

Die Kommunen und Landkreise in dem bisher untersuchten Gebiet zeigten bislang eine überwiegend positive Resonanz gegenüber der Potentialstudie. Die erste Potentialstudie diente vielen Kommunen als Grundlage für die Regionale Raumordnung und Bauleitplanung.

2. Zielsetzung und Übersicht

Das Ziel dieser Studie war die Ermittlung von Flächen, die für die Nutzung der Windenergie mit Windparks prinzipiell zur Verfügung stehen sowie eine Qualifizierung dieser Flächen hinsichtlich ihrer Güte für die Nutzung der Windenergie. Die Qualifizierung erfolgte anhand der Angabe der mittleren Windgeschwindigkeit, der Anzahl der installierbaren Windenergieanlagen (WEA) und des erzielbaren Energieertrags auf diesen Flächen.

Die Auswahl der Flächen erfolgte anhand von Abstandskriterien, die in Abstimmung mit dem niedersächsischen Umweltministerium bereits im ersten Teil der Studie erarbeitet wurden.

Die Ermittlung der Windgeschwindigkeiten erfolgte für eine Höhe von 30m über den ausgewählten Flächen. Die zu erzielenden Energieerträge und die zugehörigen Windgeschwindigkeiten wurden für die Nabenhöhen der verwendeten Windenergieanlagen (40 und 60 m Höhe) berechnet. Windgeschwindigkeiten und -statistiken sowie Jahresenergieerträge wurden nach der dänischen Windatlas-Methode ermittelt. Die Energieerträge wurden für Windparks mit zukünftig dem Stand der Technik entsprechenden Windenergieanlagen überschlägig bestimmt, d.h. für Windenergieanlagen mit 500 kW und 1 MW installierter Leistung.

Das Ergebnis der Studie, Flächenpläne mit dem errechneten Windpotential, soll den beteiligten Landkreisen die Planung der Windenergienutzung auf ihrem Gebiet erleichtern bzw. als Grundlage dienen. Die Mindestgröße der erfaßten Flächen betrug 10 ha. Die Untersuchung der Standorte von Einzelanlagen oder kleiner Anlagengruppen ist somit nicht Bestandteil dieser Studie.

Im Falle der Realisierung von Windparkprojekten auf Gebieten, die in dieser Studie erfaßt wurden, sind die vorgenommenen Potentialabschätzungen kein Ersatz für konkrete Planungsmaßnahmen. Eine detaillierte Planung der Anlagenaufstellung bezüglich Energieertrag, Schallimmission und Anlagenbelastung ist unumgänglich.

3. Erfassung der Potentialflächen

Die Ermittlung der Flächenpotentiale erfolgte auf Basis einer Definition derjenigen Gebiete, die im Rahmen dieser Studie von der Windenergienutzung durch Windparks auszuschließen sind sowie einer Abstandsregelung, die den zu diesen Gebieten einzuhaltenden Schutzabstand vorgibt. Desweiteren wurden Sondergebiete definiert, die einer speziellen Betrachtung unterzogen wurden. In den Potentialflächenkarten sind diese Sondergebiete einzeln dargestellt.

Die Definition der Flächen und einzuhaltenden Abstände erfolgte bereits im ersten Teil der Potentialstudie in Abstimmung mit dem Niedersächsischen Umweltministerium. Die Definitionskriterien basieren im wesentlichen auf dem Runderlaß "Empfehlungen zur Standortsicherung und raumordnerischen Beurteilung von Windenergieanlagen" des Niedersächsischen Innenministeriums.

Die folgenden Gebiete wurden im Rahmen der Studie als Potentialflächen für die Nutzung der Windenergie ausgeschlossen, die aufgeführten Entfernungen wurden als Mindestabstand zu diesen Gebieten vorgegeben:

Siedlungsraum:

Siedlungsgebiet	500 m
Einzelhäuser und Weiler	300 m

besondere Bereiche:

militärische Anlagen	äußere Schutzzone
Naturschutzrechtliche Schutzgebiete	200 m
Waldgebiete	100 m

