetzen und die Versorgungssicherheit unabhängiger zu gestalten. Bevor neue Windkraftanlagen errichtet werden können, müssen jedoch zunächst geeignete Flächen systematisch identifiziert werden. Ziel dieses Projekts ist es, anhand eines konkreten Untersuchungsgebiets in Nordbayern – den Landkreisen Bayreuth, Kulmbach, Hof, Lichtenfels und Wunsiedel im Fichtelgebirge – eine multikriterielle Flächeneignungsanalyse für Windkraft durchzuführen. Berücksichtigt werden dabei sechs raumbezogene Faktoren: die mittlere Windgeschwindigkeit, die Geländeneigung, die Landnutzung, die Bevölkerungsdichte sowie die Distanz zu Hauptverkehrswegen und zu Hochspannungsleitungen.

2. Methodik und verwendete Daten

Das Projekt orientiert sich methodisch an der Studie von Miller und Li (2014), die eine vergleichbare Flächeneignungsanalyse für Windkraft in Nordost-Nebraska durchgeführt haben. Für jeden Faktor wurde ein eigener Datensatz ausgewählt, auf das Untersuchungsgebiet zugeschnitten und zu einem einheitlichen Rasterlayer mit 50 m Auflösung im Koordinatensystem WGS 1984 UTM Zone 32N (EPSG:32632) verarbeitet. Jeder Faktor wurde anschließend in fünf Suitability-Klassen (0 bis 4) eingeteilt, bevor die gewichtete Summe berechnet wurde.

Faktor	Datensatz	Quelle	Stand
Untersuchungsgebiet	Verwaltungsgebiete Bayern (LDBV)	Moodle	–
Hauptverkehrswege	DLM250 (BKG)	gdz.bkg.bund.de	2020
Hochspannungsleitungen	Leitungsdaten	Moodle	–
Bevölkerungsdichte	VG250-EW (BKG)	gdz.bkg.bund.de	2020
Landnutzung	CORINE Land Cover 5ha (BKG)	gdz.bkg.bund.de	2018
Geländeneigung	DGM5 (LDBV)	Moodle	2020
Windgeschwindigkeit	ERA5 Reanalyse (ECMWF)	syncandshare.lrz.de	1979–2019
Schutzgebiete (Ausschluss)	Natura 2000	EEA	2024

Tabelle 1: Übersicht der verwendeten Datensätze

3. Hauptverkehrswege & 4. Hochspannungsleitungen

Für den Transport und die Wartung von Windkraftanlagen ist die Nähe zu größeren Straßen von Bedeutung. Aus dem DLM250-Straßennetz wurden anhand der WDM-Klassifikation ausschließlich Bundesautobahnen, Bundes- und Landesstraßen (WDM 1301/1303/1305/1306) extrahiert. Da der erzeugte Strom zudem über das bestehende Stromnetz eingespeist werden muss, senkt eine größere Nähe zu Hochspannungsleitungen die Anschlusskosten neuer Anlagen; kurze Nebentrassen (<1000 m) wurden vorab herausgefiltert. Beide Faktoren wurden mittels Multiple-Ring-Buffer analog zu Miller und Li (2014) in Distanzklassen eingeteilt:

Score	Hauptverkehrswege
4	0 – 1.000 m
3	1.000 – 2.500 m
2	2.500 – 5.000 m
1	5.000 – 10.000 m
0	> 10.000 m

Score	Hochspannungsleitungen
4	0 – 5.000 m
3	5.000 – 10.000 m
2	10.000 – 15.000 m
1	15.000 – 20.000 m
0	> 20.000 m

5. Bevölkerungsdichte

Eine geringere Bevölkerungsdichte reduziert tendenziell das Konfliktpotenzial und den Widerstand gegen neue Anlagen. Die Bevölkerungsdichte wurde aus den VG250-EW-Daten auf Gemeindeebene als Quotient aus Einwohnerzahl und Gemeindefläche berechnet und nach Miller und Li (2014) klassifiziert:

Score	Bevölkerungsdichte
4	0 – 19 EW/km²
3	19 – 58 EW/km²
2	58 – 193 EW/km²
1	> 193 EW/km²

Da das Untersuchungsgebiet überwiegend dicht besiedelte Gemeinden umfasst, dominiert Score 1 flächenmäßig deutlich; nur einzelne, dünn besiedelte Gemeinden erreichen Score 4.

