



Projektpartner



Gefördert durch:



Flächensuche mit Weitblick

WindGISKI-Handreichung zur KI-gestützten Windenergieplanung

1) Einleitung/Projektbeschreibung/ Hintergrund der Handreichung

Das Forschungsprojekt WindGISKI hat das Ziel, die Identifikation geeigneter Flächen für Windenergieanlagen (WEA) durch den Einsatz eines KI-basierten Geoinformationssystems (GIS) zu beschleunigen und zu standardisieren. In Anbetracht des dringenden Ausbaus der erneuerbaren Energien in Deutschland und der damit verbundenen Herausforderungen, steht die effiziente Nutzung verfügbarer Flächen im Vordergrund. WindGISKI adressiert diese Problematik, indem es mittels künstlicher Intelligenz und geographischer Informationssysteme automatisiert und datenbasiert Flächen hoher Güte, bzw. hohen Potenzials für die Windenergienutzung vorschlägt. Hierbei werden sowohl Restriktionskriterien wie Naturschutzauflagen als auch Gunstkriterien wie Windpotenzial in die Flächensuche integriert.

Grundlage dieser Herangehensweise ist die Annahme, dass eine Optimierung der Flächensuche unter Berücksichtigung relevanter Kriterien potenzielle Konflikte in den Planungs- und Umsetzungsphasen von Windenergieprojekten mindern kann. Durch die frühzeitige Identifikation von Flächen mit geringem Konfliktpotenzial sollen Genehmigungsverfahren beschleunigt und die Zahl von Rechtsstreitigkeiten reduziert werden. In der Praxis zeigt sich jedoch, dass selbst gut geeignete Flächen kein Garant für einen konfliktfreien Projektverlauf sind. Unterschiedliche lokale Gegebenheiten und Interessen können den Ausbau der Windenergie verzögern oder behindern.

Aus diesem Grund hat WindGISKI Handlungsempfehlungen erarbeitet, die über die rein technische Optimierung der Flächensuche hinausgehen. Diese Empfehlungen basieren auf den Erfahrungen und Erkenntnissen aus dem Projektverlauf und adressieren Faktoren, die im KI-Modell nicht vollständig berücksichtigt werden konnten. Insbesondere wird auf soziale, politische und rechtliche Dynamiken eingegangen, die in der Praxis von großer Bedeutung sind.

Der Projektbeirat, bestehend aus Vertreterinnen und Vertretern unterschiedlicher Stakeholder-Perspektiven der Windenergieplanung, hat das Vorhaben intensiv begleitet und beraten. Durch den Austausch mit Akteuren aus Planung, Politik, Naturschutz und der Zivilgesellschaft konnten wertvolle Einblicke gewonnen werden, die in diese Handreichung eingeflossen sind.

Die vorliegende Handreichung soll daher das KI-Tool von WindGISKI sinnvoll ergänzen. Sie greift zentrale Projektergebnisse auf, die nicht direkt in das KI-Modell eingeflossen sind, und bietet praxisnahe Empfehlungen für eine erfolgreiche und konfliktarme Umsetzung von Windenergieprojekten.

Zu Beginn der Handreichung wird die entwickelte KI-Technologie näher eingeordnet, um die Nutzer an das System heranzuführen. Dabei werden sowohl die Chancen des KI-basierten GIS zur Flächensuche hervorgehoben als auch die Grenzen der Technologie aufgezeigt. Dies ermöglicht es den Nutzer*innen, die Möglichkeiten und Limitationen des Tools besser zu verstehen. Im Anschluss werden allgemeine

Handlungsempfehlungen vorgestellt, die aus den Ergebnissen des Projekts abgeleitet wurden.

2) Einordnung der KI

Die im Rahmen von WindGISKI entwickelte KI basiert auf einem umfassenden Datenmodell, das ganz Deutschland in quadratische Kacheln von 50 x 50 Metern unterteilt. Jede dieser Kacheln wird anhand verschiedener Merkmale bewertet, um deren Eignung für die Windenergie zu ermitteln. Das dem KI - Modell zugrunde liegende Datenpaket besteht aus einer Vielzahl historischer Daten. Berücksichtigt werden dabei Bestandwindparks /-anlagen, die nach dem 1. Januar 2010 in Betrieb genommen wurden und mindestens eine Gesamthöhe von 150 Meter aufweisen, sowie spezifische umwelt- / naturschutzfachliche und infrastrukturelle Faktoren. Um die bestehenden Windparks zu identifizieren und zusammenzufassen, wurde ein Algorithmus entwickelt, der geografisch benachbarte Kacheln als zusammengehörige Windparks gruppiert. Das KI - Modell wurde daraufhin so trainiert, dass es jeder Kachel eine Güte zwischen 0 (schlecht) und 1 (gut) zuweist. Dieser Gütewert gibt die Eignung einer der Kachel zugrundeliegenden Fläche für den Bau von Windenergieanlagen an.

Um ein KI - Modell zu trainieren, sind positive Beispiele (Güte = 1) und negative Beispiele (Güte = 0) nötig. Als positive Beispiele wurden, wie bereits oben beschrieben, bestehende Windparks genutzt worden. Um negative Beispiele zu identifizieren, wurde mit Hilfe einer Expertenumfrage ein grobes Scoring - Modell erstellt. Anhand dieses Scoring Modells wurden die Kacheln identifiziert, die wahrscheinlich am schlechtesten geeignet für WEAs sind. Aus diesen Kacheln wurde anschließend eine zufällige Teilmenge ausgewählt, um dem KI - Modell eine möglichst große Variation an negativen Beispielen präsentieren zu können.

