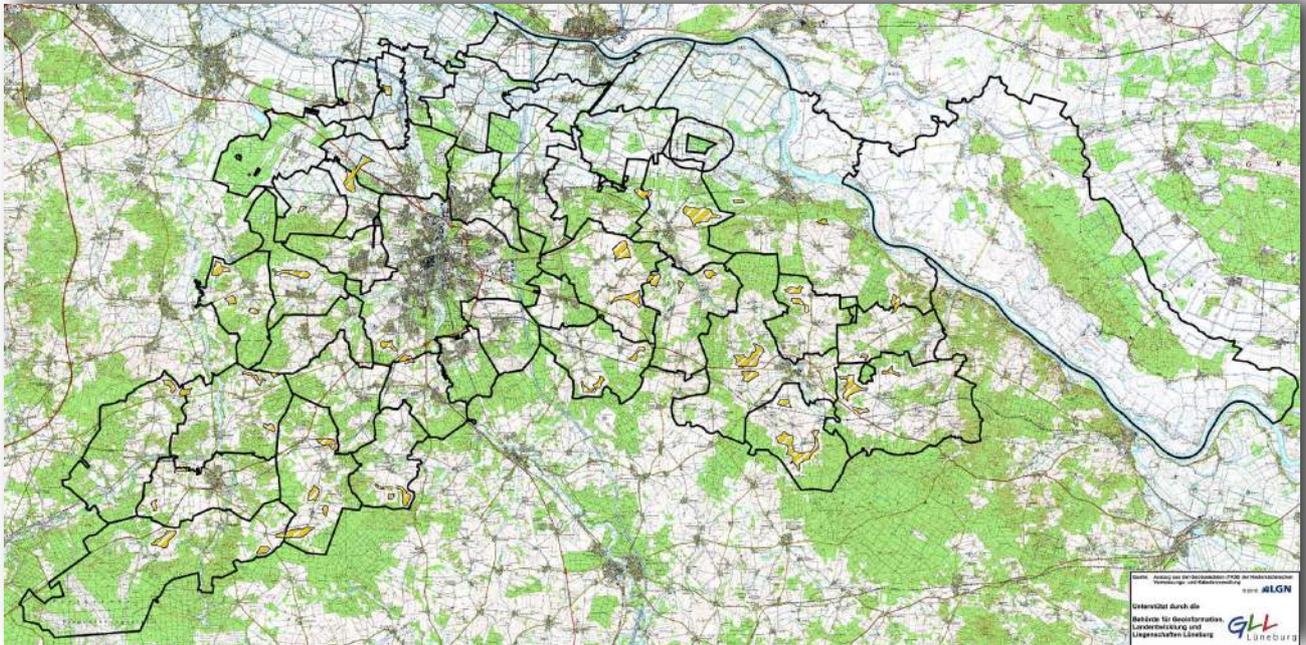


CO₂-neutraler und energieautarker Landkreis Lüneburg

- Potential durch Windenergienutzung -

Bachelor-Arbeit



Erstellt für: Leuphana Universität Lüneburg Fakultät III - Umwelt und Technik

Fachbereich: Department für Nachhaltigkeitswissenschaften; Regenerative Energien

Erstellt von: Felix Storck

Anschrift: Neue Sülze 22, 21335 Lüneburg

E-Mail: felix.storck@gmx.de

Matrikelnummer: 3006960

Studienfächer: Umweltwissenschaften / Wirtschaftswissenschaften

Erstprüfer: Prof. Dr. Wolfgang Ruck; Universität Lüneburg (Betreuung durch Dr. Alexa Lutzenberger)

Zweitprüfer: Dr. Heinz-Theo Mengelkamp; anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH (Betreuung durch Lasse Blanke (Dipl.-Geograph), Martin Kolbe (Dipl.-Geograph) und Jessica Rautenstrauch (Dipl.-Umweltwiss.)

Lüneburg, 13. Oktober 2010

1. EINLEITUNG.....	5
1.1 RELEVANZ DER ARBEIT	5
1.2 FRAGESTELLUNG UND ZIELSETZUNG.....	6
1.3 AUFBAU DER ARBEIT.....	8
2. GRUNDLAGEN UND THEORETISCHER RAHMEN	10
2.1 ERKLÄRUNG DES LEITBILDES „CO ₂ -NEUTRALER UND ENERGIEAUTARKER LANDKREIS LÜNEBURG“	10
2.2 POLITISCHE GRUNDLAGEN DER ENERGIEVERSORGUNG	11
2.3 DEZENTRALE ENERGIEVERSORGUNG	13
2.4 RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN FÜR DEN BAU VON WINDENERGIEANLAGEN	16
3. DURCHFÜHRUNG DER PLANUNG	21
3.1 ABSTANDREGELUNGEN	21
3.1.1 Wohn- und Siedlungsflächen	21
3.1.2 Natur, Landschaft und Erholung.....	23
3.1.3 Verkehr und Elektrizität.....	24
3.1.4 Sonstiges	25
3.2. ERSTELLUNG DER POTENTIALFLÄCHEN.....	27
4 VORGEHENSWEISE ZUR ERSTELLUNG EINER WINDMAP	37
4.1.1 FUNKTIONSWEISE VON WASP	37
4.1.2 ERSTELLUNG DER DATENGRUNDLAGE	38
4.1.3 BERECHNUNG DER LANGZEITERTRÄGE.....	39
4.2.1 BESCHREIBUNG DER VERGLEICHSSTANDORTE	42
<i>Vergleichsstandort 1: Dahlenburg</i>	<i>43</i>
<i>Vergleichsstandort 2: Boitze.....</i>	<i>44</i>
<i>Vergleichsstandort 3: Neetze.....</i>	<i>44</i>
<i>Vergleichsstandort 4: Embsen.....</i>	<i>44</i>
<i>Vergleichsstandort 5: Melbeck.....</i>	<i>45</i>
<i>Vergleichsstandort 6: Südergellersen</i>	<i>45</i>
<i>Vergleichsstandort 7: Rehlingen</i>	<i>46</i>
<i>Vergleichsstandort 8: Ostheide/ Sülbeck</i>	<i>46</i>
<i>Vergleichsstandort 9: Dahlem.....</i>	<i>46</i>
4.2.2 AUSWERTUNG DER DATENGRUNDLAGE MIT WASP	47
4.2.3 GEWICHTUNG DER EINZELNEN REFERENZSTANDORTE.....	49
4.3 ERSTELLUNG DER WINDMAP.....	53
5. PARKPLANUNG UND ERTRAGSBERECHNUNG MIT WINDPRO.....	55
6. AUSWERTUNG	61
6.1 ENERGIE UND CO ₂ -EINSPARUNGSPOTENTIALE	61
6.1.1 Berechnung des Energiebedarfs im Landkreis LG	61

6.1.2 BERECHNUNG DES CO ₂ -EINSPARUNGSPOTENTIALS.....	63
6.2 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE	66
7. FAZIT	67
8. LITERATURVERZEICHNIS	70
GESETZE, UND LEXIKA:	77
<i>Abbildung 1: TK mit den Grenzen des Landkreis Lüneburg und den Gemeindegrenzen</i>	28
<i>Abbildung 2: Layer 1 Siedlung, Gewerbe und Erholung</i>	29
<i>Abbildung 3: Layer 2 Landschaft und Natur</i>	30
<i>Abbildung 4: Layer 3 Verkehr und Versorgung</i>	31
<i>Abbildung 5: Layer 4 Sonstiges</i>	32
<i>Abbildung 6: Alle Ausschlussgebiete</i>	33
<i>Abbildung 7: Potentialflächen</i>	34
<i>Abbildung 8: Alle Ausschlussgebiete und Potentialflächen</i>	35
<i>Abbildung 9: Potentialflächen nummeriert (Konzentrationszonen: 1-32; wegen zu geringer Größe ausgeschiedenen Flächen: A33-A48)</i>	36
<i>Abbildung 10: Schematische Darstellung des WAsP-Modells (Quelle: Risø Lab 1997)</i>	37
<i>Abbildung 11: Orografiekarte</i>	41
<i>Abbildung 12: Rauigkeitskarte</i>	41
<i>Abbildung 13: Übersicht der Vergleichsstandorte aus Google Earth</i>	42
<i>Abbildung 15: Gemessene Erträge aufgetragen gegen den IWET- Windindex</i>	44
<i>Abbildung 16: Gemessene Erträge aufgetragen gegen anemos Power-Index</i>	44
<i>Abbildung 18: Vergleichsstandorte im Landkreis LG und Wetterstation Fassberg im Süden des Landkreises (Rote Markierung)</i>	48
<i>Abbildung 19: Windrose und Weibull-Verteilung, ermittelt an der Station Fassberg (Quelle: DWD)</i> ..	49
<i>Abbildung 20: Windmap des Landkreises LG mit eingezeichneten Potentialflächen</i>	54
<i>Abbildung 21: Erbaute WEA-Klassen in % (Quelle: DEWI 2010)</i>	55
<i>Abbildung 22: Freiflächen mit WEA und dazugehörigen Abstandsradien</i>	56
<i>Tabelle 1: Immisionsrichtwerte der TA-Lärm nach Siedlungstypen (Quelle: BWE 2005)</i>	22
<i>Tabelle 2: Ausschlussgebiete und Schutzabstände</i>	26
<i>Tabelle 3: Einbezogene Standorte mit den verschiedenen Erträgen, den Gütegraden und der jeweiligen Gewichtung</i>	51

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Abs.	Absatz
BauGB	Baugesetzbuch
BauNVO	Baunutzungsverordnung
BbgNatSchG	Brandenburgisches Naturschutzgesetz
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BNatSchG	Bundes-Naturschutzgesetz
BVerwG	Bundesverwaltungsgericht
BVG	Bundesverfassungsgericht
ca.	circa
d.h.	das heißt
DEWI	Deutsches Windenergie-Institut
DWD	Deutscher Wetterdienst
EE	Erneuerbare Energien
EEA	European Environment Agency
EEG	Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien
ESRI	Environmental Systems Research Institute
FFH	Flora-Fauna-Habitat
ggf.	gegebenenfalls
GIS	Geoinformationssystem
GW	Gigawatt
GWh	Gigawattstunden
Hz	Hertz
i.d.R.	in der Regel
i.d.S.	in diesem Sinne
IWET	Ingenieurwerkstatt Energietechnik
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunden
LROP	Landesraumordnungsplan
m	Meter
m/s	Meter pro Sekunde

mind.	mindestens
Mio.	Millionen
Mrd.	Milliarden
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunden
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
Nds.	niedersächsisches
NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
NN	Normalnull
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
Nr.	Nummer
OVG	Oberverwaltungsgericht
PSU	Pennsylvania State University
ROG	Raumordnungsgesetz
RROP	Regionales Raumordnungsprogramm
S.	Seite
t	Tonnen
TA Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm
TK	Topografische Karte
u.A.	unter Anderem
VDE	Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.
WEA	Windenergieanlage(n)
z. B.	zum Beispiel
ZGB	Zweckverband Großraum Braunschweig
z. T.	zum Teil

1. Einleitung

1.1 Relevanz der Arbeit

Als erster UN-Generalsekretär erkannte Ban Ki Moon 2007 den Klimaschutz als entscheidende Herausforderung unserer Generation (BMU 2007). In den letzten Jahren zeigte sich immer wieder, dass es sich dabei um eine sehr komplexe Aufgabe handelt. Gerade auf internationaler und nationaler Ebene ist die Umsetzung verschiedener Konzepte schwierig und bringt oftmals nicht den gewünschten Erfolg. Umso wichtiger ist die Entwicklung auf lokaler und regionaler Ebene. So gibt es in Deutschland bereits viele Regionen, Kommunen, Gemeinden und Städte, die sich ambitionierte Ziele zum Klimaschutz gesteckt haben. Einige sind schon sehr weit im Umstellungsprozess auf eine vollständige Energieversorgung durch erneuerbare Energien vorangeschritten, andere erarbeiten innovative Konzepte, um dieses Ziel in absehbarer Zeit zu erreichen (23grad-Netzwerk).

Im Landkreis Lüneburg ist der Klimaschutz ein besonderer Aspekt der Regionalentwicklung, wie z. B. die Einrichtung der Klimaschutzleitstelle erkennen lässt. Weiter zeigt das gemeinsame Eckpunktepapier von SPD und Bündnis 90/Die Grünen¹ vom 01.08.2010, dass Maßnahmen zum Klimaschutz auch politisch weiter forciert werden sollen. So wurde in diesem Eckpunktepapier vereinbart, dass der Landkreis sein politisches Handeln an der Leitidee der nachhaltigen Entwicklung ausrichten soll. Das gemeinsame Ziel ist der energieautarke Landkreis. Zudem soll die Priorität verstärkt auf erneuerbare Energien gesetzt werden, um eine 100%ige Energieversorgung durch diese umzusetzen (SPD und Bündnis 90/Die Grünen, S.5).

Als Konzept zur vollständigen Umstellung des Landkreises auf erneuerbare Energien soll in dieser Arbeit das im Rahmen eines Seminars an der Universität Lüneburg entstandene Leitbild „CO₂-neutraler und energieautarker Landkreis Lüneburg“² zugrunde gelegt werden.

¹ Diese beiden Parteien bilden z.Zt. die stärkste Fraktion im Kreistag (Lüneburg.de).

² Eine genaue Erläuterung zum Leitbild findet sich in Kapitel 2.1

Um dem Klimawandel und seinen verheerenden Folgen in vielen Belangen entgegenzuwirken, bedarf es neuer, zukunftsweisender und nachhaltiger Konzepte, wie diesem Leitbild. Ein wichtiger Aspekt ist dabei die Energieversorgung. Für den Klimaschutz ist es unumgänglich, dass erneuerbare Energien in naher Zukunft die Versorgung mit Energie durch fossile Brennstoffe ersetzen (Flasbarth 2010; UBA 2008; Agentur für Erneuerbare Energien 2010).

Im Rahmen dieser Arbeit soll der Fokus auf der Energieversorgung durch Windenergie gelegt werden. Da im Landkreis Lüneburg der regionale Raumordnungsplan (RROP) bis 2013 aktualisiert werden soll und im Zuge dessen auch die Vorranggebiete für Windenergieanlagen neu ausgeschrieben werden, besteht hier die Möglichkeit, neue Vorranggebiete unter neuen politischen Rahmenbedingungen und dem Leitbild des CO₂-neutralen und energieautarken Landkreises³ zu planen. Um weitere Flächen für die Windenergienutzung zu finden, bedarf es einer frühzeitigen Bestimmung relevanter Kriterien für solche Flächen sowie einer durchdachten Planung.

1.2 Fragestellung und Zielsetzung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Frage, wie groß der Beitrag durch einen Ausbau der Windenergienutzung zu einem CO₂-neutralen und energieautarken Landkreis sein kann. Dazu wird das Konzept einer dezentralen Energieversorgung erläutert und die Vorteile aufgezeigt.

Das Kernthema wird allerdings die Energieversorgung durch Ausbau der Windenergienutzung sein. Es werden neue Ideen zur Umsetzung und Weiterentwicklung des genannten Leitbildes, durch ein Aufzeigen der Gestaltungsmöglichkeiten, im Zuge eines Ausbaus der Windenergienutzung unterstützt.

Dazu sollen Potentiale⁴ durch einen Ausbau der Windenergienutzung und damit zur Verminderung der CO₂-Emissionen ermittelt werden. Diesbezüglich muss die Anzahl und Größe der theoretisch zur Verfügung stehenden und geeigneten Flächen bestimmt werden, die im Landkreis Lüneburg für einen Ausbau der

³ Eine genaue Erläuterung zum Leitbild findet sich in Kapitel 2.1.

⁴ Die Leistungsfähigkeit der Windenergie zur Energieerzeugung, unter dem Einsatz aller vorhanden und verfügbaren Mittel (Vgl. Brockhaus Multimedial 2008).

Windenergienutzung in Betracht kommen. Zu diesem Zweck müssen die möglichen Ausschlusskriterien bestimmt und berücksichtigt werden. Wichtig ist, die möglichen Ausschlusskriterien für potentielle Standorte so genau wie möglich zu definieren und so die nutzbare Fläche einzugrenzen.

Des Weiteren sind die allgemeinen klimatologischen Windbedingungen, also die vorliegende Windrichtung und die Windstärken zu berücksichtigen, um Rückschlüsse auf die Windverhältnisse der nutzbaren Flächen und den damit verbundenen Energieerträgen zuzulassen.