6. Landnutzung & 7. Geländeneigung

Die Landnutzung bestimmt, welche Flächen überhaupt als Bauland infrage kommen. Aus dem CORINE-Land-Cover-Datensatz (5 ha Auflösung) wurden die vorkommenden Klassen zu sechs Kategorien zusammengefasst und bewertet. Die Geländeneigung wurde aus einem digitalen Geländemodell (DGM5, 5 m Auflösung) mittels Slope-Werkzeug berechnet und auf das gemeinsame 50-m-Analyseraster resampled; je geringer die Neigung, desto günstiger für Bau und Betrieb einer Anlage:

Score	Landnutzung
4	Agriculture
3	Grassland
2	Shrubland
1	Forest/Woodland
0	Urban & Wetlands/Water

Score	Geländeneigung
4	0° – 7°
3	7° – 16°
2	16° – 30°
1	30° – 40°
0	> 40°

Der überwiegende Teil des Untersuchungsgebiets weist eine geringe bis moderate Hangneigung auf; stärkere Neigungen sind auf einzelne Kammlagen im Fichtelgebirge beschränkt.

8. Mittlere Windgeschwindigkeit

Der wichtigste Faktor für das Windkraftpotenzial ist die mittlere Windgeschwindigkeit. Als Datengrundlage dienten ERA5-Reanalyse-Daten des ECMWF (1979–2019) mit u- und v-Komponenten der Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe. Berechnet wurde das Winterhalbjahresmittel V10, das mittels logarithmischem Windprofil unter Berücksichtigung landnutzungsabhängiger Rauigkeitslängen auf 100 m Nabenhöhe extrapoliert wurde. Da Reanalyse-Daten die tatsächliche Windgeschwindigkeit systematisch unterschätzen, wurde nach Dörenkämper et al. (2020) eine multiplikative Bias-Korrektur mit dem Faktor 1,2 angewendet. Die bias-korrigierten Punktwerte wurden anschließend mittels Inverse-Distance-Weighting räumlich interpoliert, wobei bewusst auch ERA5-Gitterpunkte außerhalb des Untersuchungsgebiets einbezogen wurden, um Randeffekte an den Gebietsgrenzen zu vermeiden. Die resultierenden V100-Werte im Untersuchungsgebiet liegen zwischen 5,4 und 7,0 m/s und wurden wie folgt klassifiziert:

Score	V100 (m/s)
4	> 7,0
3	6,4 – 7,0
2	5,6 – 6,4

1	< 5,6

Score 5 (> 7,5 m/s) kommt im Untersuchungsgebiet nicht vor, was für eine Mittelgebirgsregion wie Nordbayern plausibel ist. Die höchsten Windgeschwindigkeiten treten in den höher gelegenen Randlagen des Fichtelgebirges im Nordosten auf.