Verwendete Daten

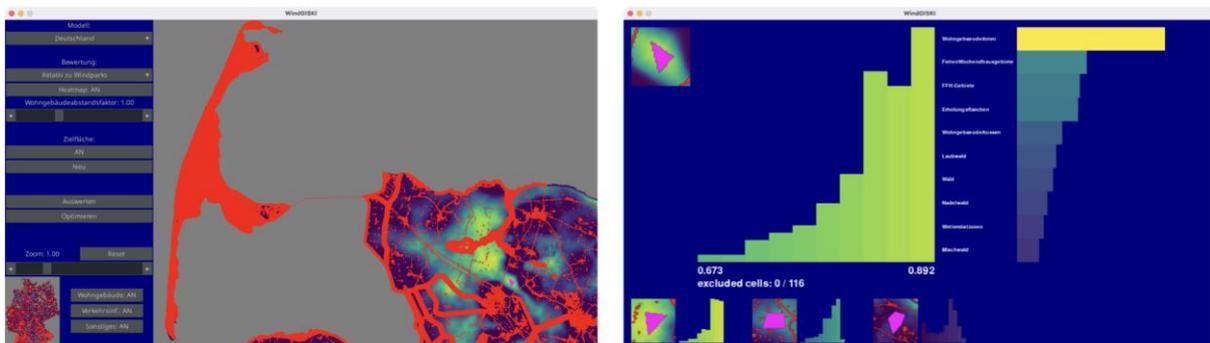
Grundlage für das Training der KI bildet eine Vielzahl an Geodatenätzen. Diese umfassen neben der Siedlungsstruktur (bspw. Wohnbauflächen im Innen- und Außenbereich, Kur- und Klinikgebiete, Sport-, Freizeit- und Erholungsflächen, etc.), naturschutzrechtlichen Belangen (bspw. Naturschutzgebiete, FFH-Gebiete, Naturparke, etc.), Wasserschutz (bspw. Heilquellenschutzgebiete, Trinkwasserschutzgebiete, Überschwemmungsgebiete, etc.), Infrastruktur (Straßen und Schienenwege, Hoch- und Höchstspannungsleitungen, Wetterradare, etc.), Artenschutz (Brut- und Nahrungshabitate windenergiesensibler Vogelarten) auch Belange der zivilen und militärischen Luftfahrt (Bauhöhenbeschränkungen aus MVA-Gebieten, militärische Nachttieffluggebiete, Radarprüfbereiche, etc.). So vielfältig die Geodatenätze sind, so zahlreich sind auch deren jeweilige Quellen. So wurde für WindGISKI eine Geodatenbasis aufgebaut, die eine Mischung aus frei zugänglichen, gekauften und selbsterzeugten Daten darstellt. Geodaten, die die Siedlungsstruktur betreffen, entstammen bspw. aus nachträglich aufbereiteten Alkis-Daten, Daten zur Strominfrastruktur entstammen aus

Open-Source-Daten, während die gesetzlich geschützten Biotope bei den unteren Naturschutzbehörden angefragt wurden.

Teilweise wurden Geodatenätze manuell veredelt oder erst im Rahmen des Projektes erzeugt. So wurde der verwendete Windenergieanlagenbestand zunächst anhand der Angaben des Marktstammdatenregisters generiert. Aufgrund häufig auftretender fehlerhafter Angaben der Standortkoordinaten wurden die ca. 30.000 Windenergieanlagen nachträglich per Abgleich mit Satellitenbildern an ihrem exakten Standort platziert. Informationen zu Bauhöhenbeschränkungen aufgrund von Mindestadarführungshöhen finden sich ausschließlich in Luftfahrthandbüchern der Deutschen Flugsicherung und der Bundeswehr. Die Bauhöhen wurden durch Überführung der darin enthaltenen Informationen in Geodaten, nachträglicher Verschneidung mit einem Geländemodell und weiterer Umrechnung generiert. Die Geodaten bezüglich Vorkommen von windenergiesensiblen Vogelarten wurden dem Projekt in Form von gerasterten Flächen, deren Rastergröße von Bundesland zu Bundesland zwischen 1x1 km und 10x10 km variierte, zur Verfügung gestellt. Damit diese Daten von der KI verwendet werden konnten, wurden für jede Vogelart die innerhalb der Raster liegenden Brut- und Nahrungshabitate identifiziert und zur Verfügung gestellt.

Funktionen der Demo-App

Die wichtigste Demonstration der KI erfolgt durch die zugehörige Demo-App, die es ermöglicht, potenzielle Flächen zu evaluieren und optimale Standorte für Windenergieanlagen zu ermitteln. Nutzer*innen können hier eine Fläche auswählen und erhalten eine Bewertung der Güte sowie eine Analyse der Gewichtung der zugrunde liegenden Merkmale. Außerdem kann die App für von Nutzer*innen ausgewählte Regionen, Vorschläge für die besten verfügbaren Flächen basierend auf dem KI-Scoring machen. Diese App zeigt, wie die KI in ein Geoinformationssystem (GIS) integriert werden kann, um die Flächenauswahl zu unterstützen. Auch wenn die App nur als Demonstrator dient, bietet sie einen wertvollen Einblick in das Potenzial der KI-unterstützten Planung.



Grenzen der KI

Trotz der Leistungsfähigkeit des KI-basierten Systems gibt es auch einige Limitationen, die bei der Nutzung berücksichtigt werden müssen. Da das Modell auf historischen Daten basiert, spiegelt es nicht immer die aktuellen rechtlichen Rahmenbedingungen

wider. Bestimmte relevante Daten, wie Schall- und Schattenimmissionen, fehlen in der aktuellen Demo-Version des Modells, was zu einer eingeschränkten Bewertung in diesen Bereichen führen kann.¹ Zudem besteht die Möglichkeit, dass die KI andere Prioritäten setzt als menschliche Expert*innen, die aufgrund ihrer Erfahrung möglicherweise auf andere Details achten würden. Daher ist die KI als Assistenzsystem zu verstehen, das keine automatisierten Entscheidungen trifft, sondern Planer*innen bei der Flächenauswahl unterstützt. Wie ein begleitendes Rechtsgutachten zeigt, sind KI-gestützte Empfehlungen rechtlich nicht bindend und erfordern weiterhin eine individuelle menschliche Bewertung und Abwägung.