Anschließend müssen die Flächen, unter Vernachlässigung der Eigentumsrechte, mit Windenergieanlagen (WEA) beplant werden, so dass die maximal installierbare Leistung bestimmt werden kann. Daraus kann der Energieertrag berechnet werden, der durch die Windenergienutzung auf den in Frage kommenden Flächen bereitgestellt werden könnte.

Das Ziel der Arbeit ist entsprechend die Ermittlung von neuen Flächen, die für die Windenergienutzung prinzipiell zur Verfügung stehen (so genannten Potentialflächen), sowie die Berechnung des Energieertrags, der durch einen festgelegten Anlagentyp, unter maximaler Ausnutzung dieser Flächen, erzielt werden kann.

Dadurch können, bezogen auf den bisherigen Energieverbrauch im Landkreis Lüneburg und den damit verbundenen CO₂-Emissionen, die möglichen Energie- sowie CO₂-Einsparungspotentiale aufgezeigt werden.

Die Arbeit soll zur Beantwortung folgender Forschungsfragen beitragen:

1. Welche und wie viele Flächen sind prinzipiell für die Windenergienutzung geeignet?
2. Lassen die klimatologischen Windbedingungen eine Windenergienutzung auf den ermittelten Flächen zu?
3. Welche Flächen sind geeignet, als neue Vorranggebiete ausgeschrieben zu werden?

4. Wie hoch ist der zu erwartende Energieertrag bei Errichtung eines festgelegten Anlagentyps und vollständiger Nutzung der Flächen, die sich für die Windenergienutzung eignen?
5. Wie viel Energie aus herkömmlichen Energiequellen kann durch eine vollständige Nutzung der Flächen durch Windenergie ersetzt werden?
6. Wie viel CO₂ kann durch den Ersatz der herkömmlichen Energiequellen durch Windenergie eingespart werden?

1.3 Aufbau der Arbeit

Zur Bearbeitung der vorliegenden Fragestellung wird die Arbeit in fünf Schwerpunkte unterteilt (Grundlagen und Theorie; Durchführung der Planung; Erstellung der Windmap; Parkplanung und Ertragsberechnung; Auswertung der Ergebnisse).

In Kapitel 2 sollen der theoretische Rahmen sowie die rechtlichen und politischen Grundlagen erklärt werden. Dazu wird zunächst das Leitbild „CO₂-neutraler und energieautarker Landkreis“ erklärt und der Kontext der bisherigen Energiepolitik erläutert. Des Weiteren sollen die Grundlagen einer dezentralen Energieversorgung beleuchtet und die wichtigsten Aspekte dieses Themas aufgezeigt werden. Danach setzt sich dieses Kapitel mit den rechtlichen Rahmenbedingungen zur Bestimmung von Potentialflächen und der Ausschreibung von Vorranggebieten auseinander.

Kapitel 3 ist der praktischen Arbeit gewidmet. Zu Beginn werden Ausschlussgebiete für die Windenergienutzung sowie Pufferzonen festgelegt und die Potentialflächen bestimmt.

Im darauf folgenden Abschnitt konzentriert sich das Kapitel auf die Bestimmung des Windpotentials im Landkreis Lüneburg, dazu wird die Vorgehensweise erläutert und kurze Zwischenergebnisse präsentiert.

Kapitel 4 erklärt die Erstellung der Windmap, anschließend wird die Parkplanung auf den Potentialflächen sowie die Ertragsberechnung durchgeführt (Kapitel 5).

In Kapitel 6 folgt die Auswertung der Daten, die Energie- sowie die CO₂-Einsparungspotentiale werden berechnet und die Zwischenergebnisse vorgestellt.

Abschließend werden im Fazit (Kapitel 7) weitere Ansatzpunkte erläutert und die Ergebnisse, unter Berücksichtigung der Grenzen, der Arbeit zusammengefasst.

2. Grundlagen und theoretischer Rahmen

2.1 Erklärung des Leitbildes „CO₂-neutraler und energieautarker Landkreis Lüneburg“

Das dieser Arbeit zugrunde liegende Leitbild ist der „CO₂-neutrale⁵ und energieautarke⁶ Landkreis Lüneburg“. Dieses Leitbild soll den Klimaschutz in den Mittelpunkt der regionalen Gestaltung stellen.

Ziel ist es, CO₂-Emissionen zu vermeiden, die Ressourcen mithilfe von Energieeinsparungsmaßnahmen (Suffizienz), Energieeffizienzsteigerung und massivem Ausbau der erneuerbaren Energien zu schonen und so die Folgekosten von Umwelt- und Klimaschäden zu minimieren. Zudem soll die Versorgungssicherheit, die regionale Selbstverwaltung und die regionale Wertschöpfung durch Energieautarkie gesteigert werden. Schließlich sollen die Aspekte nachhaltigen Handels auf den Landkreis übertragen und umgesetzt werden.

Um dies zu realisieren, bedarf es Ansätze unterschiedlichster Art. So kam es auch an der Universität Lüneburg im Rahmen eines Seminars zu erneuerbaren Energien, mit Hilfe dieses Leitbildes, schon zu vielen konstruktiven Konzepten und Ideen in unterschiedlichen Bereichen, wie z. B. der Energieversorgung, aber auch zu neuen Ideen zur Verkehrsstruktur, zur Effizienzsteigerung und zu möglichen Einsparungsmaßnahmen.

Einen ganzen Landkreis CO₂-neutral und energieautark zu gestalten, ist zwar ein hochgestecktes, aber zugleich ein sehr erstrebenswertes Ziel.⁷ Viele Regio-

⁵ CO₂-Neutralität bedeutet, keine Veränderung der Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre zu bewirken. Durch die Verhinderung von Klimaschädigung wird in diesem Zusammenhang auch von Klimaneutralität gesprochen. Im Bezug auf den Landkreis bedeutet dies, Maßnahmen zu finden, um den CO₂-Ausstoß massiv zu verringern und nicht mehr CO₂ freizusetzen, als an anderer Stelle wieder gebunden wird. Das dennoch freigesetzte CO₂ muss durch andere Maßnahmen kompensiert werden, so dass der Atmosphäre netto kein CO₂ zugeführt wird. (energielexikon.info)

⁶ Eine energieautarke Region deckt den gesamten Energiebedarf im Jahresmittel rein rechnerisch aus regionalen erneuerbaren Energieträgern und nutzt dazu die Potentiale zur Energieeinsparung und Steigerung der Energieeffizienz weitestgehend aus. Um das zu erreichen, werden Maßnahmen zur Einsparung von Energie (Suffizienz), zur Steigerung der Energieeffizienz und zum Einsatz erneuerbarer Energien umgesetzt (SANEA GmbH 2009).

⁷ „Das Streben nach Energie-Unabhängigkeit muss das Projekt Mondlandung für unsere Generation sein.“ Thomas Friedman, New York Times (Rosenblatt 2006 S.369).

nen dienen dabei als Vorbilder in der Realisierung (Kompetenznetzwerk Dezentrale Energietechnologien 2010).

2.2 Politische Grundlagen der Energieversorgung

„Die industrielle Revolution hat wiederum zu Mangelerscheinungen geführt. Es mangelt nicht nur an Brennstoffen und Metallen, sondern in erster Linie an der Kapazität der Umwelt, noch mehr Schadstoffe aufzunehmen.“ Donella und Dennis Meadows, Autoren der Studie „Grenzen des Wachstums“ des Club of Rome.⁸

Heute wird der Weltprimärenergiebedarf zu großen Teilen durch fossile Brennstoffe gedeckt, wodurch die Umwelt und das Weltklima zunehmend gefährdet werden. Der massive Einsatz fossiler Energieträger ist die Hauptursache für den Klimawandel, da dabei besonders viel CO₂ emittiert wird. In der EU entfällt ein großer Teil dieser Emissionen auf die Stromerzeugung. Dieser Trend wird sich in Zukunft voraussichtlich noch weiter verstärken (Europa.eu).

In Deutschland wurde die konventionelle zentrale Energieerzeugung im Laufe der letzten Jahrzehnte über verschiedene politische Maßnahmen gefördert. Besonders erwähnenswert ist neben der Subvention der heimischen Steinkohle auch die Förderung der Kernkraft. Um nicht wie bei anderen Energieträgern auf Rohstoffimporte angewiesen zu sein, hat der Staat den Steinkohleabbau innerhalb der letzten 50 Jahre mit etwa 130 Mrd. Euro subventioniert (tagesschau.de 2008). Da Kernenergie lange Zeit als unerschöpfliche Energiequelle galt, wurde sie laut einer von Greenpeace in Auftrag gegebenen Studie zwischen 1950 und 2008 mit mindestens 165 Mrd. Euro gefördert, wobei von weiteren 92,5 Mrd. Euro für Rückbau und Endlagerung ausgegangen wird (Greenpeace 2009). Die Fördermaßnahmen der Kernkraft setzen sich dabei aus Steuerbefreiungen bei Brennstoffen, Haftpflichtbefreiungen für Betreiber von Kernkraftwerken sowie der direkten Investitionen in Forschung und Bau zusammen (Greenpeace 2009).

⁸ (Rosenkranz 2006 S. 41)

Mitte der 90er Jahre setzte durch zunehmendes Umweltbewusstsein ein Umdenken ein und die so genannte Energiewende brach an. Um der massiven CO₂-Belastung entgegenzuwirken, wurden Forderungen nach neuen Handlungs- und Versorgungsstrukturen von Umweltverbänden und auch von ersten Politikern laut.

Die Energiewende, welche auf eine nachhaltige und selbstversorgende Energiepolitik hinarbeitet, soll die gefährlichen Konsequenzen der massiven CO₂-Belastung mindern und die sichere Energieversorgung der Bevölkerung auch in Zukunft gewährleisten.

Bedingt durch den Klimawandel ist die Umweltverträglichkeit ein wichtiges Ziel der deutschen Energiepolitik geworden. So hat sich Deutschland im Kyoto-Protokoll verpflichtet, bis 2020 die Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 um 40 % zu senken. Dieses spielt bei der Energiebereitstellung insofern eine große Rolle, als 85 % der CO₂-Emissionen im Energiesektor entstehen.

Des Weiteren hat sich Deutschland bis 2020 das Ziel gesetzt, 18 % des Primärenergieverbrauchs und 30 % des Bruttostromverbrauchs mit erneuerbaren Energien zu erzeugen (vgl. BMU 2009, S.5). Dieses Ziel kann lediglich mittels der Energiewende, hin zu einer nachhaltigen und regenerativen Energiegewinnung erreicht werden.

Die Förderinstrumente, die implementiert wurden um diese Ziele zu erreichen, streben meist die Förderung bestimmter Technologien an. Das beste Beispiel ist das Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (EEG), das am 01.04.2000 (mit den Novellen: 2004 und 2009) seinen Vorläufer, das Stromeinspeisungsgesetz (StromEinspG), abgelöst hat. Das StromEinspG trat 1991 in Kraft und regelte erstmals die Abnahme- und Vergütungspflicht von erneuerbarem Strom. Das EEG dient ebenfalls der Technologieförderung. Auch hier muss der aus erneuerbaren Energien gewonnene Strom von den Energiekonzernen abgenommen, bevorzugt in das Netz eingespeist und entsprechend des Gesetzes vergütet werden (BMWi 2009 S.35,36).

„Zweck dieses Gesetzes ist es, insbesondere im Interesse des Klima- und Umweltschutzes, eine nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung zu ermöglichen, die volkswirtschaftlichen Kosten der Energieversorgung auch durch die

Einbeziehung langfristiger externer Effekte zu verringern, fossile Energieressourcen zu schonen und die Weiterentwicklung von Technologien zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien zu fördern.“ (Zitiert aus: EEG 2009 §1).

Die Vergütungsansätze und direkte staatliche Förderungen, wie günstige Darlehen, steigern die Nachfrage nach Technologien zur Nutzung von erneuerbaren Energien. So soll der Wettbewerb gefördert und die Umweltverträglichkeit im Energiesektor erhöht werden.

Speziell im Bereich der Windenergienutzung hat das Land Niedersachsen das große Potential für einen Beitrag zum Klimaschutz bereits erkannt. Der Ausbau der Windenergie stieg in den vergangenen Jahren stetig an und lag 2009 bei einer insgesamt installierten Leistung von 6029 MW. Im bundesweiten Vergleich steht Niedersachsen damit an vorderster Stelle. So konnte ein Anteil von über 19 % des Bruttostromverbrauchs⁹ in Niedersachsen durch Windenergie gedeckt werden (DEWI 2009). Nichtsdestotrotz ist eine weitere Steigerung unabdingbar, um die ehrgeizigen deutschen und europäischen Klimaschutzziele (BMU 2009) zu erreichen und unserer globalen Verantwortung gerecht zu werden (Flasbarth 2010).

2.3 Dezentrale Energieversorgung

Die Herausforderungen des Klimawandels sind global, deshalb müssen die Weichen für den Klimaschutz auf internationaler Ebene gestellt werden. Jedoch ist zu erkennen, dass die Umsetzung einer nachhaltigen Energiepolitik auf internationaler Ebene, vor allem außerhalb Europas sehr diffizil ist, da nationalstaatliche Interessen berücksichtigt werden müssen (siehe beispielsweise Klimagipfel in Kopenhagen). Dass eine Umsetzung auf regionaler Ebene hingegen sehr Erfolg versprechend ist, zeigt die Tatsache, dass es in Deutschland bereits

⁹ Als Bruttostromverbrauch wird der gesamte Stromverbrauch eines Landes (auch den Eigenverbrauch der Kraftwerke und Netzverluste) unter Berücksichtigung der Im- und Exporte bezeichnet (energie.de 2010).

69 100%-Erneuerbare-Energie-Regionen¹⁰ sowie 36 Starterregionen¹¹ gibt (deENet 2010, S.2-5). Dadurch wird deutlich, dass gerade regionale Initiativen die nötigen Schritte zum Klimaschutz und zum Ausbau der erneuerbaren Energien umsetzen können (Kompetenznetzwerk Dezentrale Energietechnologien 2010).

Auf diese Weise kann auf die verschiedenen Gegebenheiten, die sowohl vor- als auch nachteiliger Art sein können, in unterschiedlichen Regionen bestmöglich eingegangen und das Potential optimal genutzt werden. Es zeigt sich, dass ein dezentrales Konzept einen wichtigen und effizienten Beitrag zum Klimaschutz leisten kann (Töpfer in Pressemitteilung Juwi/ GenoPortal 2009).

Entsprechend geht auch der VDE in seiner Studie zur dezentralen Energieversorgung 2020 davon aus, dass die dezentrale Versorgungsstruktur unumgänglich ist, um in Zukunft in Deutschland eine zuverlässige, nachhaltige, umweltverträgliche und preisgünstige Energieversorgung zu gewährleisten. Zwar werden nach dieser Studie auch im Jahr 2020, wie bisher, traditionelle Kraftwerke an der Energieproduktion beteiligt sein, jedoch werden dezentrale Erzeugungssysteme für die optimale Einbindung von Energie aus Solar, Wind oder Biogas zunehmend an Bedeutung gewinnen. Als einen großen Vorteil der verbrauchernah erzeugten Energie benennen die VDE-Experten die geringeren Netzverluste (VDE 2007). In dezentralen Versorgungs- und Nutzungskonzepten, die eine Umwandlung vor Ort ermöglichen, kann der Transportverlust minimiert und sowohl Strom als auch Wärme bereitgestellt werden. Der mit einer dezentralen Energieversorgung einhergehende Ausbau der erneuerbaren Energien ist darüber hinaus ein wichtiger Wirtschaftsfaktor vor Ort. Durch die Stärkung regionaler Kreisläufe wird eine regionale Wertschöpfung erzeugt und dadurch Aufträge

¹⁰ 100%-EE-Regionen sind Regionen, die ihre Energieversorgung mittel- bis langfristig zu 100% auf Erneuerbare Energien umstellen wollen und sich bereits aktiv im Umstellungsprozess auf EE befinden.

Eine 100%-Erneuerbare-Energie-Idealregion deckt ihren Energiebedarf vollständig aus EE, wirtschaftet ausgesprochen energieeffizient und nutzt ihre regionalen Potenziale nachhaltig und akzeptiert. Somit ist die Energiebereitstellung umweltverträglich, nachhaltig, sicher und trägt zur regionalen Wertschöpfung bei (deENet 04.2010).

