

Aus der Professur für Geodäsie und Geoinformatik  
der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät

Zusammenfassung der Dissertation

## **Räumliche Analysen und Optimierungen zur effizienten Gestaltung eines nachhaltigen Windenergieausbaus**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät  
der Universität Rostock

vorgelegt von M. Eng. David Hennecke  
aus Rostock

Verteidigung am 12. Juli 2024

Die Windenergie ist eine Schlüsseltechnologie der Energiewende und ist somit Teil der Strategie gegen den Klimawandel. Daher wird der Ausbau der Windenergieerzeugung immer weiter vorangetrieben, um die herkömmlichen CO<sub>2</sub>-emittierenden Energiequellen wie Braunkohle und Erdgas schrittweise einzudämmen. Ziel ist es, bis zum Jahr 2030 80 % der Bruttostromnutzung aus Erneuerbaren Energien (EE) zu beziehen. Jedoch ist hierzu ein effizienterer und stärkerer Ausbau der EE notwendig, was im Erneuerbare-Energien-Gesetz 2023 (EEG 2023) verankert wurde.

Insbesondere bei der in dieser Dissertation thematisierten Windenergie bestehen neben den fördernden Kräften auch hemmende Kräfte (z.B. Effizienz der Prozesse und Akzeptanz der Betroffenen), die Auswirkungen auf den Windenergieausbau haben. Dazu werden drei Analysen bzw. Algorithmen in unterschiedlichen Betrachtungsebenen (Makro- (landesweit), Meso- (regional) und Mikroebene (lokal)) vorgestellt, um eine ganzheitliche Perspektive über die Herausforderungen des Windenergieausbaus zu bekommen.

Begonnen wird mit einer räumlich-wirtschaftlichen Potentialanalyse auf der Makroebene. Sie befasst sich mit dem durch das EEG 2017 eingeführten Korrekturfaktor und seinen wirtschaftlichen Auswirkungen. Aufbauend auf dieser Grundlage soll im Gegensatz zu den herkömmlichen Potentialanalysen eine wirtschaftlich geprägte Analyse auf die gesamte Fläche Deutschlands angewendet werden. Dabei wird die Vorgehensweise detailliert dokumentiert und eine Optimierung der wirtschaftlichen Analyseprozesse vorgeschlagen.

Der zweite Ansatz ist der Mesoebene zugeordnet und zeigt eine regionale Analyse hinsichtlich der Umzingelung von Gemeinden durch Windkraftanlagen (WKA). Anstoß hierfür ist das EEG 2023, welches einen ansteigenden Ausbau der Windenergie anstrebt, wodurch die Umzingelung von Gemeinden durch WKA immer wahrscheinlicher wird. Dieses Thema ist somit der Akzeptanz zuzuordnen und soll mittels eines selbst entwickelten Algorithmus technisch behandelt werden. Das Ergebnis bilden potentielle Bauflächen, eingeschränkt bebaubare Flächen und Verbotflächen für WKA.

Geschlossen wird mit einer Zusammenführung beider vorangegangenen Ansätze zur Prozessoptimierung und Akzeptanz in einen Optimierungsalgorithmus zur innerparklichen Layout-Optimierung. Die hier durchgeführte Analyse wird somit lokal, also in der Mikroebene auf die Potentialflächen der räumlich-wirtschaftlichen Potentialanalyse, unter Berücksichtigung der Umzingelung von Gemeinden angewandt.

Diese Arbeit schlägt somit einen nachhaltigen und rücksichtsvollen Energieausbau vor, der mittels räumlicher Analysen, der Optimierung von Planungsprozessen und der Berücksichtigung von Akzeptanzaspekten angetrieben werden kann.

Wind energy is a key technology in the energy transition and is therefore part of the strategy against climate change. The expansion of wind power is therefore being driven forward in order to gradually phase out conventional CO<sub>2</sub> emitting energy sources such as lignite and natural gas. The aim is to achieve 80 % of gross electricity consumption from renewable energies (RE) by 2030. However, this requires a more efficient and stronger expansion of RE, which has been implemented and initiated in the German Renewable Energy Sources Act 2023 (EEG 2023).

In the case of wind energy in particular, which is subject of this dissertation, there are not only promoting forces but also inhibiting forces that have an impact on the further expansion of wind energy. Two of these inhibiting aspects are more specifically examined below: the efficiency of the processes and the acceptance of the expansion by the affected parties. To this end, three analyses and algorithms are presented as examples at different levels of consideration (macro (nationwide), meso (regional) and micro level (local)) to provide a more holistic perspective of the challenges associated with the expansion of wind energy.

It begins with a spatial and economic potential analysis at the macro level. This analysis delves into the correction factor implemented as part of the EEG 2017 and its economic impacts. Building upon this foundation, in contrast to conventional potential analyses, an economic analysis is to be carried out for the entire area of Germany. The procedure is documented in detail and an optimization of the economic analysis processes is proposed.

The second approach is assigned to the meso level and shows a regional analysis of the encirclement of municipalities by wind turbines. The impetus for this analysis is the EEG 2023, which aims to increase the expansion of wind energy, making the encirclement of communities by wind turbines increasingly likely. This topic addresses the issue of acceptance and is to be dealt with technically using an algorithm developed in-house. The results are potential construction areas, areas with restricted building rights and prohibited areas.

Finally, the two previous approaches to process optimization and acceptance are combined in an optimization algorithm for inner-park layout optimization. The analysis carried out here is thus applied at the local scale, i.e. at the micro level, to the potential areas of the spatial-economic potential analysis, considering the encirclement of municipalities.

This dissertation therefore proposes a considerate energy expansion that can be driven by optimizing planning processes and taking acceptance aspects into account.