Wichtig ist auch zu verstehen, dass die KI sich auf die Ausweisung „geeigneter“ Flächen konzentriert. Diese Eignung beeinflusst zwar maßgeblich die Konfliktpotenziale und die Genehmigungsfähigkeit von Windenergieprojekten, doch im Verlauf eines Projekts können viele weitere Faktoren und dynamische Entwicklungen eine Rolle spielen, die situativ berücksichtigt werden müssen. Selbst wenn die KI die optimalen Flächen für einen Windpark identifiziert, ist dies lediglich ein solider Ausgangspunkt. Für den Projekterfolg bedarf es weiterhin einer genauen Planung und Konfliktbewältigung im weiteren Verlauf.

Erklärbarkeit der KI

Grundvoraussetzung für die erfolgreiche Anwendung des KI gestützten Tools ist, dass die Anwender*innen nachvollziehen können, wie und auf welcher Grundlage die KI bestimmte Ergebnisse ‚berechnet‘ und ausgibt. Um die Kachelbewertungen durch die KI nachvollziehbarer zu machen, wurde für jede Kachel bestimmt, welche Merkmale besonders stark in die Bewertung der jeweiligen Kachel einfließen. Dies geschieht über einen Vergleich zu einer Referenzkachel, welche in allen Merkmalen den deutschlandweiten Durchschnitt als Ausprägung hat. Anschließend wird das Ausmaß des Einflusses jedes Merkmals auf den Unterschied in der Bewertung zwischen jeder Kachel und der Referenzkachel berechnet. Somit lässt sich zwar bestimmen, wie wichtig jedes einzelne Merkmal für eine Kachel ist, jedoch nicht, ob der Einfluss positiv (steigert die Bewertung) oder negativ (senkt die Bewertung) ist.

Einsatzspielraum des KI-Modells

Das begleitende Rechtsgutachten hebt hervor, dass die KI als Assistenzsystem von öffentlichen Planer*innen rechtssicher eingesetzt werden kann, sofern bestimmte Rahmenbedingungen beachtet werden. Obwohl die KI datenbasierte Empfehlungen liefert, behalten die Planenden die Kontrolle über den Prozess. Durch die Überprüfung und gegebenenfalls Anpassung der Ergebnisse können die rechtlichen Anforderungen problemlos erfüllt werden. Entscheidend ist eine nachvollziehbare Dokumentation der Methodik und der Ergebnisse, um den rechtlichen Anforderungen standzuhalten und die Planung effizient zu unterstützen.

¹ Die Überführung entsprechender Modelle in das GIS ist für die nächste Phase des Forschungsprojekts geplant.



https://www.lee-nds-hb.de/wp-content/uploads/2024/10/WindGISKI_Rechtsgutachten.pdf

3) Handlungsempfehlungen für die Legitimierung von Windenergieprojekten

Windenergieprojekte werden häufig durch Konflikte vor Ort begleitet. Die Akzeptanz bei Gemeinden, bzw. betroffenen Anwohnenden spielt dabei eine herausragende Rolle. Diese kann durch ein bestimmtes Projektdesign gewonnen/erhöht werden. Entsprechend wird in unterschiedlichen (wissenschaftlichen) Arbeiten versucht, Faktoren zu identifizieren, die die Akzeptanz beeinflussen. Hieraus werden Handlungsempfehlungen wie die Vorliegende abgeleitet. Der Akzeptanz-Ansatz zur Analyse des Verhältnisses zwischen Mensch und Technik (Windenergieanlage) ist in der wissenschaftlichen Debatte jedoch umstritten, da er einerseits ein passives Bild des Verhältnisses zwischen Mensch und Technik vermittelt und andererseits die komplexe Rolle der Energiewende im Zusammenhang mit Windenergieprojekten nicht ausreichend berücksichtigt. Aus diesem Grund und da es bereits eine Vielzahl an Handlungsempfehlungen bzgl. „Akzeptanz“ gibt, wurde in den Fallstudien von WindGISKI, auf die die folgenden Handlungsempfehlungen aufbauen, ein anderer Ansatz gewählt: Es wurden Legitimierungsprozesse und -dynamiken in Windenergieprojekten analysiert.

Was bedeutet Legitimität?

Legitimität kann definiert werden als eine generalisierte Wahrnehmung oder Annahme, dass etwas als angemessen oder wünschenswert gilt, was wiederum auf geteilte Werte, Normen, Erwartungen und Gesetze zurückgeführt wird. Legitimität ist damit etwas, was Menschen erlernen, wenn sie in einer Gesellschaft sozialisiert werden. In den Sozialwissenschaften ist Legitimität somit ein zentrales Konzept, wenn die Angemessenheit von etwas analysiert wird. Das „etwas“ ist in diesem Fall das Windenergieprojekt.

Legitimität von Windenergieprojekten

Wenn es um die Legitimität von Windenergieprojekten geht, geht es um mehr als die bloße Technik einer Windenergieanlage. Es geht um das Zusammenspiel von der Technik, den Menschen, die diese umsetzen und damit leben werden und den Werten, Normen, Erwartungen und Gesetzen, die die Rahmenbedingungen hierfür schaffen. Es geht somit darum, wie gut diese vielen Komponenten zusammenpassen und

ineinandergreifen. Das Besondere hierbei ist, dass durch die Energiewende und andere exogene Entwicklungen (wie der russische Angriffskrieg auf die Ukraine) viele der relevanten Komponenten in einem stetigen Wandel sind: Gesetze werden erneuert, Wertvorstellungen wandeln sich und technologische Entwicklungen machen viele der „alten Probleme“ mit Windenergie irrelevant. Dieser stetige Wandel führt dazu, dass die Legitimität von Windenergieprojekten oftmals uneindeutig ist. Das resultiert darin, dass darüber diskutiert werden muss, unter welchen Bedingungen es legitim ist, einen Windpark zu bauen und unter welchen nicht. Diese Diskussion findet auf multiplen gesellschaftlichen Ebenen gleichzeitig statt – z.B. auf EU-Ebene, in der Bundes- und Landespolitik, in Behörden und in Gemeinden, beziehungsweise in konkreten Projekten sowie auf dem Dorfplatz und am Abendbrottisch. Zusätzlich beeinflussen sich die Ebenen dabei auch gegenseitig. Wenn bspw. eine Diskussion auf Bundesebene dazu führt, dass bestimmte Gesetze verändert werden, hat dies einen Einfluss auf einzelne Projekte.