¹¹ Starterregionen sind Kommunen, Landkreise und Regionalverbände, die zwar eine anerkanntswerte Entwicklung in Richtung eines nachhaltigen regionalen Energiesystems aufweisen, deren Ziele und Aktivitäten auf dem Weg zu einem nachhaltigen erneuerbaren Energiesystem allerdings noch ausgebaut werden müssen (deENet 04.2010).

für das lokale Handwerk gesichert, neue Arbeitsplätze geschaffen und nicht zuletzt den Kommunen zusätzliche Einnahmen, z. B. aus den Gewerbesteuer-einnahmen¹², beschert. Außerdem können bei Eigenbetrieb von Windenergieanlagen (WEA) Gewinne für die Gemeinde oder lokale Stadtwerke erzielt werden (Kompetenznetzwerk Dezentrale Energietechnologien 2010).

Es gibt zahlreiche weitere Gründe für Kommunen, eine dezentrale Energieversorgungsstruktur durch erneuerbare Energien voranzutreiben. Die größere Unabhängigkeit von den großen Energieversorgern und den zwangsläufig steigenden Preisen von Erdöl und Erdgas ist dabei besonders hervorzuheben, da die Ausgaben für Energie in der Region bleiben. Auch der Imagegewinn für eine „grüne“ Region ist nicht von der Hand zu weisen (Kompetenznetzwerk Dezentrale Energietechnologien 2010). Durch die Planungshoheit der Kommunen und Kreise ergibt sich für diese ein neuer Gestaltungsfaktor für das nationale Energiesystem, da ihnen in Zukunft eine besondere Bedeutung bei der Gestaltung von Energiekonzepten zukommen wird. So werden sie beim Ausbau der erneuerbaren Energien zu den zentralen Akteuren gehören (UBA 2010, S.168,169).

Aus dieser Motivation heraus wird ein dezentraler Versorgungsansatz von immer mehr Kommunen aufgegriffen und in entsprechenden Konzepten für eine nachhaltige Regionalentwicklung konkretisiert.

Die damit einhergehende Umstrukturierung stellt jedoch auch neue Anforderungen an unser Versorgungssystem. In der Vergangenheit hatten die Stromnetze nur die Aufgabe, die zentral erzeugte Energie an die Endverbraucher zu liefern. Durch die Energieerzeugung direkt vor Ort steigt die Zahl der lokalen Einspeiser. Hinzu kommt, dass die Energieeinspeisung aus den EE stark fluktuiert, da diese Fluktuation schwer zu kalkulieren ist, die Stromnetze aber nicht überlastet werden dürfen¹³ ist die Regelung der Einspeisung sehr schwierig. Um der komplizierten Regelbarkeit und der neuen Netzinfrastruktur besser begegnen zu

¹² Z. B. gehen 70% der Gewerbesteuer-einnahmen aus Windenergie an den Standort des Windparks, nur 30% an den Geschäftssitz des Betreibers (Bundesverband Windenergie e.V).

¹³ Die Frequenz der Netze liegt bei 50 Hz und darf maximal zwischen 49,8 und 50,2 Hz schwanken, da die Netze sonst Schaden nehmen könnten (50Hertz Transmission GmbH).

können, müssen intelligente, so genannte "Smart Grid"-Stromnetze¹⁴ ausgebaut werden (deENet).

Um die erfolgreiche Umsetzung eines Entwicklungsprozesses, hin zu vollständiger dezentraler Energieversorgung durch erneuerbare Energien, zu gewährleisten, müssen unter anderem die regionalen Potentiale zur nachhaltigen Nutzung erneuerbarer Energieträger analysiert werden (Kompetenznetzwerk Dezentrale Energietechnologien 2010). Dies soll durch diese Arbeit im Bezug auf Windenergie geschehen.

Das hierbei zugrunde gelegte Leitbild für die dezentrale Versorgungsstruktur ist der „CO₂-neutrale und energieautarke Landkreis“. So wird neben der Umsetzung klimapolitisch wichtiger Schritte durch den Ausbau der erneuerbaren Energien die Region durch Innovation gestärkt und eine nachhaltige sowie langfristig gesicherte Energieversorgung vorangetrieben (Bundesverband Windenergie e.V).

Dies ist das langfristig definierte Ziel des Entwicklungsprozesses, unter dem die Bewertung und Erhebung von Entwicklungspotentialen zur dezentralen Energieversorgung erfolgen soll. Unter diesem Aspekt sollen die Möglichkeiten, die der Landkreis zur Umsetzung eines solchen Ziels bietet, mit Weitblick erfolgen. Daher soll sich auch die Erhebung der Windenergiepotentiale nicht auf die bestehenden Vorrangflächen im Regionalplan beschränken (Kompetenznetzwerk Dezentrale Energietechnologien 2010), sondern unter Berücksichtigung der Neugestaltung des Regionalplans 2013 neue Vorranggebiete finden.

2.4 Rechtliche Rahmenbedingungen für den Bau von Windenergieanlagen

Die Förderung und Nutzung erneuerbarer Energiequellen und damit auch der Windenergie ist durch die Agenda 21 und den Klimaschutzbericht Niedersachsen zu einem wichtigen umwelt- und energiepolitischen Ziel geworden (Thom

¹⁴ Stromnetze, die durch ein abgestimmtes Management eine zeitnahe und bidirektionale Kommunikation zwischen Netzkomponenten, Erzeugern, Speichern und Verbrauchern zulassen und dadurch einen energie- und kosteneffizienten Systembetrieb für zukünftige Anforderungen ermöglichen (e-control.at).

2000, S.141). So ist die verstärkte Nutzung von regenerativen Energiequellen auch im Niedersächsischen Landes-Raumordnungsprogramm (LROP) von 1994 als wesentliches und verbindliches Ziel bestimmt worden (Thom 2000, S.141). Des Weiteren möchte die Landesregierung, dass die dezentralen Versorgungsmöglichkeiten ausgeschöpft werden (LROP 1994, S.31, C 3.5).

Seit einer Änderung im Baugesetzbuch von 1997 sind nach § 35 Abs.1 Nr. 5 BauGB Vorhaben im Außenbereich privilegiert, wenn sie der Erforschung, Entwicklung oder Nutzung der Windenergie dienen. Damit sind WEA grundsätzlich zulässig und sogar bevorrechtigt, wenn öffentliche Belange nicht entgegenstehen (§ 35 Abs.1 Nr. 1 BauGB) und sie der öffentlichen Stromversorgung dienen¹⁵ (Gatz 2009, S.737) (§ 35 Abs.1 Nr. 3 BauGB).

Durch diese Privilegierung wird eine räumliche Steuerung von Einzelanlagen und Windparks notwendig (Thom 2000 S.141). Aus diesem Grund (der räumlichen Steuerung) wurde dem § 35 der Abs. 3 ein so genannter Planvorbehalt hinzugefügt. Dieser besagt, dass öffentliche Belange beeinträchtigt sind, wenn im Flächennutzungsplan oder als Ziel der regionalen Raumordnung im RROP andere Flächen für die Windenergienutzung ausgeschrieben sind. So steht den Gemeinden und der Regionalplanung durch die planerische Steuerung ein Instrument zur Verfügung, um Standortzuweisungen durchzuführen und im übrigen Planungsraum den Bau von an sich privilegierten Anlagen zu verhindern. Damit sind Gemeinden und Raumordnung zur Erstellung eines Konzeptes für Konzentrationszonen¹⁶ für WEA angehalten, sofern sie denn einen Einfluss auf die Standortwahl haben wollen.

Damit es nicht zu einer Verhinderungsplanung kommt, fordert das Bundesverwaltungsgericht jedoch die Entwicklung eines schlüssigen Gesamtkonzeptes (Gatz 2009, S.738, 739 und BVerwG, Urteil vom 17.12.2002). Der Windenergienutzung muss in substantieller Weise Raum geschaffen werden und ausge-

¹⁵ D.h. wenn mehr als 50% der erzeugten Energie ins Netz eingespeist werden.

¹⁶ Sinn von Konzentrationszonen ist es, WEA zu bündeln und den übrigen Außenbereich freizuhalten. Diese Konzentrationszonen müssen sich aber im Sinne des Gesetzes zur Aufnahme mindestens eines Windparks eignen. Dafür gibt es zwar keine Definition, jedoch hat das BVerwG entschieden, dass ein Windpark die Existenz von mind. 3 WEA voraussetzt.

schriebene Konzentrationszonen müssen geeignete Standorte sein, die dem Anspruch der sonstigen Privilegierung gerecht werden (Gatz 2009, S.738).

So müssen die Planer abwägen, welche Kriterien und öffentliche Belange einer Ausweisung der Potentialflächen als Konzentrationszonen entgegenstehen könnten. Dabei spielen z. B. die Rentabilität oder auch die Schutzwürdigkeit eines Gebietes (wie z. B. bei Wasserschutzgebieten) eine Rolle (Gatz 2009, S.739).

Hierzu müssen im Abwägungsverfahren „harte“ und „weiche“ Ausschlusskriterien¹⁷ festgelegt werden. Harte Ausschlusskriterien sind alle Flächen im Außenbereich, die sich aus tatsächlichen Gründen (z. B. zu geringe Windhöflichkeit) oder aus rechtlichen Gründen (z. B. FFH-Gebiete oder militärische Schutzbereiche) nicht für die Windenergienutzung eignen. Nach Abzug dieser Flächen erhält man Flächen, die für die Windenergienutzung grundsätzlich in Betracht kommen, so genannten Potentialflächen (Gatz 2009 S.738).

Hier gelten u. A. nationales und europäisches Naturschutzrecht als öffentliche Belange, die dem Bau von WEA entgegenstehen können, darunter fällt z. B. der Gebietsschutz. Dabei muss nach § 34 Abs. 1 und 2 BNatSchG die Verträglichkeit eines Projektes mit den Erhaltungszielen des FFH-Gebietes oder des europäischen Vogelschutzgebietes überprüft werden. In Vogelschutzgebieten und FFH-Gebieten zum Schutz von Fledermäusen ist der Bau von WEA also kaum zu realisieren.

Weiche Ausschlusskriterien hingegen sind Flächen die aus städtebaulichen und gestalterischen Gründen nicht zur Windenergienutzung zur Verfügung gestellt werden sollen¹⁸. Des Weiteren müssen zum Schutz der Bewohner vor Immissionen, die durch die Windenergienutzung entstehen¹⁹, vorgegebene Abstände zu Siedlungsgebieten eingehalten werden (Gatz 2009, S.739). Dabei ist vor allem § 3 Abs. 1 BImSchG heranzuziehen, dieser bestimmt, was nach BImSchG schädliche Umwelteinflüsse, also Immissionen in diesem Sinne sind. Im Gesetz finden sich jedoch keine eindeutigen Regelungen, wie mit diesen Immissionen umzugehen ist und wie „erhebliche Nachteile“ und eine „erhebliche Belästigung“

¹⁷ Definition siehe auch BVerwG Urteil vom 15.09.2009

¹⁸ z. B. Erholungsgebiete oder Siedlungserweiterungsflächen

¹⁹ Vor allem Schall und Schattenwurf

definiert sind. Der Gesetzgeber hat hierbei bislang noch keine klare Regelung getroffen, um den Behörden Handlungsspielraum zu lassen. Zum Umgang mit dieser Vorschrift kann man z. B. das Urteil des OVG Lüneburg vom 24.06.2004 heranziehen. Dieses schlägt vor, die Erfahrungswerte so zu wählen, dass man vom planerischen Standpunkt aus *„auf der sicheren Seite“* liegt (Gatz 2009, S.739).

Durch die Raumordnung lassen sich WEA aber nur steuern, wenn es sich um raumbedeutsame Anlagen handelt. WEA sind in der Regel raumbedeutsam, wenn sie eine Gesamthöhe von 100 m oder eine Nabenhöhe von 50 m übersteigen oder mehr als 5 Anlagen in einem Park stehen (Thom 2000, S.148 und Gatz 2009, S.740). Jedoch ist der Planungsträger nicht daran gebunden, entscheidend ist das Planungsziel, z. B. die „Verspargelung“ der Landschaft durch die Ausweisung von Konzentrationszonen zu verhindern. So stellt die Raumbedeutsamkeit immer eine Einzelfallentscheidung dar, denn die Gerichte haben bisher keine verbindliche Angabe vorgenommen (Thom 2000, S.148). Im Sinne der Raumordnung kann also jede geplante Anlage als raumbedeutsam angesehen werden, wenn z. B. die Anlagenhöhe oberhalb der Baumkronen liegt und somit aus dem natürlichen Landschaftsbild hervortritt (Gatz 2009, S.740).

Um die gewünschten Rechtsfolgen des § 35 Abs. 3 Satz 3 herbeizuführen, müssen nach § 8 Abs. 7 Satz 1 ROG die Konzentrationszonen als Vorranggebiete²⁰ ausgeschrieben und dieses Vorranggebiet gleichzeitig nach § 8 Abs. 7 Satz 2 als Eignungsgebiet²¹ festlegt werden, damit die Errichtung von WEA außerhalb dieser Konzentrationszonen unzulässig wird (Siehe hierzu auch LROP 1994, S.32 C 3.5 Nr. 05²²).

„Um der grundsätzlichen Privilegierung von WEA begegnen zu können, ist also im Rahmen eines ganzheitlichen Abwägungsprozesses zu prüfen, ob deren

²⁰ Vorranggebiet: ein Gebiet, dem eine bestimmte Nutzung zugewiesen wird, die in diesem Bereich absoluten Vorrang hat. Potentielle anderweitige Nutzung in diesem Bereich ist nur gestattet, sofern sie mit der vorrangigen Bestimmung nicht im Widerspruch steht (Gatz 11.2009, S.66).

²¹ Eignungsgebiet: der Begriff beschreibt ein Gebiet, welches für bestimmte, nach § 35 BauGB raumbedeutsame Bauvorhaben geeignet ist und deren Bau an anderer Stelle im Planungsgebiet ausgeschlossen werden soll (Gatz 11.2009, S.67-71).

²² „Die Festlegung von Vorrangstandorten für Windenergienutzung kann mit dem Ausschluss dieser Nutzung an anderer Stelle im Planungsraum verbunden werden“.

Zulässigkeit öffentliche Belange entgegenstehen“ (Thom 2000, S.141). Dieses geschieht durch die Aufstellung eines RROP (Thom 2000, S.142).

Wenn Flächen, in denen der Bau von WEA öffentlichen Belangen entgegensteht, ausgegrenzt wurden, steht immer noch eine Vielzahl von Flächen zur Verfügung, deren Eignung weiter zu prüfen ist (Suchräume). „Im Sinne eines sparsamen Umgangs mit dem Boden und dessen optimaler Nutzung ist die Windhöffigkeit²³ ein entscheidendes Kriterium für die Bestimmung von Vorrangstandorten“ (Thom 2000, S.142). So sind im Rahmen des Abwägungsprozesses vor allem folgende Aspekte zu berücksichtigen:

1. Das Gebot der nachbarschaftlichen Rücksichtnahme und Rücksichtnahme auf das Orts- und Landschaftsbild (Gatz 11.2009, S.260)
2. Der Schutz der vielfältigen Erholungsfunktionen
3. Die Belange des Naturschutzes, des Umweltschutzes und der Landschaftspflege, welche alle im Abs. 3 des § 35 BauGB verankert sind
4. Die Erfüllung der windklimatologischen Bedingungen (Windhöffigkeit)

Notwendige Planungsschritte bei der Ermittlung von Eignungsgebieten sind also vor allem:

1. Die Ermittlung von Suchräumen für WEA (Abgrenzung von Ausschlussflächen, Berücksichtigung von Abstandsempfehlungen zu Ortslagen und Erholungsgebieten)
 2. Die Bewertung des Schutzgutes Natur sowie des Landschaftsbildes²⁴
 3. Die Windpotentialanalyse
 4. Raumordnerische Abwägung und Abstimmung von Nutzungsansprüchen²⁵
- (Thom 2000, S.142-144).

²³ Das Durchschnittliche Windaufkommen an einem bestimmten Standort (Duden 2010).

²⁴ Der Aspekt der Bewertung des Landschaftsbildes wird in der vorliegenden Arbeit außen vor gelassen, die Bewertung muss in einer Einzelfallprüfung der Gebiete stattfinden. Mögliche Vorgehensweise hierbei ist die Besichtigung der Gebiete, bei der die Empfindlichkeit des Landschaftsbildes in den gekennzeichneten Flächen gesondert begutachtet werden müsste. Dabei könnten die Flächen in verschiedenen Klassen eingeteilt werden. Z. B.: Hohe Empfindlichkeit des Landschaftsbildes = Tabubereich; Mittlere Empfindlichkeit = Abwägungsbereich; Geringe Empfindlichkeit = Eignungsbereiche für WEA (Thom 2000, S.143).