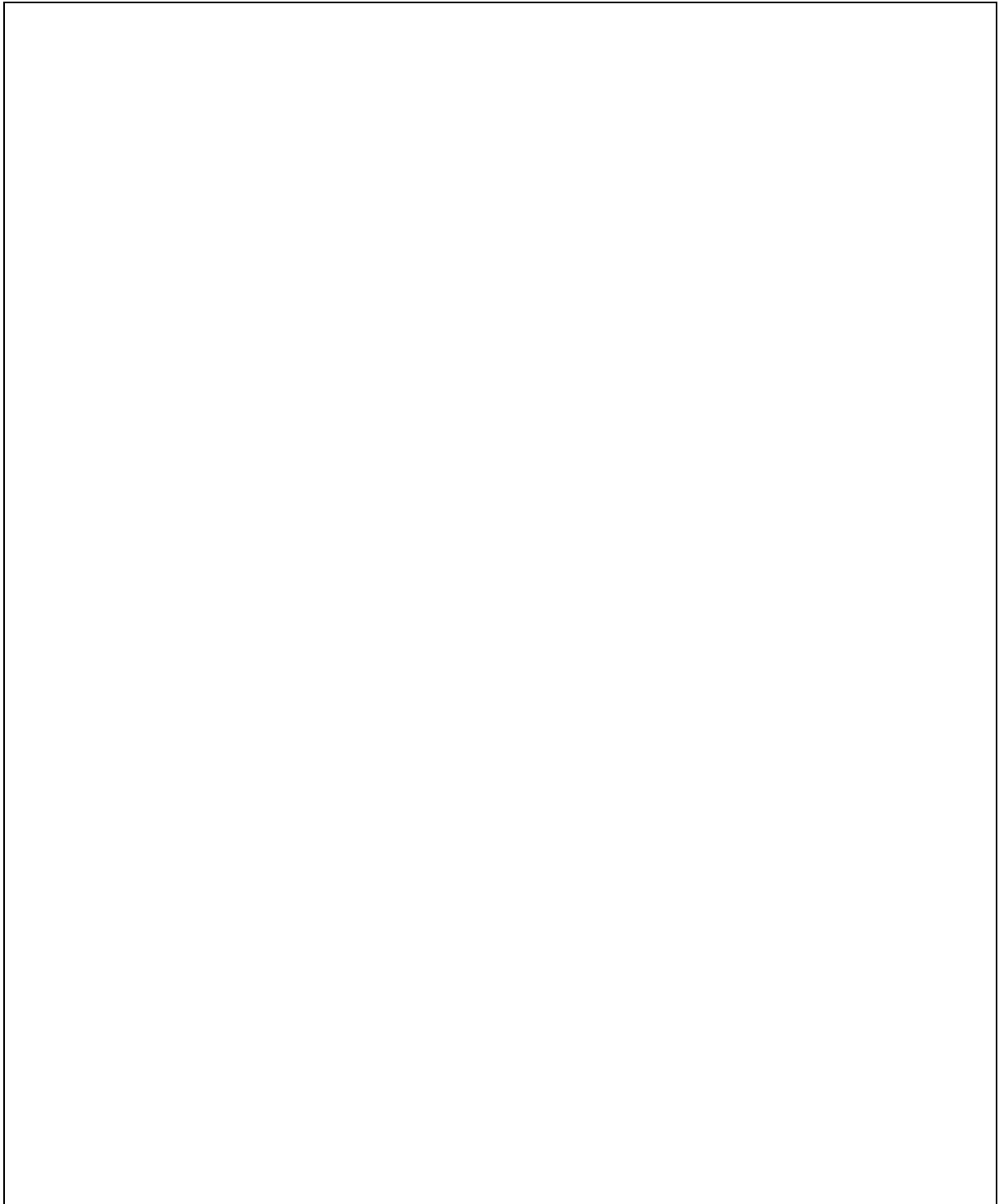


Abb. 2: Beispiel einer Potentialflächenkarte. Die Farbgebung richtet sich nach den Windgeschwindigkeiten in 30 m Höhe. Die Numerierung ermöglicht eine Zuordnung zu in der Studie enthaltenen Tabellen mit Angaben über Energieertrag, Windgeschwindigkeit und installierbarer Leistung.