Das bedeutet, dass Windenergieprojekte nicht nur mit den lokalen Gegebenheiten vor Ort konfrontiert sind, sondern mit vielschichtigen Kontextfaktoren, die sich zusätzlich in einem stetigen Wandel befinden. Diese Kontextfaktoren lesen zu lernen und darauf eingehen zu können, ist daher zentral für die Legitimität eines Windenergieprojekts. Um sich dem annähern zu können, werden im Folgenden potenziell relevante Kontextfaktoren in unterschiedlichen Projektbereichen vorgestellt, die aus den Fallstudien im Projekt WindGISKI abgeleitet wurden.

Handlungsempfehlungen zur Legitimierung von Windenergieprojekten

Windenergieprojekte lassen sich in unterschiedliche Phasen oder Funktionsbereiche unterteilen.² Im Folgenden werden sechs Funktionsbereiche unterschieden und diese jeweils mit Blick auf die zugrunde liegenden Kontextfaktoren mit Handlungsempfehlungen unterstützt. Flächenausweisung durch zuständige Planungsträger (1), Standortsuche und -sicherung (2), Parkplanung und Netzanbindung (3), Genehmigung (4), Bau (5), Inbetriebnahme/Betrieb (6).

Flächenausweisung durch zuständige Planungsträger

Mögliche Kontextfaktoren

Flächenausweisungen werden je nach Bundesland von unterschiedlichen Verwaltungsebenen durchgeführt, welche jeweils unterschiedliche Anforderungen und Kriterien, bezüglich harter, bzw. weicher Tabuzonen zugrunde legen. Diese sind überwiegend durch sozial-, gesellschafts-, und wirtschaftspolitische Ziele und Interessen geprägt. Grundvoraussetzung ist jedoch die Zielerreichung der Bundesvorgaben, 2 % der Fläche der Bundesrepublik als Windenergiegebiete auszuweisen.

² Der Begriff „Funktionsbereiche“ wird hier gewählt, da die Bereiche empirisch oft ineinander übergehen und nicht in abgeschlossenen Phasen vorherrschen.

Ziele

Die Flächenausweisung durch die zuständigen Planungsträger wird als fortlaufender und dynamischer Prozess verstanden, der auf Dialog, Kooperation und Flexibilität beruht. Ziel und gleichzeitig Herausforderung dabei ist es, eine nachhaltige Entwicklung des Raumes zu gewährleisten, welche sowohl den aktuellen Bedürfnissen der Region gerecht wird als auch die Interessen und Bedarfe zukünftiger Generationen berücksichtigt.

Handlungsempfehlungen
<i>Adressat: Planungsträger</i>
Die Auswahl der Potenzialflächen sollte anhand klarer und möglichst wissenschaftlich fundierter Kriterien und Methoden stattfinden
Die Beteiligung von Stakeholdern und der Öffentlichkeit sowie deren interdisziplinäre Zusammenarbeit sind hilfreich für eine konfliktarme Flächenausweisung und sollte daher frühzeitig in Betracht gezogen werden.
Erarbeitung von Planungskonzepten (Entwicklungsalternativen durch Szenarien abschätzen, Umweltverträglichkeitsprüfung, Abstimmung mit übergeordneten Landes- oder Bundesplanungen und benachbarter Regionen).
Ein Monitoringprozess sollte die Evaluation und eventuelle Anpassungen ermöglichen.
Kommunikation und Transparenz sind elementar. Daher sollte die Öffentlichkeit umfangreich informiert werden und Möglichkeiten für Feedback und Rückmeldungen eingerichtet werden.
Wenn Flächen aus der (kommunalen) Bauleitplanung in eine Regionalplanung aufgenommen werden sollen, sollten diese auf die Aktualität der Planungsgrundlagen geprüft werden.
Auch bei Verwendung des Tools muss bei der Auswahl der Flächen bzw. der Pufferflächen auf die Maße der Referenzwindenergieanlage geachtet werden.
Der KI wurden keine festen Abstände vorgeschlagen, sondern sie "lernt" diese von Bestandswindparks. Daher müssen bei der Ausweisung der Flächen ggf. selbst Pufferflächen abgezogen werden.
Bei der Nutzung des Tools und der Anrechenbarkeit der Flächen müssen die Regelungen bzgl. Rotor-In/Rotor-Out - Planungen berücksichtigt werden, da die KI dies nicht beachtet.
Revision gegen Rechtsurteile zu kommunalen wie regionalen Flächenplanungen sollte nur bei einer realistischen Erfolgsaussicht eingelegt werden, da es sonst die Flächenausweisung nur verzögert.
Die Ergebnisse der KI - Anwendung, die vorgeschlagenen Potenzialflächen, sollten in einem weiteren Schritt insbesondere bezüglich der militärischen Belange und allgemeinen Höhenbeschränkungen durch militärische, wie zivile Luftfahrt nochmals überprüft werden.
Militärische Belange müssen bei der Flächenausweisung gründlich geprüft werden, sodass sich im nachgelagerten Genehmigungsverfahren keine Hindernisse ergeben und die Flächen wirklich wirtschaftlich bebaubar sind.

Die neue Rechtslage bezüglich der zusätzlichen Ausweisung von Windenergiegebieten eröffnet weitere Möglichkeiten über sogenannte Zielabweichungsverfahren und der Gemeindeöffnungsklausel. Diese Instrumente sollten proaktiv von Vorhabenträgern sowie den Planungsträgern genutzt werden und frühzeitig entsprechende Gespräche geführt werden.

Hinsichtlich der sich vielseitig ändernden Gesetzgebung ist es von zentraler Bedeutung, die neue Rechtsprechung zu analysieren, um frühzeitig Klagegründe, sowie mögliche Vermeidungsoptionen von Klagen herauszufinden, um diese langwierigen Klageprozesse zu vermeiden.