²⁵ Auch die Raumordnerische Abwägung und Abstimmung von Nutzungsansprüchen, kann in dieser Arbeit nicht durchgeführt werden. Beide Aspekte müssen von Fachleuten durchgeführt werden.

3. Durchführung der Planung

3.1 Abstandregelungen

Für die Festlegung von Abständen zwischen Vorranggebieten für WEA und bestimmten anderen Gebieten sollen im Folgenden die Abwägungsschritte erläutert werden. Dies geschieht lediglich für die wichtigsten Ausschlussgebiete. Da die Niedersächsische Bauordnung keine speziellen Abstandsvorschriften für WEA beinhaltet (Gatz 11.2009, S.170), beziehen sich die angewandten Abstände auf Rechtsurteile und Empfehlungen verschiedener Behörden, auf den Bundesverwaltungsrichter Dr. Gatz, den RROP Hannover und eigenen, begründeten Einschätzungen.

3.1.1 Wohn- und Siedlungsflächen

Im Bezug auf Wohn- und Siedlungsbereiche ergeben sich Tabubereiche für WEA, da diese durch Schattenwurf und Schallimmissionen negative Auswirkungen auf das menschliche Wohlbefinden haben können. Um eine negative Beeinträchtigung und nachbarschaftliche Konflikte zu vermeiden, werden Schutzabstände im Interesse des Immissionsschutzes eingehalten. Des Weiteren können durch die gewählten Schutzabstände Schäden durch Unfälle wie ein Umstürzen der Anlage, das Abbrechen einzelner Rotorteile oder Gefährdungen durch Eisschlag minimiert werden.

Das Bundesverwaltungsgericht hat in einem Urteil dazu festgelegt, dass ein immissionsschutzrechtliches Genehmigungsverfahren durchzuführen ist, sobald die für einen Windpark maßgebliche Zahl von drei Windenergieanlagen erreicht oder überschritten wird (Deutscher Bundestag 2005, S.1). Da in dieser Arbeit nach Konzentrationszonen gesucht wird, welche definitionsbedingt mindestens drei WEA aufnehmen müssen, ist dies zu berücksichtigen.

Um eventuelle Schatten- und Schalleffekte durch den Betrieb von WEA weitestgehend auszuschließen, wird sich an die allgemeine Empfehlung des Niedersächsischen (Nds.) Ministeriums für den Ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz gehalten, welche einen Abstand von 1000 m zu Gebieten mit Wohnbebauung vorsieht (vgl. Der Präsident Hannover, des

Nds. Landtages 2003, S.1; sowie die Umsetzung: Vgl. Nds. Ministerium für den ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz 2004, S.2). Für Dorf- und Mischgebiete gelten andere Regelungen (BauNVO), auch ist hier die erlaubte Schallimmission nach TA Lärm höher. Diese Regelung ist für Wohnnutzungen im Außenbereich anzuwenden. Auch im Außenbereich angesiedelte Einzelhäuser sind weniger schutzwürdig als reine Wohngebiete, da der Bauherr von einer Änderung der Bebauung ausgehen muss; trotzdem soll hier ein Mindestabstand die Sicherheit und die Minimierung negativer Beeinträchtigung gewährleisten. Der Mindestabstand wird auf 500 m festgelegt (Gatz 11.2009, S.92).

Vom Bundesverband Windenergie e.V. wird diese pauschale Abstandsregelung kritisiert, da mögliche Potentialflächen dadurch teilweise nur unzureichend genutzt werden können. Eine Festlegung der Abstände nur nach der TA Lärm sei ausreichend, außerdem müsse diese sowieso durchgeführt werden (Bundesverband Windenergie e.V. 2005). Die Begründung ist einleuchtend, da die vorliegende Arbeit aber den aktuellen Stand eines Planungsverfahrens widerspiegeln soll und es im Rahmen dieser Arbeit unmöglich ist, mit den Werten der TA Lärm zu arbeiten²⁶, richtet sie sich nach der Empfehlung des Landtags. Eine Prüfung nach BlmschG ist Grundlage für die Errichtung von WEA (IWR 2010), d.h. auch, dass die Richtwerte der TA Lärm bei jedem Bauverfahren im Einzelfall geprüft und eingehalten werden müssen (Landesumweltamt Essen 1998). Die Einhaltung der Richtwerte ist bei den getroffenen Abstandsregelungen der Fall, trotzdem sollen exemplarisch die Bestimmungen der TA Lärm aufgeführt werden (Siehe Tabelle 1), die in vielen Fällen zu geringeren aber ausreichenden Abständen führen würden. Im Rahmen einer solchen Standortprüfung könnten die Richtwerte dann geprüft und die Vorranggebiete ggf. erweitert werden. Somit würde sich das Windpotential letztendlich sogar noch vergrößern.

²⁶ Der Schallimmissionspegel wird von der Anzahl der Anlagen beeinflusst. Um die Anzahl der Anlagen bestimmen zu können, muss jedoch die zu beplanende Fläche feststehen, was eine Abstandsregelung voraussetzt.

Siedlungstyp	Immissionsrichtwerte	
	Tags	Nachts
Industriegebiet	70 dB	70 dB
Gewerbegebiet	65 dB	50 dB
Kerngebiet, Dorfgebiet und Mischgebiet	60 dB	45 dB
Allgm. Wohngebiet und Kleinsiedlungsgebiet	55 dB	40 dB
Reines Wohngebiet	50 dB	35 dB
Kurgebiet, Krankenhäuser und Pflegeanstalten	45dB	35 dB

Tabelle 1: Immissionsrichtwerte der TA Lärm nach Siedlungstypen (Tabelle mit Excel erstellt; Quelle: BWE 2005)

3.1.2 Natur, Landschaft und Erholung

Bei der Planung für WEA-Vorranggebiete sind die Belange des Natur- und Landschaftsschutzes zu berücksichtigen, um eine Beeinträchtigung dieser zu vermeiden.

Waldgebiete sind dabei aus verschiedenen Gründen auszuschließen. Zum einen ist die Errichtung von WEA in Waldgebieten immer mit einer Rodung verbunden, wodurch massiv in den Lebensraum Wald eingegriffen wird. Zum anderen ist die Gefahr von Waldbränden durch technische Defekte ein unkalkulierbares Risiko.

Des Weiteren ist durch die Errichtung von WEA innerhalb von Waldgebieten, die ungestörte Entwicklung von Waldlebensgemeinschaften nicht gewährleistet. Um dies zu berücksichtigen, gelten in dieser Arbeit auch Waldgebiete als Ausschlussgebiete und es wird in dieser Arbeit der Abstandsempfehlung des Nds. Landkreistags (Niedersächsischer Landkreistag 2007, S.9-11) gefolgt und ein Radius von 200 m um Waldgebiete herum als Ausschlussfläche festgelegt.²⁷

Die durch das Niedersächsische, das Bundesweite und das Europäische Naturschutzgesetz als Schutzgebiete festgelegten Flächen sowie Fledermaus- und

²⁷ Dies kann auch durchaus anders gesehen werden, andere Bundesländer haben dazu andere Vorgaben, in Schleswig-Holstein werden z. B. relativ häufig WEA in Waldgebieten gebaut.

Vogelschutzgebiete (z. B. Natura 2000²⁸), FFH-Gebiete und Landschaftsschutzgebiete werden ebenfalls als Tabuzonen gewertet und mit entsprechenden Abständen belegt. Auch hierbei werden die Abstandsempfehlungen des Nds. Landkreistages eingehalten. Der Grund des Ausschlusses besteht in der besonderen Schutzwürdigkeit dieser Gebiete, die sich aus deren Funktion heraus ergibt, z. B. der besonderen Eigenschaft, die Landschaft sowie deren Flora und Fauna zu erhalten. Dies wäre bei dem Bau einer WEA nicht mehr gegeben. Potentielle Nutzungskonflikte zwischen Natur und Landschaft einerseits und WEA andererseits, sollen auf diese Weise ausgeschlossen werden. Auch Vorranggebiete für Natur, Landschaft und Erholung sind aufgrund ihrer besonderen Bedeutung für die Erholung, der Berücksichtigung der Vielfalt und dem Erhalt der Landschaft auszuschließen. Für diese Gebiete sind laut der Empfehlung des Landkreistages Mindestabstände von 200 m, im Einzelfall aber auch weit aus größere Abstände erforderlich. Da diese Arbeit nicht auf eventuelle Besonderheiten eingehen kann, ist hierbei im Einzelfall eine erneute Prüfung notwendig.

3.1.3 Verkehr und Elektrizität

Die Kreis-, Landes- und Bundesstraßen sowie Bahnlinien sollten als Verkehrsverbindungen des Landkreises nicht unterbrochen oder durch WEA beeinflusst werden. Um eine Gefahr für den Verkehr, z. B. durch ein Kippen der Anlage oder Eiswurf zu vermeiden und eine Beeinträchtigung durch WEA auszuschließen, wird ein Mindestabstand von 150 m festgelegt. Auch der Abstand zu Hochspannungsleitungen beträgt 150 m, um eine Unfallgefahr durch ein Umkippen oder sonstige Beschädigungen durch die WEA weitestgehend auszuschließen (vgl. hierzu RROP Hannover 2005).

²⁸ Netz besonderer Schutzgebiete innerhalb der EU.

3.1.4 Sonstiges

An Gewässern I. Ordnung gilt in Brandenburg ein Bauverbot für WEA von 50 m zur Uferlinie (BbgNatSchG §48 Abs. 1), dies ist aus Naturschutz-, aber auch Bausicherheitsgründen sinnvoll und findet deshalb auch hier Anwendung. Außerdem gilt ein Bauverbot an Fließgewässern innerhalb von 5 m zur Uferlinie (BauGB Art. 4a Abs. 3). Als weitere Tabuzone gelten Überschwemmungsgebiete.

Gebiete wie Parkplätze, Deponien, Umspannwerke und Friedhöfe wurden ebenfalls berücksichtigt und gepuffert, jedoch nicht gesondert in die Tabelle mit aufgenommen.

Alle 81 Ausschlussgebiete und die dazugehörigen Pufferzonen liegen der Bachelorarbeit in digitaler Form bei.

Schutzgüter/ Ausschlussgebiete	Schutzabstände
Layer 1: Siedlung, Gewerbe und Erholung	
Reine Wohngebiete	1000 m
Allgemeine Wohnbauflächen	1000 m
Kleinsiedlungsgebiete	1000 m
Dorfgebiete	500 m
Kerngebiete	500 m
Besondere Wohngebiete	500 m
Mischgebiete	500 m
Bauflächen mit gemischter Nutzung	500 m
Einzelhandelsgebiete, Gewerbegebiete, Industriegebiete	250 m
Flächen für Gemeindebedarf	200 m
Freizeit- und Erholungsgebiete	200 m
Grünanlagen und Parks	200 m
Campingplätze und Ferienwohnungen	500 m
Layer 2: Landschaft und Natur	
Gastvogellebensräume mit internationaler Bedeutung	1000 m
Europäische Vogelschutzgebiete (Natura 2000)	1000 m
Feuchtgrünland mit internationaler Bedeutung	1000 m
Vogelbrutgebiete nationaler, landesweiter, regionaler und lokaler Bedeutung	500 m
Gastvogellebensräume nationaler, landesweiter, regionaler und lokaler Bedeutung	500 m
FFH-Gebiete (Natura 2000)	500 m
Sondergebiete für Natur	500 m
Allgemeine Schutzgebiete für Natur und Landschaft	200 m
Biotope und Schutzgebiete für wertvolle Fauna	200 m
Vorranggebiete für Natur und Landschaft	200 m
Landschaftsschutzgebiete	200 m
Naturschutzgebiete	200 m
Waldflächen	200 m
Layer 3: Verkehr und Versorgung	
Flugplatz	1000 m
Bundes-, Landes-, Kreisstraßen	150 m (Kipphöhe)
Bahnlinien	150 m (Kipphöhe)
Hochspannungsleitungen	150 m (Kipphöhe)
Kläranlagen, Wasserkraftwerke, Biogasanlagen	150 m (Kipphöhe)
Versorgungsgebiete Post, Elektrizität, Abwasser	150 m (Kipphöhe)
Layer 4: Sonstiges	
Gewässer 1. Ordnung	150 m
Abgrabungsflächen für Bodenschätze	30 m
Flüsse, Bäche, Stauseen, Teiche	5 m
Überschwemmungsgebiete	Restriktionsbereich
Militärische Anlagen (Kategorie Sperrgebiet RROP)	Restriktionsbereich

Tabelle 2: Ausschlussgebiete und Schutzabstände

3.2. Erstellung der Potentialflächen

Um Potentialflächen nach den erläuterten Kriterien festzulegen, müssen Freiflächen ermittelt werden, die sich außerhalb harter oder weicher Restriktionen befinden. Hierzu werden alle Flächen, welche die Kriterien einer „harten“ oder „weichen“ Ausschlussfläche erfüllen, erfasst und in digitaler Form in ein GIS Programm eingepflegt. Im Rahmen dieser Arbeit wurden die digitalen Daten als Shapefiles²⁹ vom Fachdienst Bauen des Landkreises Lüneburg sowie dem Niedersächsischen Ministerium für Umwelt und Klimaschutz zur Verfügung gestellt. Es wurde das Programm ArcGIS der Firma ESRI verwendet.

Die vorliegenden Daten (feature classes) müssen nun nach den einzelnen, zuvor festgelegten Kriterien, wie z. B. Vogelschutzgebiete von internationaler Bedeutung, aus den Shapefiles extrahiert und daraus neue, einzelne Layer erstellt werden. Nur so können für unterschiedliche Ausschlussgebiete auch unterschiedlich große Pufferzonen bestimmt werden. Alle Ausschlussgebiete beruhen auf den Daten des Landkreises bzw. des Niedersächsischen Ministeriums für Umwelt und Klimaschutz, welches auf seiner Homepage (Niedersächsischen Ministeriums für Umwelt und Klimaschutz 2010), Shapefiles des Landes Niedersachsen für Natur und Landschaft zur Verfügung stellt. Lediglich das Ausschlussgebiet „Waldflächen“ wurde auf Basis aktueller topographischer Karten im Maßstab 1:50000, welche von der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung³⁰ zur Verfügung gestellt wurden, manuell digitalisiert. Anschließend wurden die einzelnen Layer nach obenstehenden Kriterien (Tabelle 1) mit Schutzabständen, sog. Puffern, belegt.

Als Ergebnis erhält man alle Flächen, die potentiell für die Windenergienutzung geeignet sind.