Fig. 2: Example of a map with areas available for wind farm installations. Different colouring shows different wind speeds in 30m height. The areas are numbered according to tables showing the energy yield, wind speed and installable wind power for each area

Hauptdeiche	200 m
sonstige Deiche	100 m
stehende Gewässer über 1/2 ha Größe und von Flüssen und Strömen	200 m

Abstände zu Verkehrswegen wurden generell nur in den Randzonen von Potentialflächen berücksichtigt, im Fall der konkreten Planung eines Windparks ist es im allgemeinen möglich die geforderten Abstände durch Variation der Aufstellungsgeometrie einzuhalten. Die Entfernung zwischen einzelnen 500kW-Windenergieanlagen sollte stets größer als 200 m sein.

Bundesautobahnen, Bundes-, Landes- und Kreisstraßen	40 m
schiffbare Kanäle	40 m
Bahnlinien	40 m
Flugplätze	Grenze des Bauschutzbereichs
Hochspannungsfreileitungen ab 110 kV	50 m
Richtfunktrassen, Sendeanlagen, Richtfeuerstrecken	50 m

Als Sondergebiete wurden folgende Gebiete berücksichtigt bzw. ausgewiesen:

- Vorranggebiete für Natur und Landschaft
- Vorranggebiete für Rohstoffgewinnung
- Vorranggebiete für ruhige Erholung in Natur und Landschaft
- Landschaftsschutzgebiete (§ 26 NNatG) größer 100 ha
- Überschwemmungsgebiete nach §92 NWG
- avifaunistisch wertvolle Bereiche

Sondergebiete wurden in dieser Studie einer gesonderten Betrachtung unterzogen, weil sie nach Raumordnung oder Fachplanung bereits mit Nutzungsansprüchen belegt sind. Eine Abwägung der Nutzungsansprüche erfolgt im Einzelfall durch die zuständige Planungs- bzw. Genehmigungsbehörde.

4. Windpotentialabschätzung

Die Berechnung der Windgeschwindigkeiten erfolgte mit dem dänischen bzw. europäischen Windatlasverfahren [3]. Als Grundlage für das europäische Windatlasverfahren wurden für alle relevanten Gebiete digitale Rauigkeitskarten und Höhendaten verwendet. Aufgrund der flächendeckenden Berechnungen konnten Einzelhindernisse nicht berücksichtigt werden. Desweiteren wurden zur Berechnung der Windgeschwindigkeiten Referenzstationen bzw. Windklimadaten des 'Europäischen Windatlas' sowie ausgewählte und aufbereitete Daten des Deutschen Wetterdienstes herangezogen.

4.1. Referenzstationen

Für die Berechnung eines Windgeschwindigkeitstrasters (siehe Abb.4) wurde zwischen den über das Untersuchungsgebiet ungleichmäßig verteilten Referenzstationen neue Windklimadaten für den jeweiligen Berechnungspunkt interpoliert. Das verwendete Interpolationsverfahren basiert auf einer Dreiecksvermaschung der Referenzstationen (siehe Abb.3). Innerhalb der Dreiecke werden zur Interpolation am jeweiligen Berechnungspunkt die drei Referenzstationen der Eckpunkte verwendet. Das Verfahren gewährleistet, daß Übergänge zu benachbarten Dreiecken stetig erfolgen. Die Vorteile dieses Verfahrens liegen unter

anderem darin, daß bei verschiedenen Referenzpunktedichten eine angepaßte Darstellung möglich ist, die Übergänge zwischen den Dreiecken stetig sind und die Referenzinformationen der Knotenpunkte erhalten bleiben. Aufgrund der geringen Stationsdichte wurde die Vermaschung per Hand erstellt und konnte so den topographischen Gegebenheiten (z.B. Küstengebiet) soweit möglich angepaßt werden.