Das Tool darf nicht als weiteres Argument gegen den Ausbau der Windenergie genutzt werden. Falls historische Daten nicht differenziert eingepflegt werden, kann die Auswertung der KI zu einer fehlerhaften Darstellung der Flächenkulisse/ Flächengüte führen.

Sofern die KI eine Fläche negativ bewertet, bedeutet das nicht zwangsläufig, dass dies ein Ausschlussgrund darstellt. Die Fläche kann trotzdem für die Windenergie geeignet sein. Eine Einzelfallprüfung der KI-Ergebnisse ist daher wichtig.

Der Nahbereich um einen Horst sollte in die Planung einbezogen werden, ohne dieses als Ausschlussfläche zu werten. Vorhaben im Nahbereich sind im Rahmen der artenschutzrechtlichen Ausnahme möglich.

Durch die nationale Umsetzung der RED III erfährt die Berücksichtigung des Artenschutzes eine überwiegende Verlagerung von der Genehmigungsplanung auf Ebene der Regionalplanung. Um den Artenschutz adäquat berücksichtigen zu können sind umfassende Informationen zum Vorkommen windenergiesensibler Arten notwendig. Da größtenteils kein gesetzlicher Auftrag an behördliche Institutionen zur Erfassung besteht, sind die Datengrundlagen jedoch oft veraltet und lückenhaft. Auf dieser Grundlage ist auch der Informationsgewinn für die KI beschränkt, daher sollten zusätzlich weitere Daten berücksichtigt werden:

- Daten Dritter³ (z. B. Onlineplattformen)
- Modellierungen zur Habitateignung oder Vorkommenswahrscheinlichkeit der Zielarten
- Informationen zu Schwerpunkträumen

Adressat: Projektierer

Da insgesamt viele Projektierer von Windenergieanlagen auf den Flächen Projekte vorantreiben, spielen auch verschiedene Interessen eine Rolle. Diese Interessen sollten und werden im Zuge der offiziellen Beteiligungsmöglichkeiten im Rahmen der Planungsprozesse eingebracht und kommuniziert.

³ Die Daten müssen für die Behörde frei verfügbar sein; die Qualität der Daten muss mit behördlichen Daten vergleichbar sein

Standortsuche und -sicherung

Mögliche Kontextfaktoren

Die Vorgehensweise bei der Standortsuche und -sicherung durch die Projektierer beeinflusst maßgeblich, wie frühzeitig und transparent mögliche Konflikte identifiziert und adressiert werden. Die spezifischen Eigenschaften des ausgewählten Standorts, wie etwa Umweltschutzauflagen, Denkmalschutz oder landschaftsbildprägende Merkmale, können potenzielle Konflikte mit verschiedenen Interessen hervorrufen. Eine faire und transparente Einbeziehung der Eigentümer der betreffenden Flächen, sowie der örtlichen Gemeinschaften, ist entscheidend, um Akzeptanz zu fördern und potenzielle Gerechtigkeitskonflikte zu vermeiden. Ein transparenter Umgang mit Entscheidungsprozessen, Kriterien und Auswirkungen der Standortwahl ist zentral, um Vertrauen zu schaffen.

Ziele

Das übergeordnete Ziel besteht darin, durch eine sorgfältige Auswahl des Standorts und transparente Prozesse eine stabile Grundlage zu schaffen, die mögliche Konflikte reduziert und den Projektverlauf reibungsloser gestaltet.

Handlungsempfehlungen
<i>Adressat: Projektierer</i>
Die Standortanalyse und Vorauswahl sollte inkl. Berücksichtigung von Umwelt- und Naturschutzaspekten entsprechend rechtlichen Rahmenbedingungen erfolgen.
Gemeindeflächen sollten ggf. bevorzugt werden. Dies vermeidet sozialer Ungleichheit. Zudem sollte darauf geachtet werden, dass bestimmte soziale Gruppen nicht unverhältnismäßig stark belastet werden und dass die Vorteile des Projekts möglichst breit verteilt werden.
Die lokale Bevölkerung und Stakeholder sollte durch frühzeitige Kommunikation und öffentliche Beteiligung einbezogen werden, um Feedback zu sammeln und Bedenken frühzeitig adressieren zu können.
Bereits bei der Standortsuche und -sicherung sollte mit lokalen Behörden kooperiert werden.
Ästhetische Veränderungen durch Windenergieanlagen lassen sich nicht vollständig ausschließen. Daher sollten Eingriffe in das Landschaftsbild und den Denkmalschutz mit Bedacht abgewogen werden.

Parkplanung und Netzanbindung

Mögliche Kontextfaktoren

Bei der Realisierung eines Projekts spielen die rechtlichen Rahmenbedingungen, insbesondere die Genehmigungsfähigkeit die zentrale Rolle. Es gilt zu prüfen, inwiefern das Vorhaben mit geltenden Gesetzen und Verordnungen vereinbar ist. Dabei können potenzielle Konflikte mit Umwelt- sowie sozialen Interessen entstehen, die sorgfältig abgewogen werden müssen. Darüber hinaus sind die Erwartungen der zuständigen Behörden zu beachten, die sich sowohl auf rechtliche Aspekte als auch auf den zwischenmenschlichen Umgang beziehen. Auch die Erwartungen der Lokalpolitik und der Öffentlichkeit sollten berücksichtigt werden, da deren Unterstützung oder Widerstand entscheidend für den Projekterfolg sein kann. Als Projektierer ist es unerlässlich, ein vertrauensvolles Auftreten an den Tag zu legen, um Akzeptanz und Glaubwürdigkeit bei allen Beteiligten zu schaffen. Ebenso sind kulturelle und ästhetische Aspekte des Projekts zu bedenken, da diese einen erheblichen Einfluss auf die öffentliche Wahrnehmung haben können.

Ziele

In erster Linie ist es das Interesse der Vorhabenträger eine genehmigungsfähige Planung des Windparks zu erzielen. Ziel und Herausforderung dabei ist es, die Planung partizipativ zu gestalten, sodass die lokale Bevölkerung (finanziell) eingebunden ist und Gerechtigkeitsaspekte berücksichtigt werden.