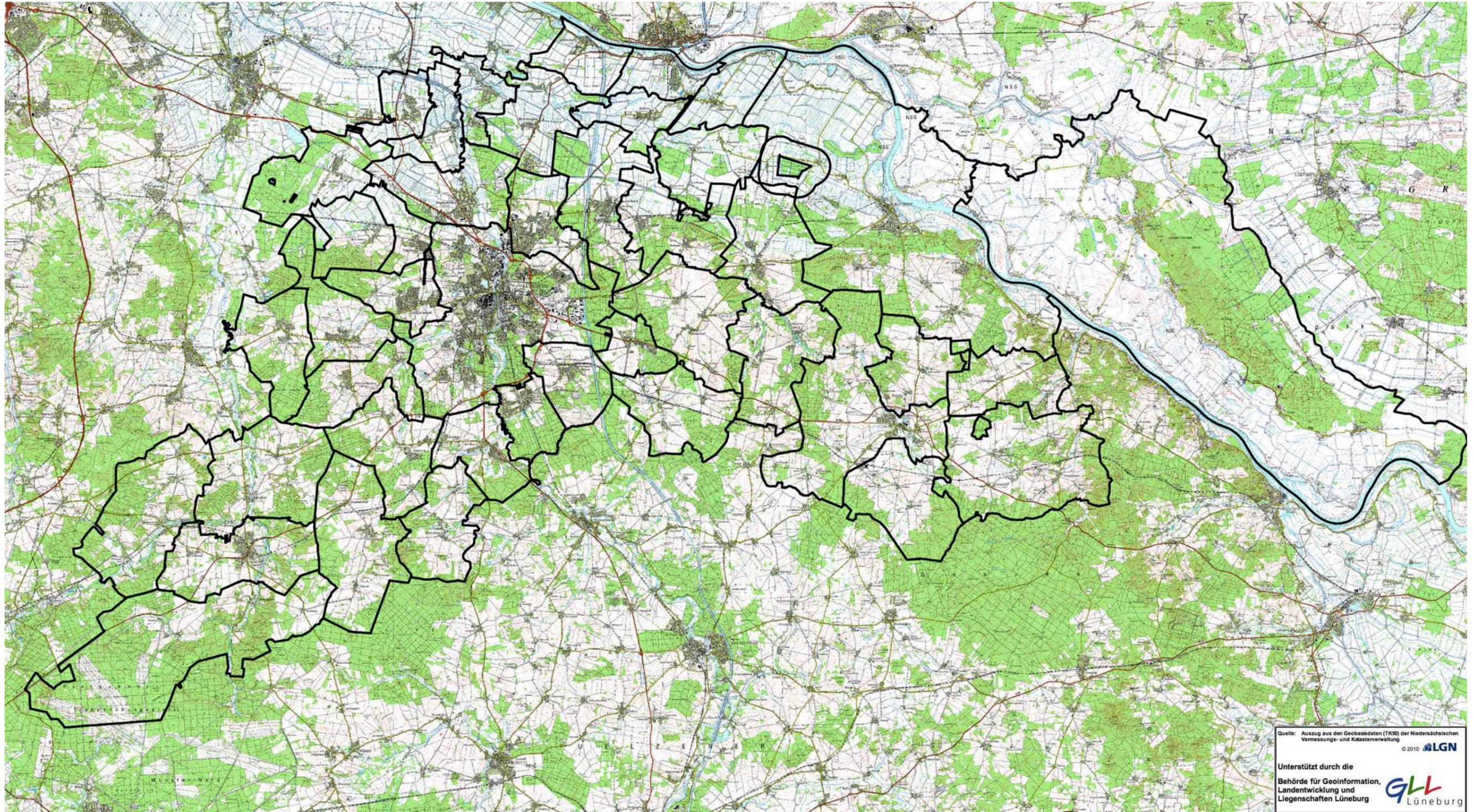
Zwischenergebnis:

Es wurden im gesamten Landkreis verteilt insgesamt 48 Potentialflächen für die Windenergienutzung identifiziert.

²⁹ Format für Geodaten.

³⁰ Behörde für Geoinformation, Landentwicklung und Liegenschaften Lüneburg

Abbildung 1: TK mit den Grenzen des Landkreis Lüneburg und den Gemeindegrenzen



Quelle: Auszug aus den Geobasisdaten (TK50) der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung
© 2010 LGN

Unterstützt durch die
Behörde für Geoinformation,
Landentwicklung und
Liegenschaften Lüneburg