9. Übersicht der Einzelfaktoren

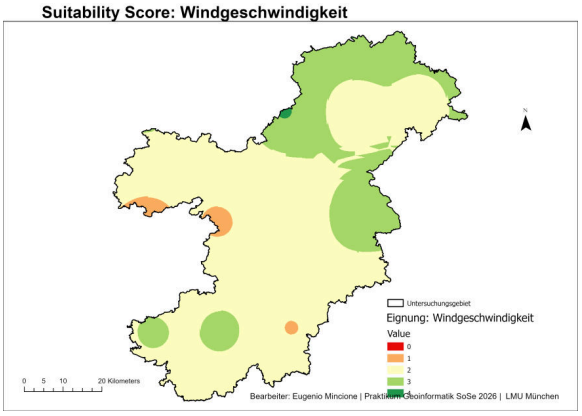


Abbildung 2: Score Windgeschwindigkeit

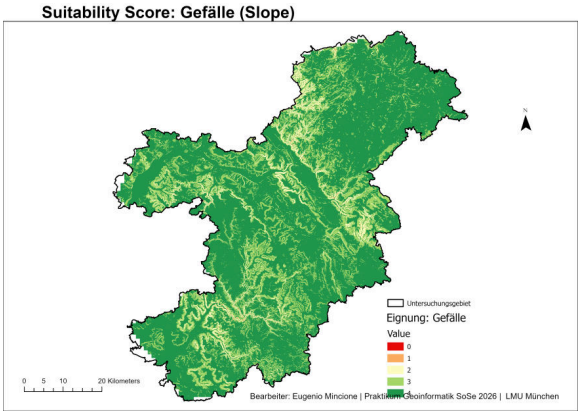


Abbildung 3: Score Geländeneigung

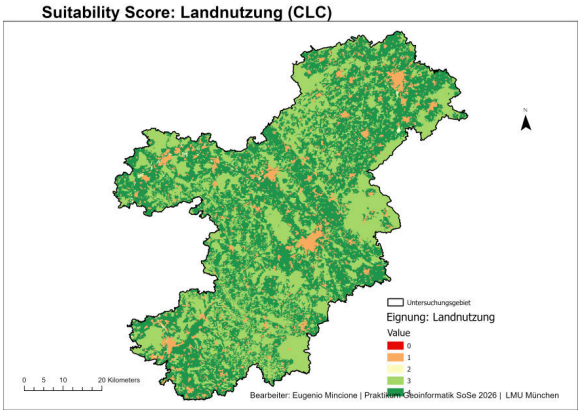


Abbildung 4: Score Landnutzung

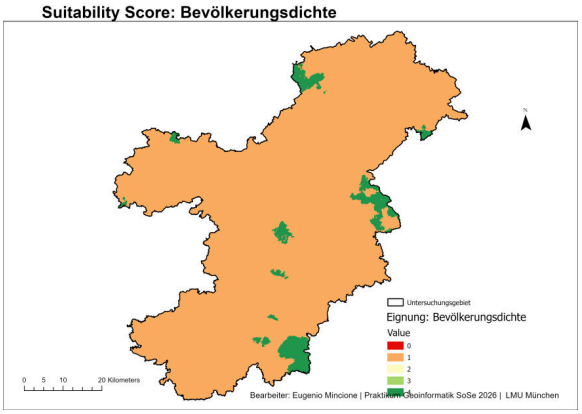


Abbildung 5: Score Bevölkerungsdichte

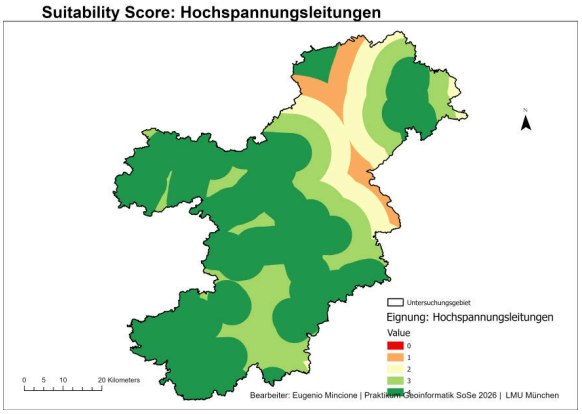


Abbildung 6: Score Hochspannungsleitungen

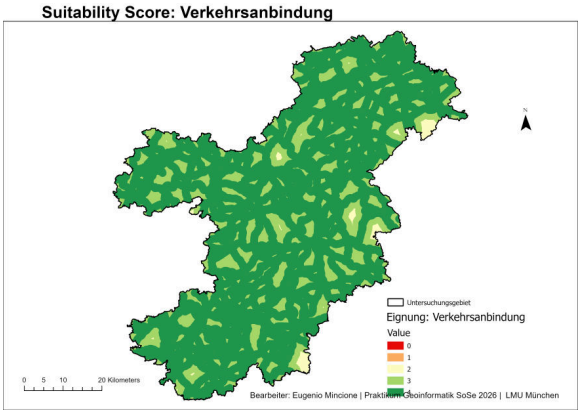


Abbildung 7: Score Verkehrsanbindung

10. Gesamtscore und Ausschlussflächen

Die sechs Einzelscores wurden gemäß Miller und Li (2014) gewichtet aufsummiert: Windgeschwindigkeit mit Faktor 3, Geländeneigung, Landnutzung, Hochspannung und Verkehrsanbindung jeweils mit Faktor 2 sowie Bevölkerungsdichte mit Faktor 1. Auch wenn eine Fläche rechnerisch hoch geeignet ist, kann sie dennoch faktisch für den Bau ungeeignet sein – etwa innerhalb von Siedlungen, Gewässern, entlang von Straßen oder in Naturschutzgebieten. Diese Flächen wurden daher zusätzlich als Ausschlussflächen maskiert: ein 200-m-Puffer um Siedlungs- und Gewässerflächen (CORINE-Klassen Urban und Wetlands/Water), ein 100-m-Puffer um Hauptverkehrswege sowie sämtliche Natura-2000-Gebiete ohne zusätzlichen Puffer. Die drei Ausschlusslayer wurden zusammengeführt, dissolved und als binäres Raster mit dem Gesamtscore verrechnet, sodass Ausschlussflächen als NoData maskiert wurden, während außerhalb dieser Flächen die ursprünglichen Suitability-Werte erhalten blieben.