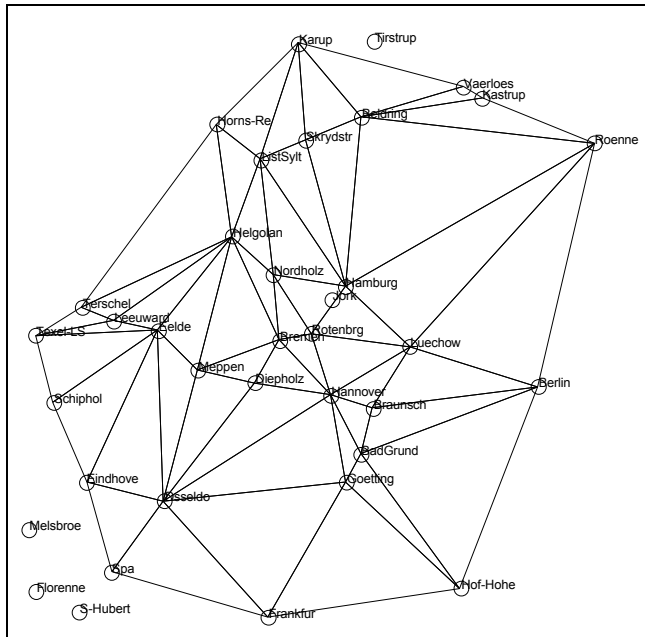


Abb. 3: Dreiecksvermaschung von meteorologischen Basisstationen. Die Stationen, die im Rahmen der Studie verwendet wurden, liegen an den Kreuzungspunkten der Verbindungslinien.

Fig. 3: Triangulation of meteorological stations. The stations which were used in the analysis are at the intersection points of the connection lines.

4.2. Rauhgigkeitskartierung

Zur Erfassung der Rauhgigkeiten des zu untersuchenden Gebietes wurden in dieser Studie Rauhgigkeitsgebiete nicht in Vektorform, sondern in einem festen Raster bewertet. Die Beschreibung in Rasterform erleichtert es, das Gelände bzw. die Geländeelemente gleichmäßig und eindeutig zu beurteilen. Jedem Rasterelement wurde eine

Rauhgigkeitsklasse zugeordnet. Die Klassenaufteilung orientierte sich nicht nur an Rauhgigkeitsabstufungen, sondern auch an typischen Gebietsarten und Geländesituationen der bearbeiteten Gebiete und deren typischen Darstellungen in den verwendeten topographischen Karten. Bei der Erfassung in Rasterform ist es auf Grund der Rauhgigkeitsklassifizierung möglich, fast alle Elemente einer topographischen Karte eindeutig zuzuordnen. Damit ist gewährleistet, daß die Beurteilung weitestgehend objektiv und homogen geschieht. Änderungen der Klassifizierungs-/Rauhgigkeitszuordnung sind nachträglich jederzeit möglich, ohne die Eingangsraasterdaten verändern zu müssen. Die Rastererfassung ermöglicht es außerdem, die Daten für andere numerische Modelle direkt zu verwenden, z.B. für komplexe Orographie geeignete Modelle. Ergänzend wurden Rauhgigkeitsraasterdaten aus aufbereiteten Satellitendaten (klassifizierte Landnutzungsdaten) verwendet. Vergleiche und Auswertungen haben gezeigt, daß klassifizierte Satellitendaten zur Erstellung von Rauhgigkeitskarten eine gute Alternative sind. Nachteil der Rastererfassung ist der zusätzliche Bearbeitungsschritt der notwendig ist, um aus ihnen eine Vektor-Rauhgigkeitskarte bzw. Rauhgigkeitsrosen für „WASP“ zu erstellen. Die Konvertierung wurde mit Hilfe eines Computerprogramms automatisiert.

4.3. Ergebnisse

Vergleiche mit Windmessungen bzw. Energieerträgen vorhandener Anlagen weisen darauf hin, daß die Berechnungsergebnisse für den Küstenbereich und das nähere Binnenland von guter Qualität sind. Für den Harz weichen die Ergebnisse zum Teil deutlich ab. Die Datengrundlage zum Vergleich ist leider zu dünn, um zu eindeutigen Beurteilungen zu kommen. Abweichungen können verschiedene Ursachen haben. Einige Untersuchungen haben gezeigt, daß Berechnungen von orographisch komplexen Gebieten mit „WASP“ kritisch sind. Vor allem die geringe Zahl und Qualität der Referenzstationen ist ein großes Problem. Die wenigen Vergleichsmöglichkeiten mit Messungen im Harzgebiet lassen zur Zeit keine vollständige Beurteilung zu. Die berechneten Windgeschwindigkeiten für den Harz sind größten Teils als zu niedrig bzw. sehr konservativ einzuschätzen. Weitere Untersuchungen sind in Vorbereitung.