Abbildung 2: Layer 1 Siedlung, Gewerbe und Erholung

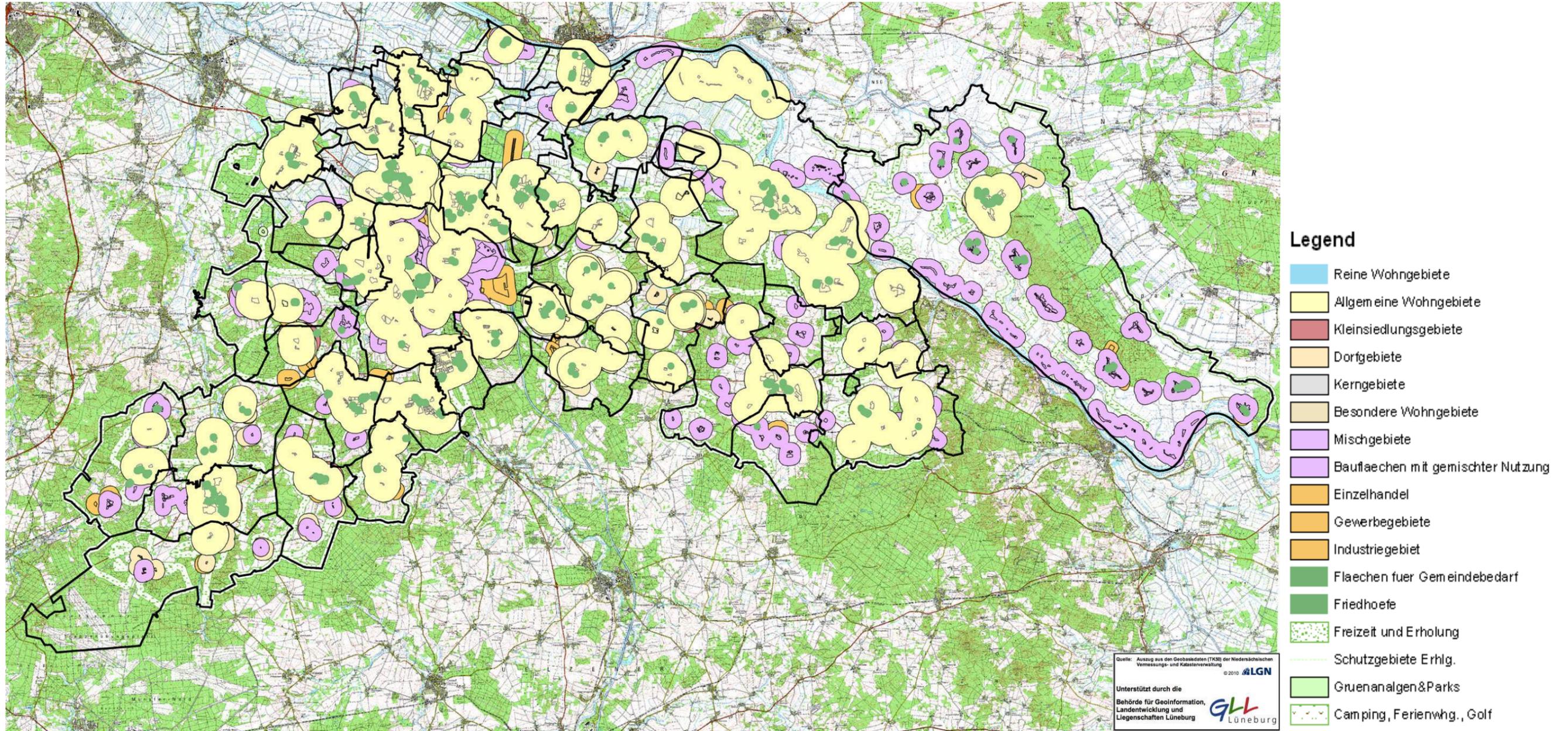


Abbildung 3: Layer 2 Landschaft und Natur

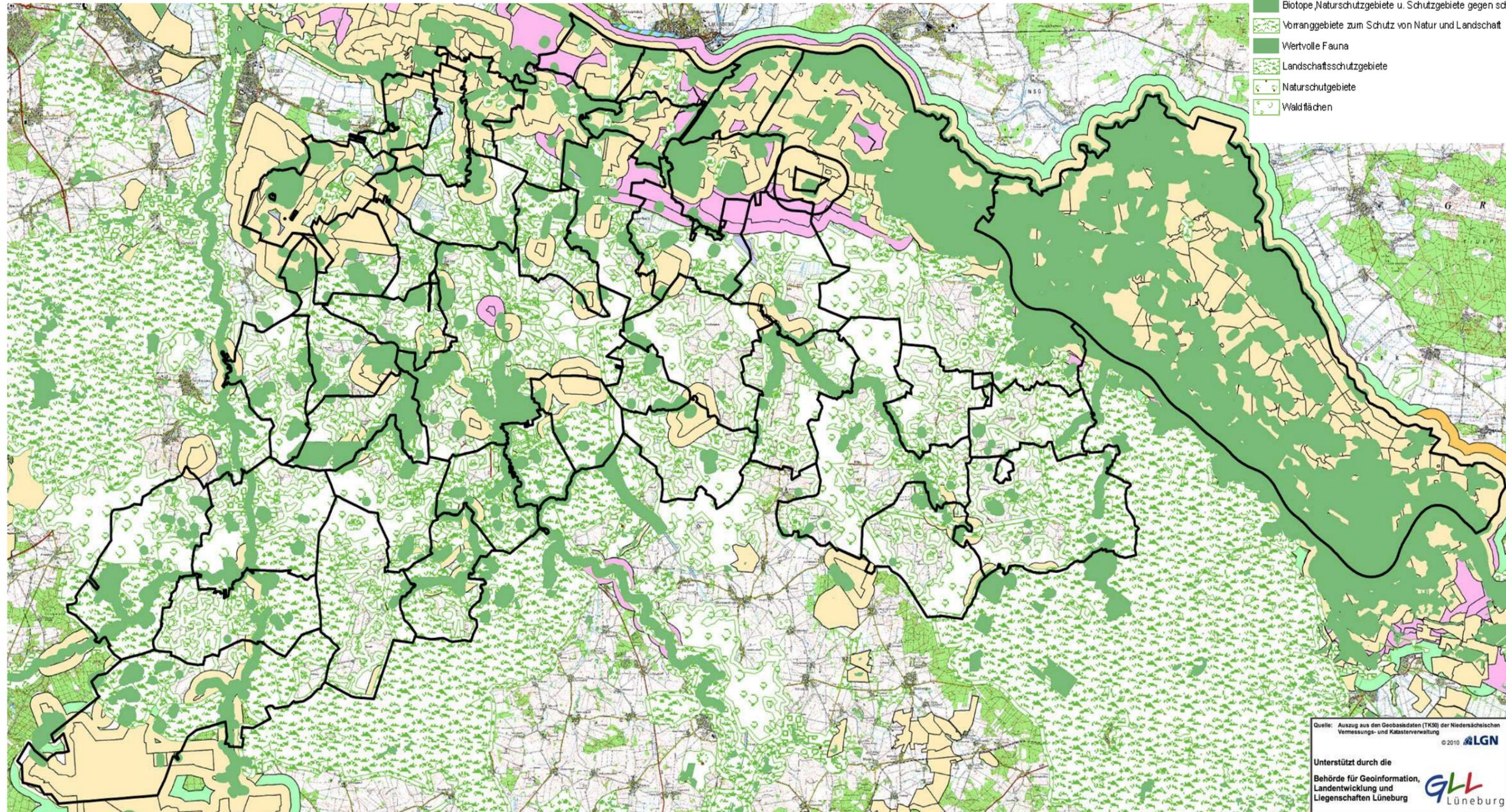


Abbildung 4: Layer 3 Verkehr und Versorgung

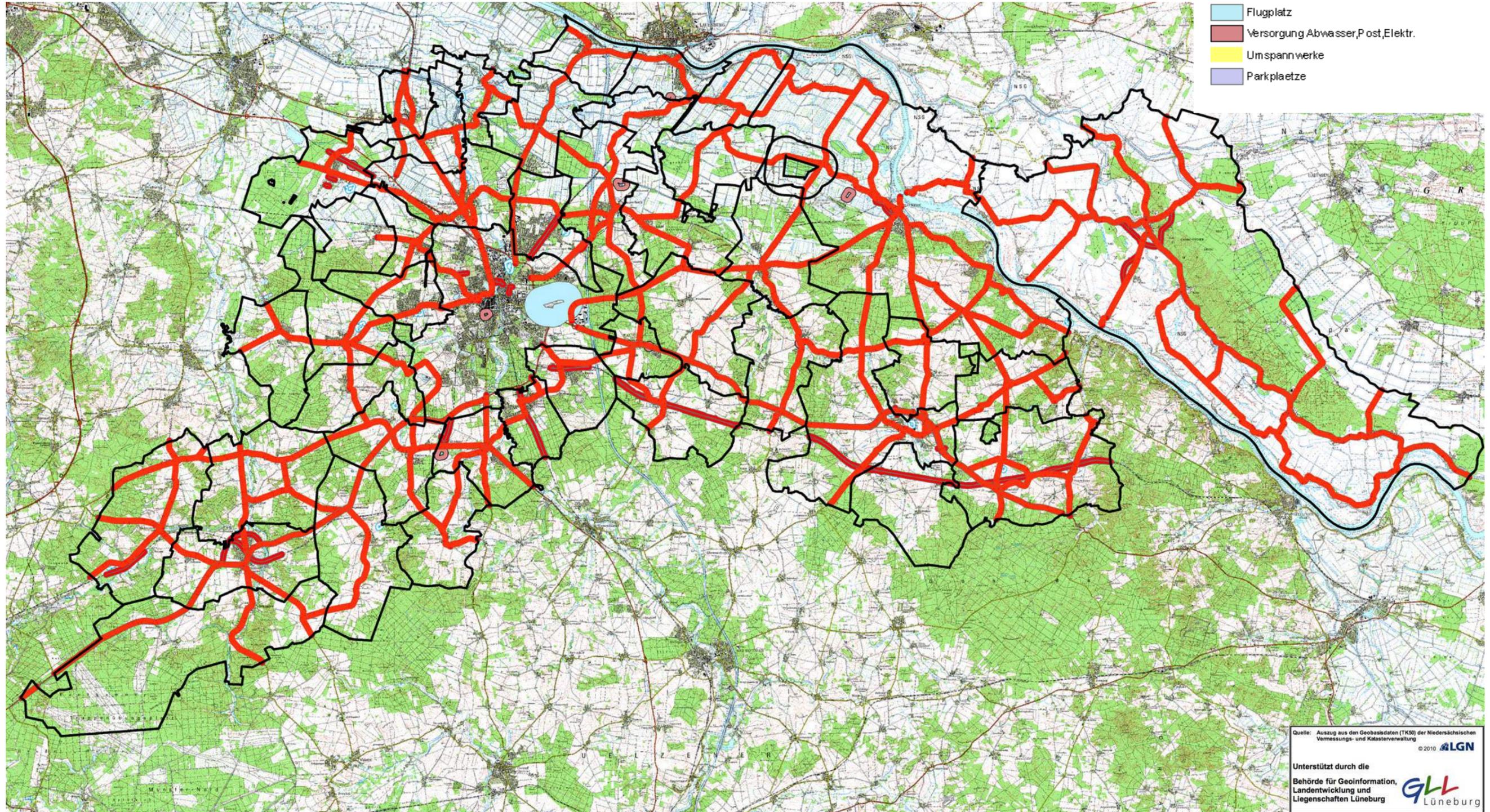


Abbildung 5: Layer 4 Sonstiges

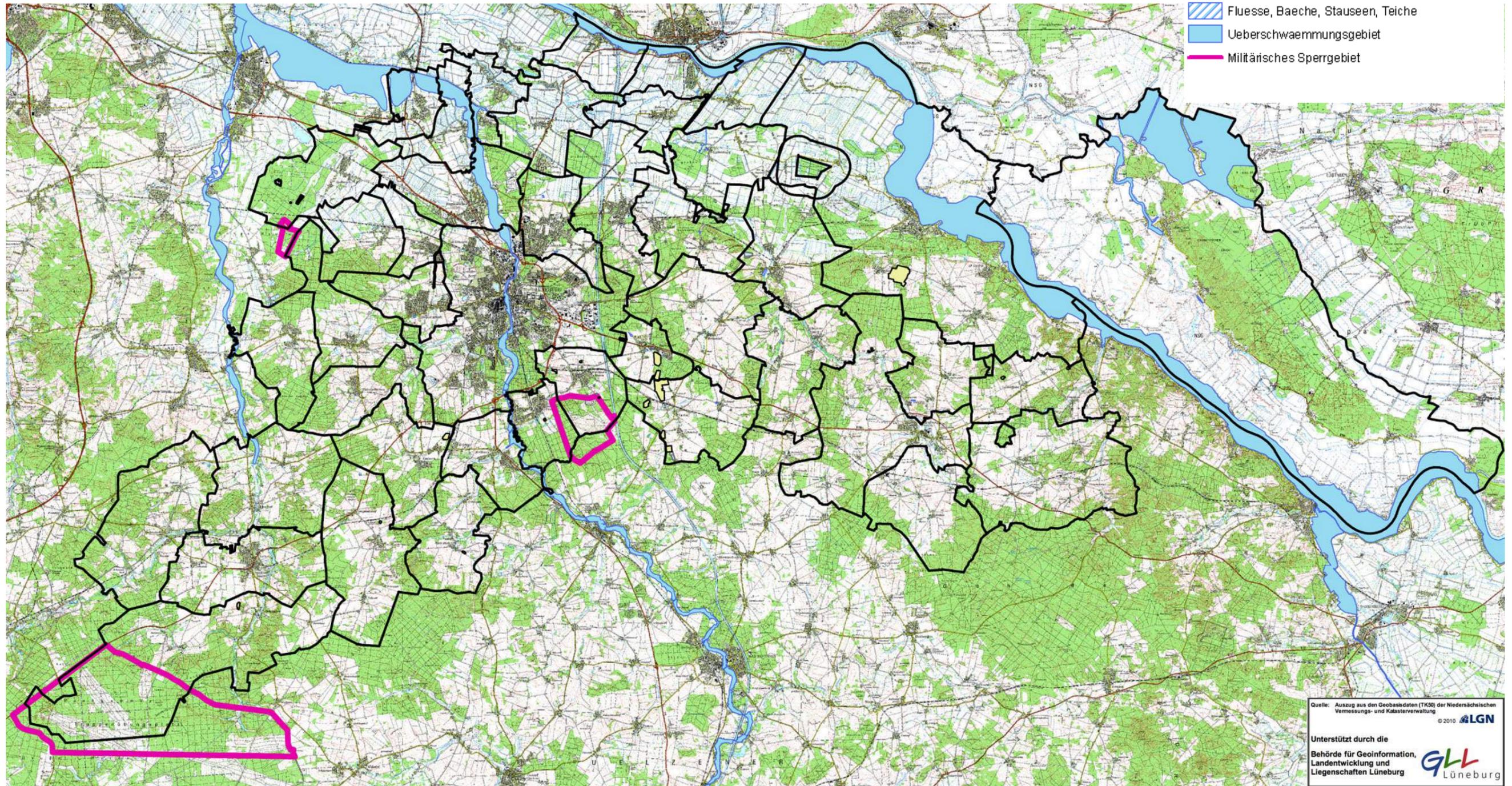
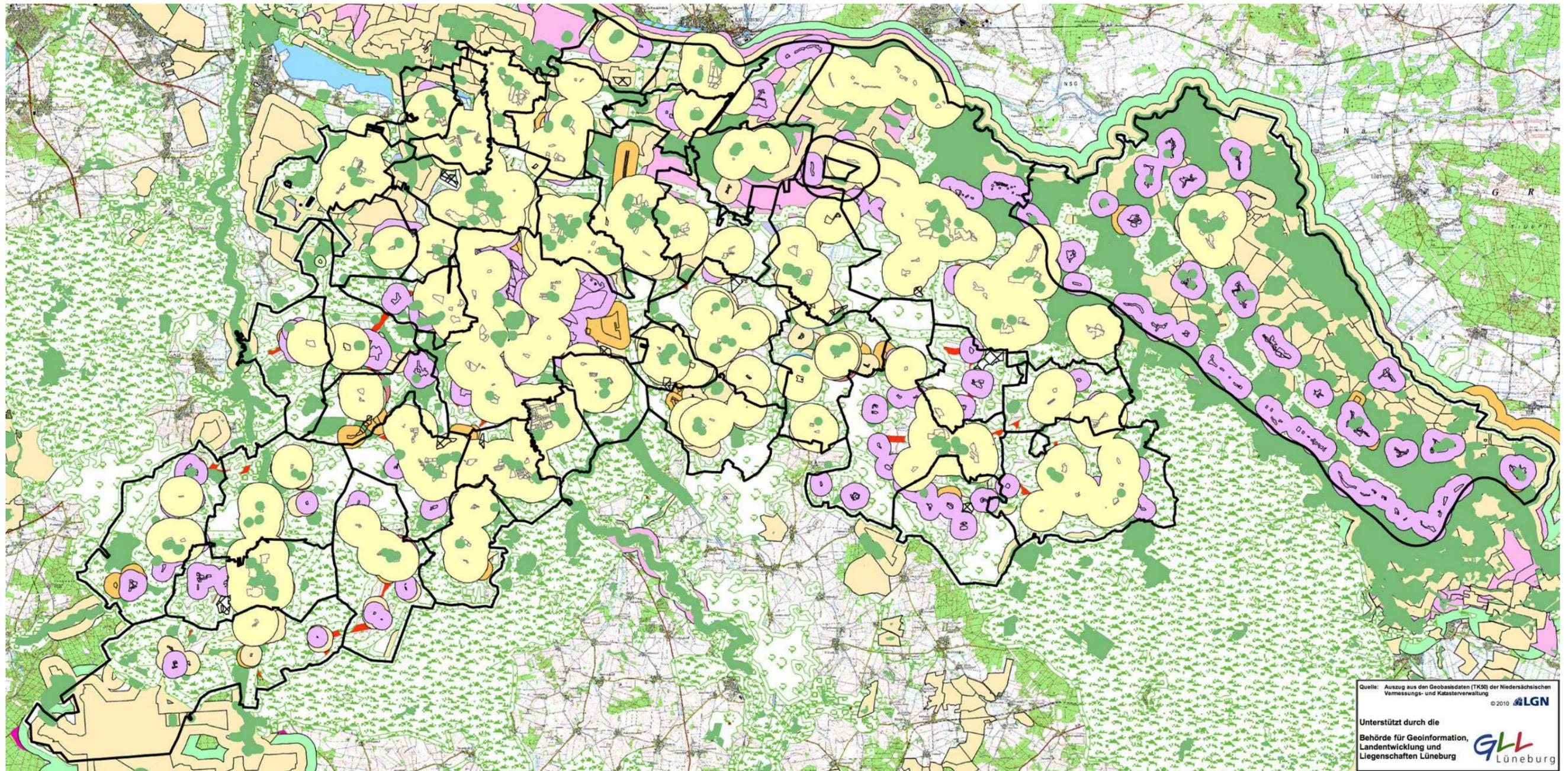
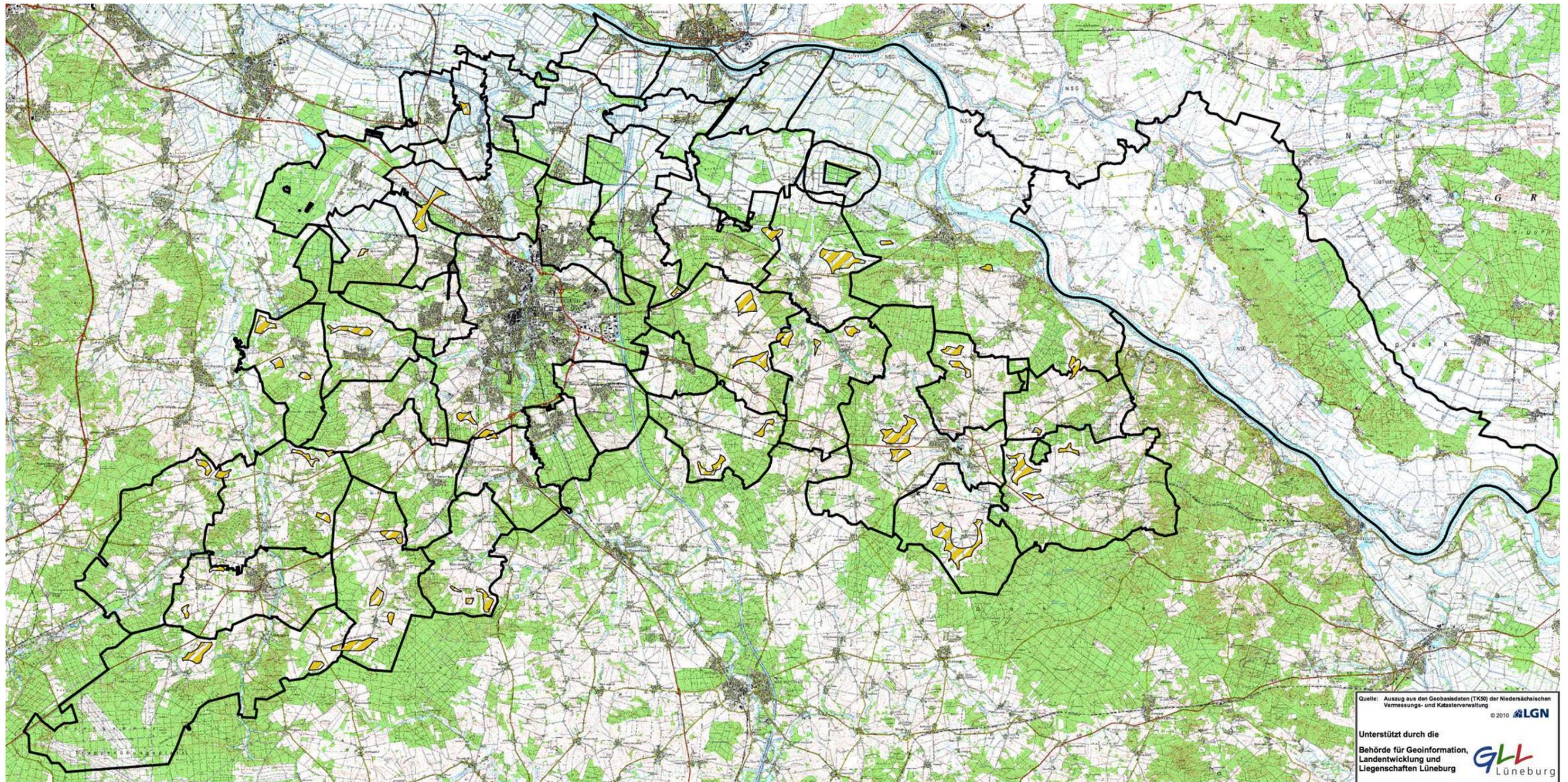


Abbildung 6: Alle Ausschlussgebiete



Legende siehe Layer 1 bis 4 (Abb. 2 bis 5)

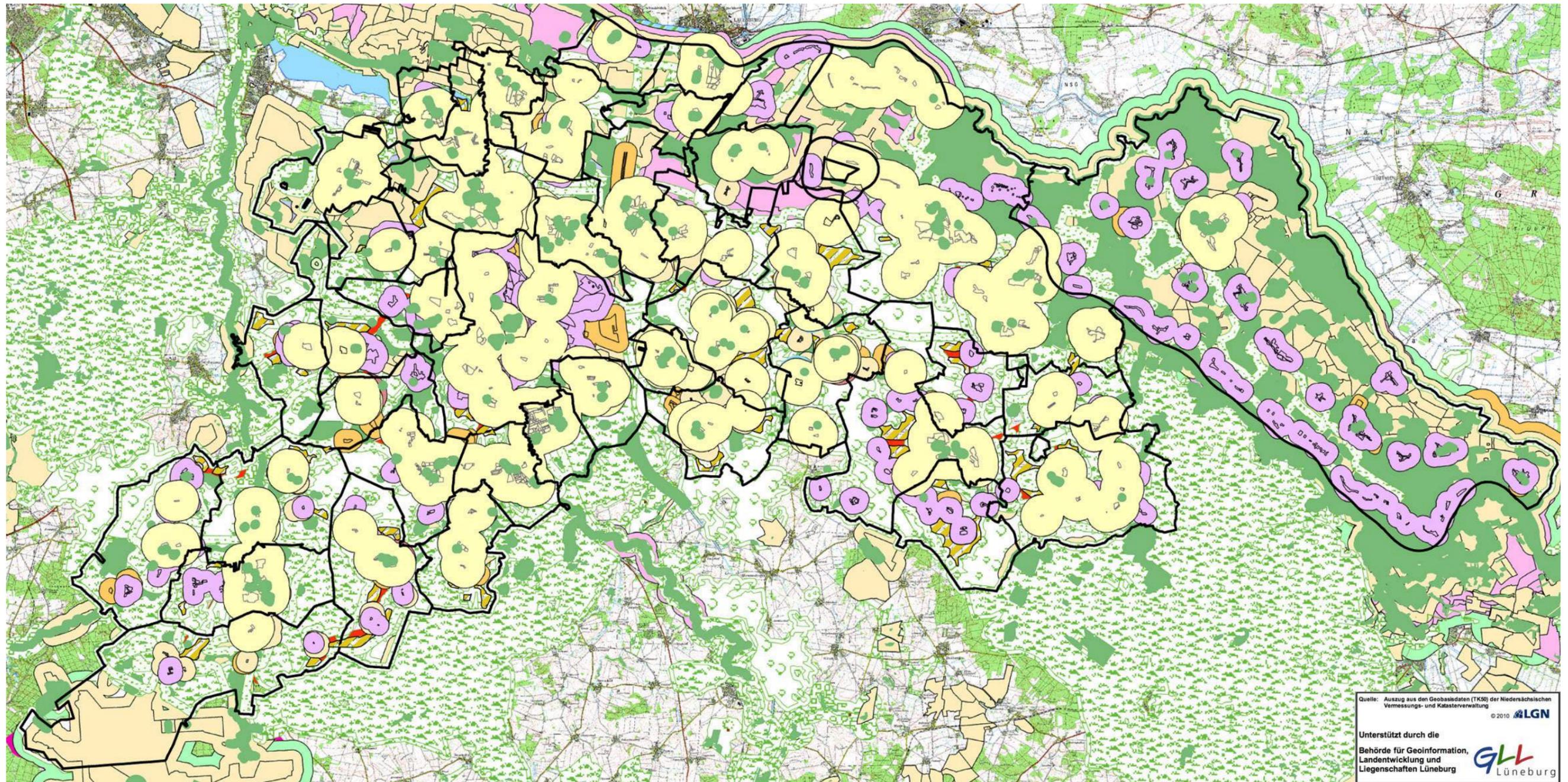
Abbildung 7: Potentialflächen



Legend

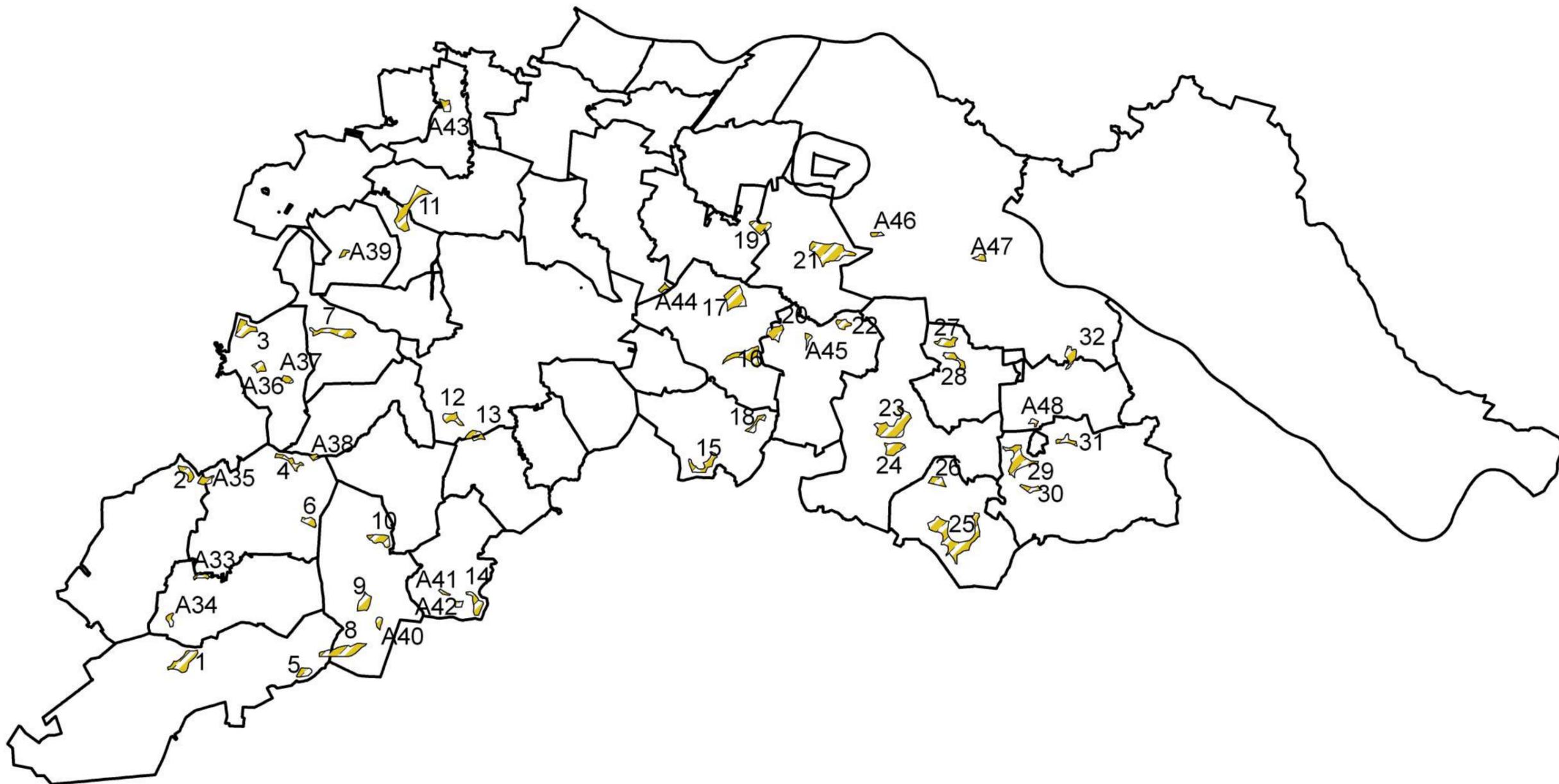
 Neue WEA Potentialflächen

Abbildung 8: Alle Ausschlussgebiete und Potentialflächen



Legende siehe „Legend“ (ArcGIS liegt in englischer Sprache vor) Layer 1 bis 4 und Potentialflächen (Abb. 2 bis 5 und 7)

Abbildung 9: Potentialflächen nummeriert (Konzentrationszonen: 1-32; wegen zu geringer Größe ausgeschiedenen Flächen: A33-A48)



4 Vorgehensweise zur Erstellung einer Windmap³¹

4.1.1 Funktionsweise von WAsP³²

Um die Windverhältnisse vor Ort zu bestimmen, werden die Daten einer nahe gelegenen meteorologischen Messstation herangezogen (Cube 2008, S.10). Diese Windstatistiken, die vom Deutschen Wetterdienst (DWD) kostenpflichtig zur Verfügung gestellt werden, basieren auf langjährigen Windmessungen (üblicherweise auf ca. 10 m Höhe) an Windmessstationen und wurden in Bezug auf die geländespezifischen Verhältnisse (Rauigkeit³³ und Orografie³⁴) bereinigt. Diese „regionalen Windklimate“ stellen die von lokalen Gegebenheiten bereinigten Windverhältnisse dar (Cube 2008, S.10). So entsteht ein regionales Windfeld für ein vollkommen ebenerdiges Gelände, also die theoretische Windgeschwindigkeit und Windrichtung, wenn der Wind vollkommen frei strömen würde (Abb. 10 aufwärtsgerichteter Pfeil). Das Modell kann mit dem geostrophischen Wind der freien Atmosphäre oberhalb der atmosphärischen Grenzschicht verglichen werden³⁵ (Cube 2008, S.10).