11. Endergebnis

Das Endergebnis ist ein kontinuierliches Suitability-Raster mit Werten zwischen 23 und 47 nach Anwendung aller Ausschlussflächen (siehe Abbildung 1 auf dem Deckblatt). Von den ursprünglich rund 1,62 Mio. Rasterzellen des Untersuchungsgebiets verbleiben nach Maskierung etwa 1,01 Mio. Zellen (entsprechend ca. 252 km²) als grundsätzlich nutzbare Fläche. Eine Klassifikation nach dem Natural-Breaks-Verfahren in vier Eignungsklassen zeigt, dass rund 39 % dieser verbleibenden Fläche der höchsten Eignungsklasse (Score 38–47) zuzuordnen ist, während nur etwa 7 % als gering geeignet einzustufen sind (Score 23–31). Die höchsten Eignungswerte konzentrieren sich in den windexponierten, siedlungsärmeren Randlagen des Fichtelgebirges im Nordosten des Untersuchungsgebiets.

12. Diskussion

Die Gewichtungsfaktoren der sechs Einzelkriterien wurden aus Miller und Li (2014) übernommen und spiegeln keine lokal validierte Priorisierung wider; eine Sensitivitätsanalyse alternativer Gewichtungen wurde nicht durchgeführt. Die Windinterpolation basiert auf ERA5-Daten mit einer vergleichsweise groben räumlichen Auflösung sowie einer vereinfachten Höhenextrapolation, was gegenüber realen Windmessungen oder mesoskaligen Windmodellen eine Vereinfachung darstellt. Das verwendete Geländemodell mit 5 m Auflösung musste für die gemeinsame Rasterverarbeitung auf 50 m resampled werden, wodurch keine neue Information gewonnen, sondern lediglich eine Anpassung an das gemeinsame Analyseraster vorgenommen wurde. Die verwendeten Pufferdistanzen für Siedlungs-, Gewässer- und Verkehrsflächen orientieren sich an in der Literatur gebräuchlichen Werten; tatsächliche Abstandsregelungen variieren jedoch je nach Bundesland und Anlagentyp und wurden hier nicht im Detail rechtlich geprüft. Als naturschutzfachliche Ausschlusskategorie wurden ausschließlich Natura-2000-Gebiete berücksichtigt; weitere Restriktionen wie Landschaftsschutzgebiete oder Flugsicherheitszonen blieben unberücksichtigt.

13. Fazit

Die durchgeführte Analyse liefert eine flächendeckende, methodisch nachvollziehbare Einschätzung des Windkraftpotenzials im Untersuchungsgebiet. Insbesondere die höher gelegenen, windexponierten und siedlungsärmeren Bereiche im Nordosten des Fichtelgebirges weisen eine hohe Eignung auf. Für eine belastbare Standortplanung sollten die identifizierten Flächen jedoch durch feinskaligere Windmessungen, eine vollständige naturschutzfachliche Prüfung sowie eine Sensitivitätsanalyse der verwendeten Gewichtungsfaktoren ergänzt werden.

Quellenverzeichnis

Miller, A., Li, R. (2014): A Geospatial Approach for Prioritizing Wind Farm Development in Northeast Nebraska, USA. In: ISPRS International Journal of Geo-Information, 3, 968–979.

Dörenkämper, M. et al. (2020): The Making of the New European Wind Atlas – Part 2: Production and Evaluation. In: Geoscientific Model Development, 13, 5079–5102.

Ramon, J., Lledó, L., Torralba, V., Soret, A., Doblas-Reyes, F.J. (2019): What global reanalysis best represents near-surface winds? In: Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 145, 3236–3251.

European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF): ERA5 Reanalysis, 1979–2019. URL: https://syncandshare.lrz.de (bereitgestellt über Moodle).

Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG): Digitales Landschaftsmodell DLM250. URL: https://gdz.bkg.bund.de.

Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG): Verwaltungsgebiete 1:250.000 mit Einwohnerzahlen (VG250-EW). URL: https://gdz.bkg.bund.de.

Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG): CORINE Land Cover 5ha (CLC5-2018). URL: https://gdz.bkg.bund.de.

Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung (BiB) (2020): Bevölkerungsdichte in Deutschland (Kreisebene). URL: https://www.bib.bund.de.

Bayerisches Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung (LDBV): Digitales Geländemodell DGM5. Bereitgestellt über Moodle.

European Environment Agency (EEA) (2024): Natura 2000 spatial data. URL: https://www.eea.europa.eu.