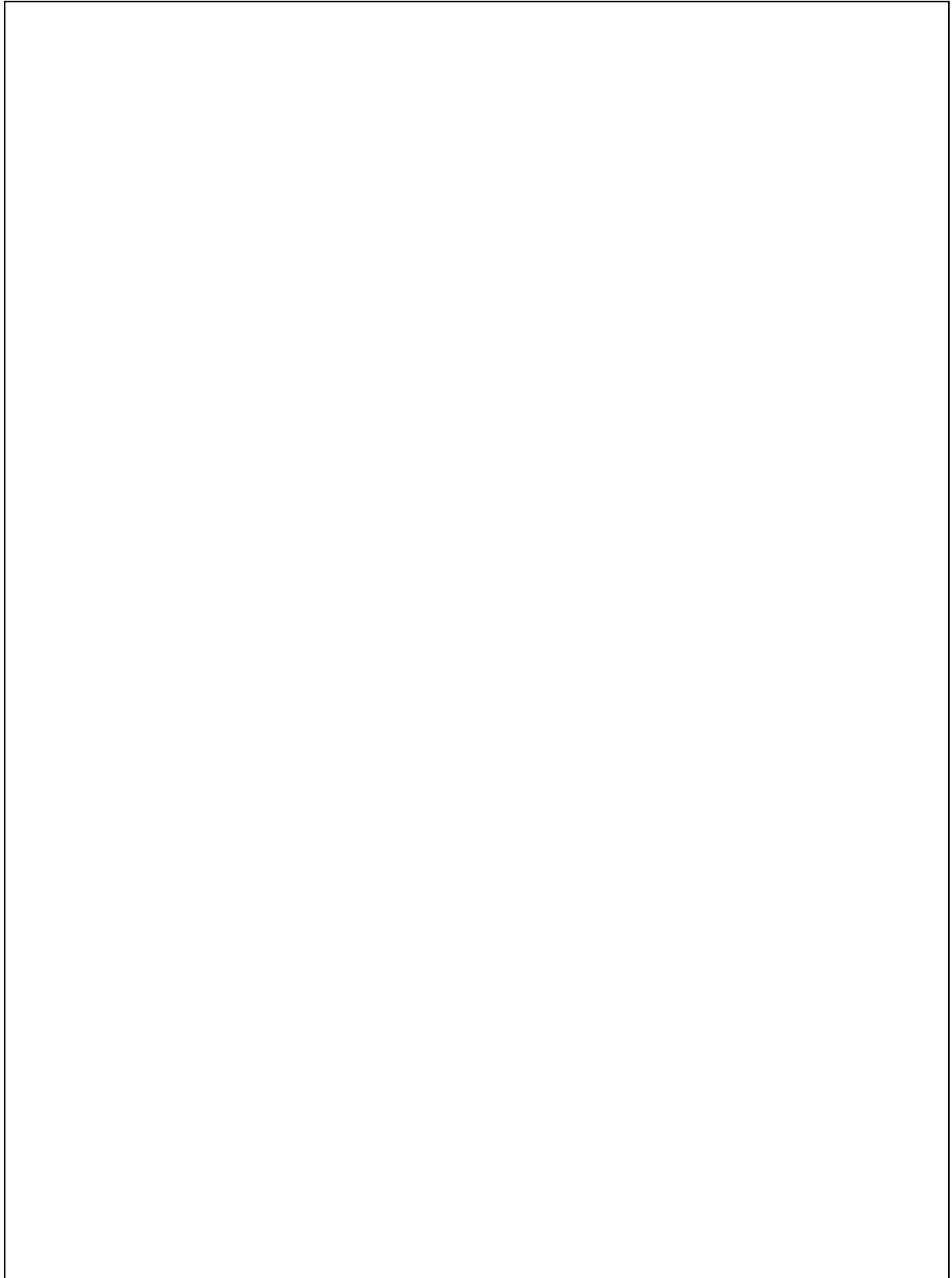
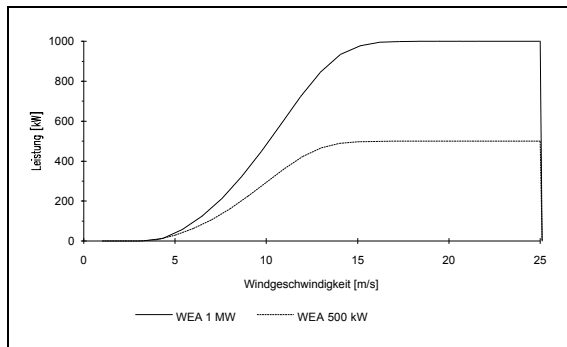