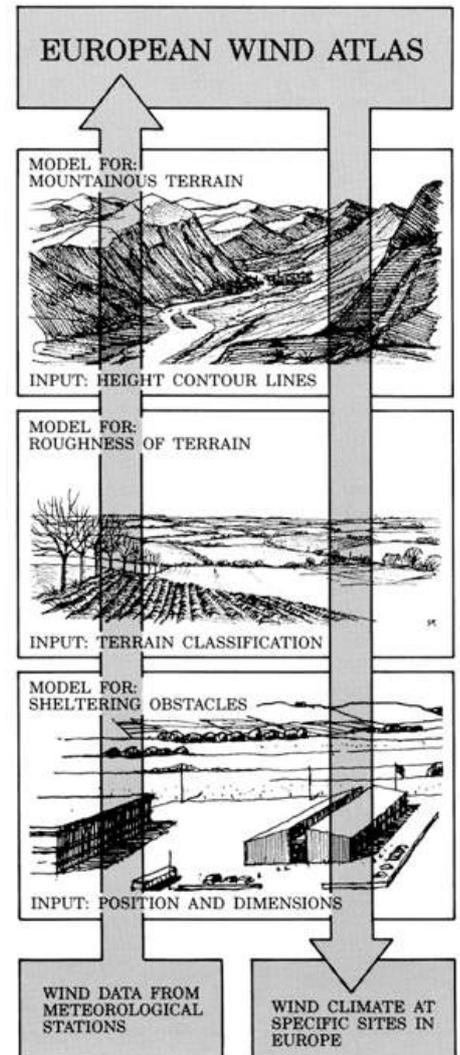


Abbildung 10: Schematische Darstellung des WAsP-Modells (Quelle: Risø Lab 1997)

³¹ Eine Windmap ist eine Karte, die die langjährigen mittleren Windgeschwindigkeiten auf einer festgelegten Höhe über Grund mit einer festgelegten horizontalen Auflösung farblich darstellt (anemos GmbH).

³² WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program) ist ein zur Extrapolation von Winddaten verwendetes Strömungsmodell, welches die vor Ort gegebenen Hindernisse, Landnutzungsinformationen (Rauigkeit) und Geländebeschaffenheit (Orografie) berücksichtigt (ZAMG).

³³ Hindernisse am Boden, wie z. B. Wälder, Gebäude oder Gewässer haben Einfluss auf den Wind. Um diesen Einfluss zu beschreiben, benutzt man den Begriff der Rauigkeit der Oberfläche. Je größer und zahlreicher die Hindernisse, desto höher die Rauigkeit (BWE: Rauigkeitsklassen).

³⁴ Die Orografie beschreibt die unterschiedlichen Geländekonturen also z. B. Hügel, Böschungen oder Bergrücken (ZAMG).

³⁵ In diesen Schichten (ab etwa 1000 m über der Erdoberfläche) findet man ein nahezu ungestörtes Windfeld, in dem die Windgeschwindigkeiten nur noch von den Druckunterschieden abhängen. Je weiter man sich dem Grund nähert, desto mehr wird die Windgeschwindigkeit durch die Reibung verringert (ZAMG).

Anschließend wird unter Zuhilfenahme des bereinigten Windfeldes und Berücksichtigung der am Standort vorliegenden Orografie und Rauigkeit die spezielle Windverteilung am Standort ermittelt. Diese wird durch die richtungsabhängige Weibull-Verteilung³⁶ charakterisiert (Cube 2008, S.10).³⁷

Die dafür benötigten Orografie- und Landnutzungsdaten wurden aus Satellitendaten erstellt³⁸. Mithilfe topographischer Karten, im Maßstab 1:50000, wurden diese Daten in der Umgebung des zu beurteilenden Windparkareals manuell nachbearbeitet und korrigiert. Die Landnutzungsinformation wurde in die WAsP entsprechenden Rauigkeitslängen³⁹ umgerechnet. Rauigkeitslängen beschreiben die Eigenschaften verschiedener Geländeoberflächen in Bezug auf die Windströmung, die es zu berücksichtigen gilt.

4.1.2 Erstellung der Datengrundlage

Um die Daten der verwendeten Windstatistik bezüglich ihrer Repräsentativität für den Landkreis Lüneburg beurteilen zu können, werden diese mit in einen Langzeitbezug gesetzten Erträgen⁴⁰ bestehender Windenergieanlagen abgeglichen.

³⁶ Die Windgeschwindigkeit an einer bestimmten Stelle schwankt sehr stark, sowohl von Jahr zu Jahr als auch innerhalb weniger Minuten. Der Energiegehalt des Windes lässt sich nur mit Hilfe der Häufigkeiten der unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten ermitteln. Dazu werden die Windgeschwindigkeiten in verschiedene Klassen eingeteilt. Mithilfe der Weibull-Verteilung wird die Häufigkeitsverteilung der unterschiedlichen Windgeschwindigkeitsklassen dargestellt. Die Windrose (Abb. 19) zeigt zusätzlich die Richtungsabhängigkeit der Häufigkeitsverteilungen (BWE: Häufigkeitsverteilung).

³⁷ Abb. 10 stellt die Methodik zur Windpotentialabschätzung an einzelnen Standorten grafisch dar. Meteorologische Modelle werden genutzt, um die Windstatistiken in ein ungestörtes Windfeldmodell (regionale Windklimatologie) zu übertragen. Im zweiten Schritt werden diese regionalen Verhältnisse verwendet, um unter Berücksichtigung der spezifischen Umgebungsinformationen das lokale bodennahe Windpotential an einem vorgegebenen Standort (Windpark) zu berechnen.

³⁸ Die Orografiedaten wurden dem SRTM Datensatz entnommen (*Shuttle Radar Topography Mission, USGS EROS Data Center*), die Information über die Rauigkeitsverhältnisse wurden aus dem CORINE Datensatz der *European Environment Agency* (EEA) abgeleitet. Abb.11 und 12 zeigen die Orografie und die Rauigkeit im Landkreis Lüneburg (Grenzen weiß eingezeichnet) und der Umgebung mit 10 km Abstand zu den Landkreisgrenzen sowie die Referenzstandorte.

³⁹ Die Rauigkeitslängen geben die Höhe des Geländes über dem Boden an, auf der die Windgeschwindigkeit theoretisch 0 beträgt, also komplett gebremst wird. So haben z. B. Wasserflächen eine Rauigkeitslänge von 0,0002 m, größere Städte hingegen eine Rauigkeitslänge von 0,8 m (siehe auch: BWE: Rauigkeitsklassen).

⁴⁰ Die Erträge werden in Langzeitbezug gesetzt, um jährliche Schwankungen der Windgeschwindigkeit auszugleichen.

Dazu werden die Langzeiterträge der Vergleichsstandorte⁴¹ herangezogen und mit den auf Basis des Modells berechneten Werten verglichen. Die monatlichen Erträge der Referenzstandorte sollten nur genutzt werden, wenn diese über einen Zeitraum von mindestens einem Jahr in mindestens monatlicher Auflösung zur Verfügung stehen (FGW 2007, S.8) und die Erträge repräsentativ für die geplanten Anlagen sind. Denn nur dann können die Ertragsdaten der Vergleichsanlagen in Bezug zum langjährigen mittleren Ertrag an dem geplanten Standort gesetzt werden.

Repräsentativität beinhaltet u. a. Vergleichbarkeit des umgebenden Geländes, Vergleichbarkeit der Anlagentypen und Nabenhöhen, ähnliche Höhe über NN (Normal Null).

4.1.3 Berechnung der Langzeiterträge

Zur Berechnung der Langzeiterträge werden zwei unterschiedliche Methoden herangezogen, bei denen die Erträge in Bezug zu verschiedenen Indizes⁴² gesetzt werden. Jeder Index beschreibt dabei den monatlichen Ertragswert im Verhältnis zu dem so genannten 100 %-Niveau, also dem Ertrag, den die Anlage im langjährigen Mittel erbringt. Das 100%-Niveau ändert sich also mit der Länge und Lage des betrachteten „Referenzzeitraumes“. Ein Zeitraum von 30 Jahren gilt klimatologisch stabil, laut den geltenden Vorschriften (TR6) muss ein Langzeitraum mindestens 10 Jahre umfassen.

Zur Bestimmung des Langzeitertrages mithilfe des Keiler/Häuser Index (IWET Index, Windindex Version 2006)⁴³, wird der 100%-Wert der linearen Regression

⁴¹ Vergleichsstandorte sind Windparks, deren Erträge vorliegen und deren Daten als Vergleichsbasis dienen können.

⁴² Ein Index ist eine Kennzahl, die sich aus mehreren Daten zusammen setzt und eine Vergleichsgröße darstellt (Brockhaus Multimedial 208). In diesem Fall dienen die Indizes der Einordnung von kurzzeitigen Ertragsdaten in einen ausreichend langen Zeitraum (sog. 100%-Zeitraum), um das mittlere langjährige Windpotential darstellen zu können (anemos GmbH).

⁴³ Beim IWET Index handelt es sich um einen regionalen Windindex, der das monatliche Produktionsgeschehen von Windenergieanlagen für 25 verschiedene Regionen in Deutschland kennzeichnet. Der Index ist ein statistischer Mittelwert, der sich aus den Einspeisedaten der meldenden WEA zusammensetzt und angibt, um wieviel Prozent der monatliche Ertrag der Anlagen in einer bestimmten Region vom wahrscheinlichen langjährigen Mittelwert der meldenden WEA abweicht. Bei einem Indexwert von 63 % liegt die monatliche Energieproduktion also 37 % unter der eines Durchschnittsmonats. Deshalb wird der Ertrag mit dem Faktor 100/63 multipliziert. Dieser Wert wird wiederum mit 12 multipliziert, um den wahrscheinlichen mittleren Jahresertrag zu bestimmen. (Betreiber-Dataebasis; anemos GmbH).

zwischen den monatlichen verfügbarkeitskorrigierten⁴⁴ Erträgen, die auf ein Jahr hochgerechnet wurden und dem Windindex bestimmt (Alle Erträge der Vergleichsstandorte (siehe Kapitel 4.1.4) wurden bezüglich ihrer Verfügbarkeit korrigiert).

Der mit Hilfe des anemos Windatlas für Deutschland⁴⁵ berechnete Langzeitertrag ergibt sich aus der linearen Regression zwischen den monatlichen verfügbarkeitskorrigierten Erträgen und den monatlichen Indizes.⁴⁶

Durch die Funktion der Ausgleichsgraden wird die Zeitreihe des anemos Windatlas Deutschland (verwendete Daten: 1980-2009) auf die monatlichen Erträge der Anlage (Messzeitreihe) angepasst und daraus der mittlere Jahresertrag berechnet (Siehe Anhang S.1: anemos Windatlas Dokument: Dahlenburg WEA1).

Auch hier wird dann der Ertrag bei einem Indexwert von 100% berechnet.

Offensichtliche Ausreißer werden bei beiden Methoden vor der Bestimmung der linearen Regression entfernt und somit nicht berücksichtigt. Beispielhaft werden die IWET- (Abb. 15) und anemos Windatlas-Auswertung (Abb. 16) bei Vergleichsstandort 1 (Dahlenburg) für Anlage 1 grafisch dargestellt.

Um den Langzeitertrag der Vergleichs-Windenergieanlagen zu erhalten, werden die Langzeiterträge der IWET Methode und des anemos Windatlas Deutschland zu jeweils 50 % gewichtet. Die z. T. großen Unterschiede beider Methoden er-

⁴⁴ Da die Windenergieanlagen, z. B. aus technischen Gründen wegen Störungen oder Wartungsarbeiten nicht durchgehend laufen, ergeben sich Ausfallzeiten, die berücksichtigt werden müssen. Als Verfügbarkeit wird das prozentuale Verhältnis zwischen Verfügbarkeitszeit (Zeit in der die WEA in Betrieb ist) und Nennzeit (Gesamter betrachteter Zeitraum) bezeichnet (unikassel.de). Üblich sind techn. Verfügbarkeiten von 95 – 100 %.

⁴⁵ Der anemos Windatlas für Deutschland verwendet für die Einordnung von WEA-Ertragszeitreihen in einen repräsentativen Referenzzeitraum das mesokalige meteorologische Modell PSU/NCAR-MM5 (Modell zur Wettervorhersage sowie zur Prognose und Simulation atmosphärischer Zirkulation im regionalen Bereich). Als Eingangsdaten werden die frei zur Verfügung stehenden NCEP/NCAR-Reanalysis-Daten des NOAA-Instituts verwendet.

⁴⁶ Der genutzte "anemos-Power-Index" des anemos Windatlas Deutschland ergibt sich aus den Windgeschwindigkeits- und Energieflussdichte-Zeitreihen des Windatlas für Deutschland. Der Index ist ein Ertragsindex, ähnlich dem IWET-Index, allerdings mit einem Referenzzeitraum von 30 Jahren. Er basiert auf einer adaptierten Leistungsdichteberechnung, Grundlage sind die anemos-Windatlas-Daten. Die simulierte Windgeschwindigkeit "u" des anemos Windatlas geht in dritter Potenz in die Berechnung der modellierten Leistungsdichte ein (Leistungsdichte: $0.5 * \text{Luftdichte} * u^3$) (Sven Huneke, anemos GmbH).

geben sich aus den unterschiedlichen Basisdaten, den verschiedenen Referenzzeiträumen und anderen methodischen Unterschieden.

So ergibt sich schließlich aus dem Mittelwert der beiden Methoden der gewichtete Langzeitertrag.