Handlungsempfehlungen
<i>Adressat: Projektierer</i>
Eine kontinuierliche Kommunikation und Informationsvermittlung gegenüber betroffenen und beteiligten Personen sollte aufrecht erhalten werden.
Detaillierte Abstimmungen mit relevanten Behörden ist notwendig.
Verschiedene Interessen und Perspektiven, auch um bspw. Ausgleichsmaßnahmen zu erarbeiten, sollten kontinuierlich einbezogen werden.
Regelmäßige Abstimmungstreffen mit den zuständigen Genehmigungsbehörden sind empfehlenswert.
Die interdisziplinäre Zusammenarbeit mit anderen relevanten Behörden und Institutionen, z.B. im Bereich Naturschutz, Denkmalschutz oder kommunale Planung ist hilfreich und sollte gepflegt werden.
Eine frühzeitige und transparente Kommunikation über die Ziele, den Ablauf und die potenziellen Auswirkungen des Projekts ist förderlich
Eine möglichst partizipative Gestaltung des Planungsprozesses ist empfehlenswert. Dies beinhaltet den kontinuierlichen Einbezug der Anwohnenden und anderer lokaler Interessensgruppen durch Informationsveranstaltungen, Workshops und öffentliche Anhörungen.

Es sollte frühzeitig und proaktiv auf Einwände der Öffentlichkeit frühzeitig eingegangen werden, um Konflikte zu minimieren
Konfliktlösung sollten durch Mediation und Kompromissfindung angestrebt werden. Im Zweifel bedeutet das eine Anpassung des Projektdesigns
Alle Rückmeldungen und die darauffolgenden Maßnahmen sollten dokumentiert und den Behörden sowie der Öffentlichkeit transparent gemacht werden
Das Angebot von Bürgerbeteiligungsmodellen (z.B. durch Bürgerwindparks oder Genossenschaften) kann eine lokale Verankerung und Identität mit dem Projekt erhöhen und fördert die Akzeptanz.
In der Projektplanung sollten die kulturellen und historischen Werte der Region berücksichtigt werden.

Genehmigung

Mögliche Kontextfaktoren

Die Genehmigungsphase ist der zentrale Punkt eines Windenergieprojekts, da hier die Weichen für die rechtliche Umsetzung gestellt werden. In dieser Phase wird das Projekt anhand geltender Gesetze auf seine Rechtmäßigkeit geprüft, wobei sowohl Umwelt- als auch Denkmalschutz sowie technische und baurechtliche Vorgaben berücksichtigt werden müssen. Ein wesentliches Merkmal der Genehmigungsphase ist, dass das öffentliche Interesse an der Förderung erneuerbarer Energien und dem Ausbau von Windenergieprojekten regelmäßig von der Rechtsprechung betont wird. Windenergieanlagen werden als kritische Infrastruktur angesehen, was den Projektierern eine besondere rechtliche Stellung und Unterstützung in Genehmigungsverfahren verleiht. Dennoch können Einsprüche oder Klagen auftreten, insbesondere wenn das Projekt als illegitim wahrgenommen wird. Diese Wahrnehmung muss nicht immer auf rechtlichen Grundlagen beruhen, sondern kann auch durch unzureichende Kommunikation oder mangelnde Transparenz beeinflusst werden.

Ziele

In der Genehmigungsphase ist es entscheidend, dass das Verfahren sorgfältig, strukturiert und gut koordiniert abläuft. Dies stellt sicher, dass alle rechtlichen und ökologischen Anforderungen erfüllt werden und keine unnötigen Verzögerungen durch formale Fehler oder Missverständnisse entstehen. Eine enge Zusammenarbeit mit den zuständigen Behörden ist unerlässlich, um eine reibungslose Abstimmung zu gewährleisten. Zudem ist es von großer Bedeutung, die Öffentlichkeit transparent und frühzeitig über den Verlauf des Verfahrens zu informieren, um eventuellen Widerständen oder Einsprüchen vorzubeugen.

Handlungsempfehlungen
<i>Adressat: Projektierer und Genehmigungsbehörde</i>
Es sollte eine enge Abstimmung zwischen Projektierer und Genehmigungsbehörde stattfinden, um sicherzustellen, dass die Antragsunterlagen vollständig sind und die Erwartungen der Behörden erfüllen.
Es sollte sichergestellt werden, dass die Genehmigung möglichst rechtlich belastbar und gegen mögliche Klagen oder Einsprüche abgesichert ist.
Es sollte frühzeitig eine Strategie zum Umgang mit möglichen Einsprüchen oder Klagen gegen die Genehmigung entwickelt werden (z.B. durch rechtliche Beratung und vorbereitende Maßnahmen).
Eine sorgfältige und wissenschaftlich fundierte Prüfung von Umwelt- und Artenschutzbelangen ist unerlässlich. Dies beinhaltet unter anderem spezifische Schutzmaßnahmen für gefährdete Arten und die Berücksichtigung von Tötungsverboten. Abschaltauflagen zum Schutz von Fledermäusen und anderen Arten sollten präzise definiert und umgesetzt werden.
In ausgewiesenen Windenergiegebieten führen artenschutzrechtliche Belange zukünftig nicht mehr zu einer Ablehnung eines geplanten Windparks, stattdessen sind auf der Zulassungsebene lediglich Minderungsmaßnahmen auf Grundlage vorhandener Daten vorzusehen. Liegen keine entsprechenden Daten vor, hat der Betreiber Zahlungen zu leisten. In diesen Fällen kann es sich vielfach lohnen, zusätzlich eigene Kartierungen durchzuführen. Durch gesicherte Nachweise von „Nicht-Vorkommen“ windenergiesensibler Arten, können umfangreiche Zahlungen vermieden werden. Alternativ sind an die tatsächlichen Vorkommen angepasste Minderungsmaßnahmen häufig ebenfalls günstiger und vermeiden unnötige Produktionseinbußen.
Frühzeitige Identifizierung potenzieller Auswirkungen auf regionale Gewässer und deren Ökosysteme durch hydro(geo-)logische Analysen und enge Zusammenarbeit mit den lokalen Wasserbehörden, um sich bei der Einrichtung von eventuellen Schutzvorrichtungen unterstützen zu lassen und Wassermanagementpläne zu erstellen.