Abb. 4: Berechnete Windgeschwindigkeiten in 30m Höhe, dargestellt als Isoventenkarte (farbkodiert) des nördlichen Teils von Niedersachsen.

Fig. 4: Calculated wind speeds for a height of 30 meters for the northern part of Lower Saxony shown as a coloured contourplot.

5. Energieertragsberechnung

Für Energieertragsberechnungen wurde eine exemplarische Leistungskennlinie für eine 500kW-Windenergieanlage erstellt. Als Grundlage dienten Kennlinien verschiedener Hersteller. Zusätzlich wurden Energieerträge mit zukünftig verfügbaren 1 MW-Anlagen abgeschätzt. Der Vorteil einer 1MW-Anlage gegenüber einer 500kW-Anlage liegt im geringeren Flächenbedarf pro Kilowatt installierter Leistung. Bei gleichem Abstand in Rotordurchmessern (z.B. 6D) in Windparks steigt der Flächenbedarf bei Verdoppelung der Leistung nur um ca. 70%. Die Kennlinie der 1-MW-Anlage wurde unter Berücksichtigung der Höhenschichtung der Windgeschwindigkeit - nach dem 1/7-Potenzgesetz - aus der Charakteristik der 500-kW-Anlage abgeleitet (siehe Abb.5).



	WEA 500 kW	WEA 1 MW
Nabenhöhe	: 40m	: 60m
Durchmesser	: 40m	: 52m
Schallemission	: 100 dB(A)	: 103 dB(A)
Regelung	: Pitch	: Pitch

Abb. 5: Kennlinien der 500kW und 1 MW Windkraftanlagen. Die 500kW Kennlinie wurde von verschiedenen WEA abgeleitet.

Fig. 5: Power curves of the 500kW und 1 MW wind turbine generators. The 500 kW

power curve is based on power curves of turbines of different manufacturers.

Zur Bestimmung der Abstände von WEA in Windparks wurden umfangreiche Berechnungen mit verschiedenen Abstandsrastern durchgeführt. Der Parkwirkungsgrad bzw. die Effektivität von Windparks ist von den Anlagenabständen abhängig. Besonders bei geringen Abständen verringern Abschattungseffekte deutlich die mittlere Windgeschwindigkeit und damit die Leistung der Windkraftanlagen in Windparks.

Windparkkonfigurationen mit geringen Abständen (z.B. 4D/4D) erzielen aufgrund der hohen Anlagenzahlen zwar die höheren Jahresenergieerträge, allerdings bei schlechten Parkwirkungsgraden. Zudem ist bei geringen Abständen möglicherweise mit einer Verkürzung der Lebensdauer der Anlagen zu rechnen, die von vorgelagerten Anlagen ganz oder teilweise abgeschattet werden. Hohe Turbulenzen in der Wake (Abströmung) von Windenergieanlagen führen bei geringen Abständen zu erhöhten mechanischen Belastungen der abgeschatteten Anlagen. Bei der konkreten Realisierung von Windparks müssen die Schallimmissionspegel der TA Lärm für umliegende Siedlungen etc. eingehalten werden. Berechnungen ergeben, daß bei geringen Abständen von z.B. 4D/4D die Anlagenzahlen, die von den Geländeflächen her möglich wären, so stark reduziert werden müssen, daß die Flächenenergieerträge im Verhältnis z.B. zu 6D/6D Konfigurationen kaum höher sind.

Abstandsraaster mit unterschiedlichen Abständen z.B. 5D/7D, mit der größeren Entfernung nach Hauptwindrichtung entsprechend ausgerichtet, können im Einzelfall bessere Resultate liefern. Für flächendeckende Berechnungen ist dieses jedoch nicht sinnvoll. Aus Gründen einer guten Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Flächen und unter Berücksichtigung von Lebensdauer und Effektivität der Windenergieanlagen, wurde als Standardkonfiguration für alle weiteren Berechnungen ein Abstandsraaster von 6D x 6D gewählt.

6. Windparkauslegung

Aus den Ergebnissen von Windparkberechnungen (Potentialstudie 1.Teil) konnte als Richtwert ein mittlerer Parkwirkungsgrad von 90% für die Standardkonfiguration (6D x 6D) abgeleitet werden. Bei sehr großen Windparks reichen im allgemeinen die gewählten Mindestabstände zu Gebieten, die von der Nutzung der Windenergie ausgeschlossen sind, nicht aus, um die geforderten Schallimmissionspegel einzuhalten.

Aus diesem Grunde ist in solchen Fällen mit einer deutlichen Verminderung der Anlagenzahlen zu rechnen. Reduzierungen der Anlagenzahl um 30% bei ursprünglichen Anlagenzahlen von z.B. 150 WEA für ein einzelnes Windparkgebiet sind zu erwarten.

Die Berechnungsergebnisse der Studie berücksichtigen NICHT die Parkwirkungsgradverluste durch Abschattungen. Genaue Analysen der Parkwirkungsgrade sind nur im Einzelfall im Laufe der konkreten Planung sinnvoll. Flächendeckende Berechnungen müßten auch umliegende Windparks berücksichtigen, wobei aber zu bedenken ist, daß nur ein Bruchteil der möglichen Gebiete für Windparks vorraussichtlich genutzt werden. Somit wäre eine sinnvolle Abschätzung erst nach genauer Kenntnis aller von den Behörden konkret ausgewiesenen Windparkgebiete und der gewählten WEK-Aufstellungsdichte möglich.

7. Zusammenfassung

Das Ergebnis der Studie sind Karten, in denen die ermittelten Flächen zusammen mit einer Kennnummer eingetragen wurden. Zur Übersicht sind in der Studie die Potentialflächen mit ihrer Numerierung in eingefügten Karten im Maßstab 1:200.000 farbig dargestellt. Die Farbgebung richtet sich nach der in 30 m Höhe herrschenden Windgeschwindigkeit, verschiedene Schraffuren kennzeichnen unterschiedliche Gebietstypen (Sondergebiete). Karten in anderen Maßstäben sind beim DEWI erhältlich.

Die zur Beurteilung der Flächen relevanten Größen, Windgeschwindigkeit, Energieertrag etc., sind in zugehörigen Tabellen eingeordnet. Die Karten und Tabellen wurden den beteiligten Landkreisen und kreisfreien Städten zur Verfügung gestellt und sollen den Planungsämtern bei der Ausweisung von Flächen zur Windenergienutzung als Hilfe dienen.

Überschneidungen von Potentialflächen mit den oben genannten Sondergebieten wurden in den Plänen gesondert ausgewiesen, die sich ergebenen verringerten Flächen sind in den Tabellen als reduzierte Potentialflächen aufgeführt. Eine Gesamtübersicht über die Summe der Potentialflächen in den elf Landkreisen und kreisfreien Städten ist in Tabelle 1 am Beispiel der Installation von 500kW Windenergieanlagen gegeben.

Die theoretisch installierbare Leistung für alle im Teil II untersuchten Landkreise ergibt sich zu:

Windenergieanlagentyp	installierbare Leistung auf den Potentialflächen	installierbare Leistung auf den reduzierten Potentialflächen
WEA-500kW	25396 MW	13798 MW
WEA-1MW	31906 MW	17157 MW

Es ist zu berücksichtigen, daß sich die installierbaren Leistungen, durch die schalltechnisch bedingte Einhaltung von Abständen zu Siedlungsgebieten, reduzieren können.