Bau

Mögliche Kontextfaktoren

Beim Bau eines Windenergieprojektes spielen Transparenz, Vertrauen, die Integration in die Gemeinde sowie die Beteiligung der Bürger eine entscheidende Rolle. Eine offene und transparente Kommunikation über die geplanten Maßnahmen, den Baufortschritt und mögliche Auswirkungen auf die Umgebung ist unerlässlich, um von Anfang an Vertrauen bei allen Beteiligten zu schaffen. Nur wenn die betroffenen Bürger und die lokale Politik frühzeitig und umfassend informiert werden, können Missverständnisse und Vorbehalte ausgeräumt werden. Darüber hinaus ist die Integration des Projektes in die Gemeinde von großer Bedeutung. Das Windenergieprojekt sollte nicht als isoliertes Vorhaben wahrgenommen werden, sondern als Teil der örtlichen Infrastruktur, das einen Mehrwert für die Region bietet. Dies gelingt vor allem durch die aktive Einbindung der Anwohner und Interessengruppen. Eine frühzeitige und transparente Beteiligung

der Gemeinde, beispielsweise durch Informationsveranstaltungen oder die Möglichkeit zur Mitsprache, fördert das Vertrauen in das Projekt und stärkt die Akzeptanz in der Bevölkerung.

Ziele

Nach Erteilung der erforderlichen Genehmigungen und dem Zuschlag für das Windprojekt erfolgt die Errichtung der Anlagen zügig und effizient. Dabei wird besonders darauf geachtet, eine konfliktfreie Baustelle zu gewährleisten und alle rechtlichen Vorgaben einzuhalten. Dies schließt den Schutz der Umwelt sowie die Vermeidung von Störungen und der Tötung geschützter Tierarten mit ein.

Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der zügigen Organisation und Durchführung des Transports der erforderlichen Anlagenkomponenten, um Verzögerungen zu vermeiden und den Baufortschritt zu beschleunigen. Gleichzeitig wird die lokale Bevölkerung aktiv in den Bauprozess eingebunden, um Transparenz zu schaffen und Akzeptanz für das Projekt zu fördern.

Handlungsempfehlungen
<i>Adressat: Projektierer und Bauleitung</i>
Idealerweise werden lokale Unternehmen für den Bau, die Wartung und den Betrieb der Windenergieanlagen beschäftigt, um die finanzielle Wertschöpfung und die Beschäftigung in der Region zu stärken.
Genehmigungs- und umweltrechtliche Auflagen während der Bau- und Betriebsphase sollten konsequent eingehalten und überwacht werden.
Fortlaufende Information der Öffentlichkeit über den Fortschritt der Bauarbeiten sollte gewährleistet werden. Hierfür ergibt es Sinn, eine klare Anlaufstelle für Fragen und Beschwerden der Anwohner einzurichten (z.B. eine Kontaktperson ernennen, die als Vermittler fungiert)
Eingriffe in den Wald können minimiert werden, indem z.B. vorhandene Wege maximal ausgenutzt werden und die Errichtung auf Schadflächen erfolgt.

Inbetriebnahme/Betrieb

Mögliche Kontextfaktoren

In der Betriebsphase von Windenergieanlagen spielen verschiedene gesetzliche Vorgaben eine zentrale Rolle, um sicherzustellen, dass der Betrieb im Einklang mit Umwelt- und Anwohnerinteressen steht. Zu den relevanten Bestimmungen gehören unter anderem das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) und die Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm), die zulässige Schallpegel festlegen. Schallimmissionsprognosen werden durchgeführt, um sicherzustellen, dass diese Richtwerte eingehalten werden und keine übermäßige Lärmbelastung für Anwohner entsteht. Zusätzlich regeln die LAI-Richtlinien von 2002 die maximal zulässige Beschattungsdauer durch den Schattenwurf der Rotoren, die pro Tag 30 Minuten und

pro Jahr 30 Stunden nicht überschreiten darf. In der Praxis wird oft angestrebt, die tatsächliche Beschattungsdauer auf maximal 8 Stunden im Jahr zu begrenzen.

Ziele

Das Hauptziel in der Betriebsphase besteht darin, die Windenergieanlagen so zu betreiben, dass eine effiziente Nutzung des Windenergiepotenzials gewährleistet ist und zugleich Mensch und Umwelt geschont werden. Der Betrieb muss im Einklang mit den gesetzlichen Vorgaben und den Umweltauforderungen stehen, um Konflikte mit Anwohnern, etwa durch Lärm oder Schattenwurf, zu vermeiden. Eine kontinuierliche Überwachung und Anpassung des Betriebs ist notwendig, um sowohl die Energieerzeugung zu maximieren als auch die Auswirkungen auf die Umgebung so gering wie möglich zu halten.