Zusammen mit den Ergebnissen aus Teil I der Potentialstudie ergibt sich die folgende theoretisch installierbare Leistung für alle 21 untersuchten Landkreise und kreisfreien Städte:

Windenergieanlagentyp	installierbare Leistung auf den Potentialflächen	installierbare Leistung auf den reduzierten Potentialflächen
WEA-500kW	41888 MW	25996 MW
WEA-1MW	51910 MW	31969 MW

Im allgemeinen muß bei der Nutzung der Windenergie in den Binnenlandbereichen eine Verringerung der Energieerträge aufgrund niedrigerer Windgeschwindigkeiten im Vergleich zu den Küstengebieten berücksichtigt werden. Der mittlere theoretische Energieertrag pro WEA beträgt in den 11 Binnenlandkreisen nur ca. 76 % des Wertes, der im ersten Teil der Studie ermittelt wurde. Die oben genannten Werte der installierbaren Leistung sind sicherlich für den durchführbaren Aufbau der Windenergienutzung zu hoch gegriffen, treffen doch die Interessen der Windenergiebefürworter auf die zum Teil entgegenstehenden Interessen von Natur- und

Landschaftsschutz. Zusammen mit den Ergebnissen aus Teil I der Potentialstudie machen sie jedoch deutlich, wie groß das Potential der Windenergie in dem hier betrachteten Untersuchungsraum ist. Wird auch nur ein Teil der erfaßten Flächen effektiv genutzt, so kann der Windenergienutzung in Zukunft ein nicht zu vernachlässigender Anteil an der Energieerzeugung zukommen.

District	District area [km ²]	Area available [km ²]	Number of WEG	Annual energy yield [GWh/a]	Reduced area available [km ²]	Reduced Number of WEG	Reduced annual energy yield [GWh/a]
Landkreis	Kreisfläche [km ²]	Potentialfläche [km ²]	Anzahl der WEA	Gesamtenergieertrag [GWh/a]	Reduzierte Potentialfläche [km ²]	Reduzierte Anzahl der WEA	Reduzierter Gesamtenergieertr. [GWh/a]
Emsland	2880	520.91	10182	8087	318.86	6156	4868
Cloppenburg	1417	225.84	4503	3502	107.62	2165	1639
Ammerland	728	53.27	1093	889	17.54	382	310
Oldenburg	1063	113.85	2354	1600	54.38	1093	755
Diepholz	1987	348.52	6944	4405	156.94	3065	1940
Verden	738	159.53	3151	2143	92.56	1782	1212
Rotenburg (Wümme)	2070	567.52	11063	8609	334.84	6376	4966
Harburg	1244	167.89	3385	2265	103.84	2046	1378
Lüneburg	1070	229.38	4489	2485	109.64	2138	1201
Goslar	964	111.97	2175	927	89.98	1656	710
Osterode (Harz)	637	69.82	1453	359	37.60	736	177
Gesamt:	14798	2568.49	50792	35271	1423.80	27595	19156
Total	14798	2568.49	50792	35271	1423.80	27595	19156

Tab. 1: Zusammenfassung der Potentialflächen, der im Teil 2 der Studie untersuchten Landkreise, für 500 kW Windenergieanlagen.

Tab. 1: Summary of areas available for wind farm installations in the districts and cities for wind turbines with 500 kW rated power, investigated in part 2 of the study.

Die Windpotentialstudie Teil 2, für 11 Kreise des nördlichen Niedersachsens, ist beim DEWI zum Preis von DM 75,- erhältlich (Teil 1 für DM 59,-). Darin enthalten sind Karten im Maßstab 1:200.000, sowie Tabellen mit Windgeschwindigkeiten, Energieerträgen und Potentialflächen.

8. Literatur

- [1] Niedersächsisches Umweltministerium, Feststellung geeigneter Flächen als Grundlage für die Standortsicherung von Windparks im nördlichen Niedersachsen - 1000-MW-Programm -, Deutsches Windenergie-Institut
- [2] Niedersächsisches Umweltministerium, Leitlinie zur Anwendung der Eingriffsregelung des Niedersächsischen Naturschutzgesetzes bei der Errichtung von Windenergieanlagen, Bek. d. MU vom 21.06.1993.
- [3] I. Troen, N.G. Mortensen und E. L. Petersen, WASP - Wind Atlas Analysis and Application Programme, Risø National Laboratory, Roskilde, Dänemark