Handlungsempfehlungen³
<i>Adressat: Projektierer/Betreiber</i>
Es ist empfehlenswert, ein abschließendes Umweltmonitorings durchzuführen, um sicherzustellen, dass alle Umweltschutzmaßnahmen eingehalten wurden und keine langfristigen Schäden entstanden sind.
In einer Informationsveranstaltung sollte die lokale Bevölkerung und andere Interessengruppen über den erfolgreichen Abschluss der Inbetriebnahme informiert und das Projekt offiziell vorgestellt werden.
Informationen über die Leistung der Windenergieanlage und ihre Auswirkungen auf die Umwelt sollten auch nach Inbetriebnahme bereitgestellt werden.
Während des Betriebes ist es empfehlenswert Bildungs- und Sensibilisierungsmaßnahme durchzuführen oder zu unterstützen. Zum Beispiel Bildungskampagnen und Informationsmaterialien über die Vorteile erneuerbarer Energien und speziell der Windenergie, Förderung von Bildungsprojekten, Unterstützung von lokalen Schulen und Bildungseinrichtungen durch die Bereitstellung von Informationsmaterial oder die Organisation von Besichtigungen der Windenergieanlagen.
Kontinuierliches Monitoring der sozialen Auswirkungen und regelmäßige Feedback-Schleifen mit der lokalen Bevölkerung können dabei helfen, frühzeitig auf mögliche Probleme zu reagieren. Zudem kann das Feedback von Beteiligten dabei helfen, Verbesserungspotenziale zu identifizieren.
Mechanischer Geräusche können in vielen Fällen durch schalldämmende Materialien und elastische Getriebelager reduziert werden.
Aerodynamische Geräusche sind meist die Hauptschallquelle. Technologien wie Serrations, Winglets oder Vortex-Generatoren verringern diese Geräusche. Diese Standardtechnologien sollten bei neuen Anlagen zum Einsatz kommen, Die Nachrüstung älterer Anlagen ist nur bedingt sinnvoll.
Um Anwohnern entgegenzukommen können die Anlagen insbesondere in Siedlungsnähe zu bestimmten Zeiten in geräuschreduzierten Modi gefahren werden. Allerdings muss dies mit der Ertragseinbuße abgewogen werden.

³ Aufgrund der Auswirkungen der Schallthematik auf den Betrieb der Anlage, finden sich hier die Handlungsempfehlungen dazu. Diese werden aber teilweise bereits während der Genehmigung abgehandelt.

4) Ausblick

Pflege der Daten

Eine künstliche Intelligenz kann nur verlässliche Ergebnisse liefern, wenn die eingegebenen Daten eine möglichst hohe Vollständigkeit und Aktualität aufweisen. Die serienmäßige Anwendung des Tools für die Flächenidentifikation und -ausweisung ist darauf angewiesen, dass die Daten regelmäßig überprüft, aktualisiert und an sich ändernde Rahmenbedingungen angepasst werden.

Gute Flächen sind nur ein erster Schritt

Wie im Laufe des Projektes sichtbar wurde und auch Erfahrungen aus der Projektpraxis deutlich machen, sind gute Flächen für die Windenergienutzung nur ein erster Schritt zu einem erfolgreichen Projekt. Unsere Projektanalysen (Interviews mit Projektbeteiligten) sowie die Klageauswertungen (quantitativ wie qualitativ) im Rahmen des Forschungsprojektes haben einige Herausforderungen herausgearbeitet. Nicht zuletzt darauf reagieren die vorliegenden Handlungsempfehlungen.

Weiterentwicklung des Tools

Bei der vorliegenden Version des Tools und den entsprechenden Ergebnissen handelt es sich bisher lediglich um eine Demoversion. Sofern das Tool flächendeckende Anwendung finden soll, ist eine Weiterentwicklung bis hin zur Marktreife notwendig. Dies liegt jedoch außerhalb der Verantwortung des Forschungsprojektes und müsste separat weitergeführt werden.

Bedarfsanalyse

Bundesweit laufen derzeit die Prozesse zur Flächenidentifikation und -ausweisung, da die Zeithorizonte aufgrund der Bundesgesetzgebung festgesetzt sind. Ob die Anwendung des Tools dabei schon eine Relevanz entfalten kann und ob der Bedarf auch danach noch bestünde, müsste mithilfe einer Marktanalyse festgestellt werden. Das Tool wird auch dazu dienen können, zusätzliche Flächen, die über die gesetzlich festgelegten Flächenziele hinausgehen, ausfindig zu machen. Die rechtssichere Anwendung ist unter Berücksichtigung bestimmter Aspekte (siehe Rechtsgutachten) gewährleistet.

Ansprechpartner:

<p><u>Institut für Statik und Dynamik (ISD)</u> Appelstr. 9A 30167 Hannover Prof. Dr.-Ing. habil. Raimund Rolfes Tel.: +49 511 762 2992 r.rolfes@isd.uni-hannover.de</p>	<p><u>Nefino GmbH (Nefino)</u> Andreaestraße 2a 30159 Hannover Dr. André Koukal Tel.: +49 511 515437 51 andre.koukal@nefino.de</p>
<p><u>Institut für Informationsverarbeitung (TNT)</u> Appelstraße 9A 30167 Hannover Prof. Dr.-Ing. Jörn Ostermann Tel.: +49 511 762 5316 ostermann@tnt.uni-hannover.de</p>	<p><u>Carl von Ossietzky Universität Oldenburg</u> <u>Institut für Sozialwissenschaften (UOL)</u> Ammerländer Heerstraße 114-118 26129 Oldenburg Prof. Dr. Jannika Mattes jannika.mattes@uol.de Tel.: +49 441 798 4552</p>
<p><u>Institut für Integrierte Produktion</u> <u>Hannover gGmbH (IPH)</u> <u>Institut der Leibniz Universität Hannover</u> Hollerithallee 6 30419 Hannover Dr.-Ing. Malte Stonis Tel.: +49 511 27976 119 stonis@iph-hannover.de</p>	<p><u>Hochschule Bremerhaven</u> <u>Institut für Windenergie (fk-wind)</u> An der Karlstadt 8 27568 Bremerhaven Prof. Dr. – Ing. Carsten Fichter carsten.fichter@hs-bremerhaven.de Tel.: +49 471 4823 546</p>
<p><u>Arbeitsgruppe für regionale Struktur- und</u> <u>Umweltforschung GmbH (ARSU)</u> Escherweg 1 26121 Oldenburg Dr. Marc Reichenbach reichenbach@arsu.de Tel.: +49 441 97174 93</p>	<p><u>Landesverband Erneuerbare Energien</u> <u>Niedersachsen/Bremen e.V.</u> Herrenstraße 6 30159 Hannover Tomke Menger, LEE-Referentin für Windenergie und Kommunen t.menger@lee-nds-hb.de Tel.: +49 511 123247 - 23 Carlos Kuhlmann, LEE-Referentin für Windenergie c.kuhlmann@lee-nds-hb.de Tel.: +49 511 123247 - 24</p>