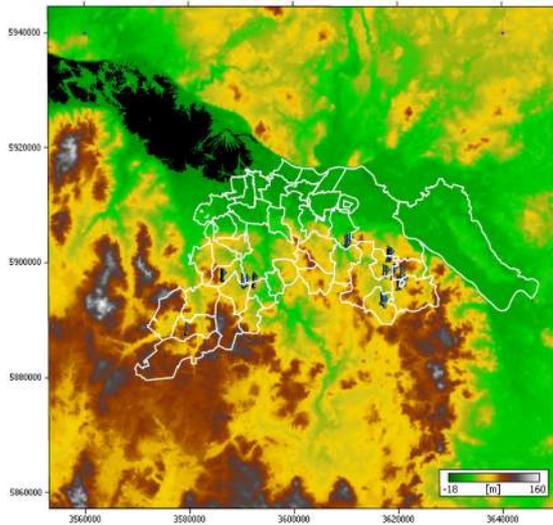


Abbildung 11: Orografiekarte

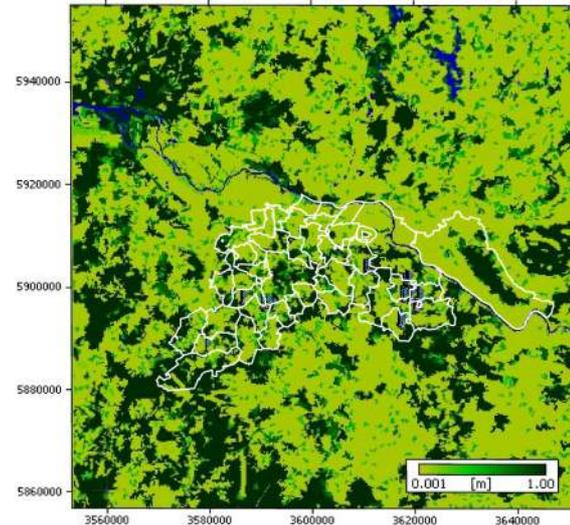


Abbildung 12: Rauigkeitskarte

4.2.1 Beschreibung der Vergleichsstandorte

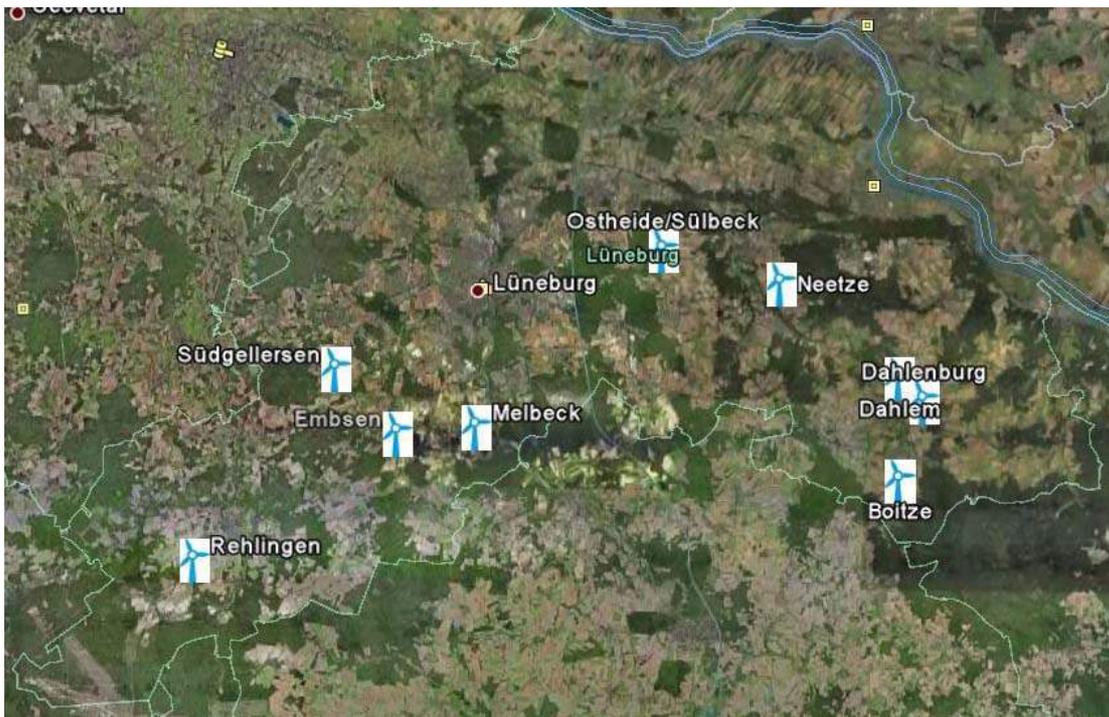


Abbildung 13: Übersicht der Vergleichsstandorte aus Google Earth

Im gesamten Landkreis Lüneburg stehen 77 Windenergieanlagen an unterschiedlichen Standorten (Siehe Anhang S.15: WEA im Landkreis LG). Davon liegen zu 42 Anlagen, die sich auf neun Vergleichsstandorte aufgliedern (Abb. 13), die notwendigen Daten (Ertrags- und Positionsdaten, Anlagentyp, Leistung, Rotordurchmesser, Nabenhöhe und zu einigen Anlagen auch die Verfügbarkeit) vor. Diese Daten sind wichtig, um die Langzeiterträge der Anlagen bestimmen zu können. Im Folgenden wird dargestellt, welche dieser neun Standorte als Vergleichspark zur Berechnung der Windmap ausgewählt wurden. Alle Erträge wurden bezüglich der Verfügbarkeit korrigiert; wenn diese nicht vorlag, wurde sie mit 98 % angenommen.

Vergleichsstandort 1: Dahlenburg

Der Vergleichsstandort Dahlenburg liegt im Osten des Landkreises in der Samtgemeinde Dahlenburg, mit 18 Vestas V80 mit 100 m Nabenhöhe. Dies sind Anlagen mit 2 MW Leistung und 80 m Rotordurchmesser. Die Tageserträge der Anlagen liegen für den Zeitraum von Januar 2003 bis April 2006 vor, diese wurden zu Monatserträgen zusammengefasst. Da die genauen monatlichen Verfügbarkeiten nicht vorliegen, wurden diese mit 98% angenommen. Darin liegt das



Abbildung 14: V80 am Standort Dahlenburg

Problem: Anhand der Tageserträge ist zu erkennen, dass 12 der Anlagen sehr hohe Ausfallzeiten von mehr als 2 % haben müssen. Diese Anlagen liefern teilweise sehr geringe, an einigen Tagen sogar gar keine Erträge, während aus den umliegenden Anlagen ersichtlich ist, dass Wind wehte. Aus den Tageserträgen ließen sich hier keine Verfügbarkeiten bestimmen. Bei diesen Anlagen lassen die IWET- und anemos Windatlas-Berechnungen eine sehr große Streuung und somit eine geringe Korrelation erkennen. Deshalb wurde bei den WAsP- Berechnungen zur Erstellung der Windmap (siehe Kapitel 4.4) nur deren Abschattung⁴⁷ auf die anderen Anlagen berücksichtigt. Für die sechs übrigen Anlagen wiesen die Erträge eine hohe Korrelation⁴⁸ mit den Indizes auf, so dass die Langzeiterträge von diesen Anlagen mit ausreichend geringer Unsicherheit bestimmt werden konnten (siehe exemplarisch Abb. 15 und 16).

⁴⁷ Als Abschattung oder auch wake effect wird die Tatsache bezeichnet, dass eine WEA dem Wind Energie entzieht, wodurch die nachgelagerte Windgeschwindigkeit reduziert wird. Dies hat einen Einfluss auf die Erträge weiterer Anlagen im Windpark. Es entsteht ein so genannter wake loss (Vgl. Wake Effect, EWEA 2009 S.51).

⁴⁸ Kennziffer für die Qualität der Korrelation ist R^2 (Determinationskoeffizient). Für Anlage 1 ist $R^2 = 98,95 \%$ bei der IWET-Auswertung (Abb. 15) und $R^2 = 95,9 \%$ bei der anemos Windatlas-Auswertung (Abb. 16).

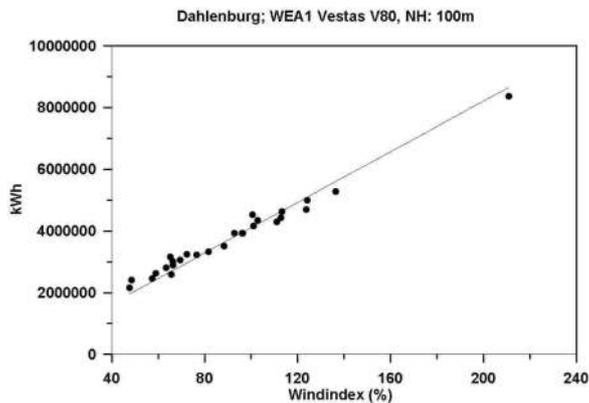


Abbildung 15: Gemessene Erträge aufgetragen gegen den IWET- Windindex

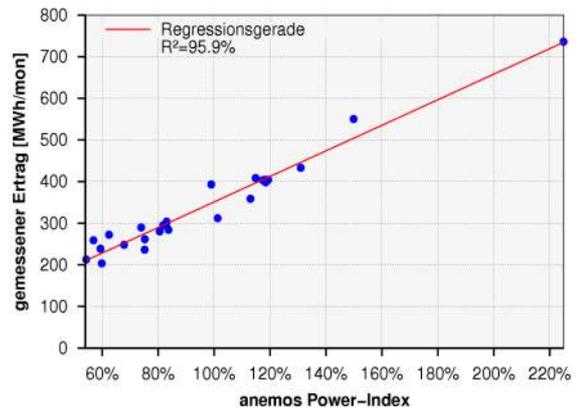


Abbildung 16: Gemessene Erträge aufgetragen gegen anemos Power-Index

Vergleichsstandort 2: Boitze

Auch der Standort Boitze liegt in der Samtgemeinde Dahlenburg, im Osten des Landkreises Lüneburg, mit einer Fuhrländer FL MD 77 mit 100 m Nabenhöhe. Dies ist eine 1,5 MW Anlage mit 77 m Rotordurchmesser. Die monatlichen Erträge sowie die Verfügbarkeiten liegen für den Zeitraum von Februar 2006 bis November 2008 vor. Da diese Anlage innerhalb des Windparks Dahlenburg liegt, wurde sie aufgrund ihrer räumlichen Nähe und den Abschattungseffekten mit in die Berechnungen des Windparks Dahlenburg einbezogen.

Vergleichsstandort 3: Neetze

Der Standort Neetze liegt im östlichen Teil des Landkreises Lüneburg, in der Samtgemeinde Ostheide, mit 3 Vestas V80 mit 100 m Nabenhöhe. Die monatlichen Erträge der Anlagen liegen für den Zeitraum von Dezember 2007 bis März 2010 vor. Die Verfügbarkeit wurde mit 98% angenommen. Die Erträge können jedoch nicht den einzelnen Anlagen zugeordnet werden, weshalb die Anlagen bei der WAsP-Berechnung nur als Gesamtpark berücksichtigt werden.

Vergleichsstandort 4: Embsen

Der Standort Embsen liegt im Westen des Landkreises Lüneburg, in der Samtgemeinde Ilmenau, mit vier Enercon E-66/18.70 mit 65 m Nabenhöhe. Dieser Anlagentyp hat eine Leistung von 1,8 MW und einen Rotordurchmesser von

70,4 m. Die Erträge sowie die genauen Verfügbarkeiten der Anlagen liegen von Juli 2004 bis August 2009 vor. Des Weiteren lassen sich die Erträge den jeweiligen Anlagen zuordnen, so dass eine genaue Einzelbetrachtung möglich ist.

Vergleichsstandort 5: Melbeck

Der Standort Melbeck liegt im Westen des Landkreises Lüneburg, in der Samtgemeinde Ilmenau, mit vier Enercon E-66/18.70 mit 65 m Nabenhöhe. Die monatlichen Erträge sowie die genauen Verfügbarkeiten der Anlagen liegen von Dezember 2003 bis August 2009 vor. Die Erträge lassen sich den jeweiligen Anlagen zuordnen, so dass eine genaue Einzelbetrachtung möglich ist. Jedoch wurden die Werte von zwei Anlagen nicht berücksichtigt, da diese von 22.00 Uhr bis 6.00 Uhr schallreduziert laufen⁴⁹. Da nicht bekannt ist, wie stark die Anlagen während dieser Zeit gedrosselt werden, würde es die Berechnungen verfälschen, wenn diese Anlagen mit einbezogen werden würden. Die Abschattung dieser Anlagen wurde unter Annahme einer nächtlichen Leistungsreduktion auf 1000 kW berücksichtigt.

Vergleichsstandort 6: Südergellersen

Der Standort Südergellersen liegt von allen Standorten am weitesten im Westen des Landkreises Lüneburg, in der Samtgemeinde Gellersen, mit sechs NEG Micon NM 72-1500 mit 80 m Nabenhöhe. Diese Anlagen haben eine Leistung von 1,5 MW und einen Rotordurchmesser von 72 m. Die monatlichen Erträge für drei der sechs Anlagen liegen für den Zeitraum von Oktober 2001 bis März 2010 vor. Die Verfügbarkeit wurde mit 98% angenommen. Die Positionsdaten der Anlagen, von denen die Erträge vorliegen, sind bekannt, jedoch können die Erträge nicht den einzelnen Anlagen zugeordnet werden. Deshalb können die Anlagen bei der Berechnung nur mit dem Mittel aus den Erträgen der drei Anlagen gerechnet werden. Auch von den drei Anlagen, von denen keine Erträge vorliegen, sind die Positionsdaten bekannt, so dass der Abschattungseffekt dieser Anlagen in die Berechnungen miteinbezogen werden kann.

⁴⁹ D.h. die Anlagen laufen zu bestimmten Zeiten auf einer geringeren Leistung, um weniger Lärm zu verursachen.

Vergleichsstandort 7: Rehlingen

Der Standort Rehlingen liegt im Südwesten des Landkreises Lüneburg, in der Samtgemeinde Amelinghausen, mit zwei Enercon E-40/5.40 und einer Enercon E-40/6.44 mit 65 m Nabenhöhe. Die E-40/5.40 hat eine Leistung von 500 kW und einen Rotordurchmesser von 40 m, die E-40/6.40 hat eine Leistung von 600 kW und einen Rotordurchmesser von 43,7 m. Die monatlichen Erträge liegen nur für eine E-40/5.40 für den Zeitraum von März 2000 bis März 2010 vor. Die Verfügbarkeiten wurden mit 98% angenommen. Die Positionsdaten aller Anlagen sind bekannt und können der Anlage zugeordnet werden, so kann zumindest der Abschattungseffekt der zwei Anlagen ohne Ertragsdaten in die Berechnungen miteinbezogen werden.



Abbildung 17: E-40/5.40 am Standort Rehlingen

Vergleichsstandort 8: Ostheide/ Sülbeck

Der Standort Ostheide/ Sülbeck liegt im Westen des Landkreises Lüneburg, in der Samtgemeinde Ostheide, mit einer NEG Micon NM 72-1500 mit 80 m Nabenhöhe. Die monatlichen Erträge sowie die Verfügbarkeiten liegen nur für den Zeitraum von Januar 2004 bis Dezember 2004 vor. Hinzukommt, dass die Werte nur eine sehr geringe Korrelation mit den Indizes aufweisen, deshalb müssten zu viele Werte als Ausreißer entfernt werden. Aufgrund dessen wäre die statistische Auswertung mit zu großen Unsicherheiten behaftet, die Datenbasis ist zu gering, um den Langzeitertrag zu ermitteln. Aus diesem Grund wurde der Standort nicht weiter berücksichtigt.

Vergleichsstandort 9: Dahlem

Der Standort Dahlem liegt im Osten des Landkreises Lüneburg, in der Samtgemeinde Dahlenburg, mit zwei Fuhrländer NEG Micon NM 60-1000 mit 70 m Nabenhöhe. Diese Anlagen haben eine Leistung von 1,0 MW und einen Rotordurchmesser von 60 m. Die monatlichen Erträge sowie die Verfügbarkeiten lie-

gen für eine Anlage für den Zeitraum von Juni 2000 bis Mai 2005 vor. Da diese Anlage im Windpark Dahlenburg liegt, wurde sie aufgrund ihrer räumlichen Nähe und den Abschattungseffekten mit in die Berechnungen des Windparks Dahlenburg einbezogen.

4.2.2 Auswertung der Datengrundlage mit WAsP

In den Kapiteln 4.1.2 und 4.1.3 wurde schon beschrieben, wie die Langzeiterträge berechnet werden und dass diese mit dem mit WAsP berechneten Ergebnis übereinstimmen müssen. Dazu muss ermittelt werden, welche Windrichtung und Windgeschwindigkeit für die betrachteten Standorte repräsentativ ist. Zu diesem Zweck wurden die Windstatistiken verschiedener Wetterstationen verglichen. Zur Auswahl standen aufgrund der räumlichen Lage die Stationen Boizenburg, Fassberg, Luechow und Lüneburg. Mit Hilfe der Windstatistiken der Messstationen wurde versucht, die Langzeiterträge der einzelnen Vergleichsstandorte mit WAsP nachzuvollziehen. Dazu wurden die Windstatistiken jeder einzelnen Messstation (so genannte Atlasdateien, im .lib-Format) in das Strömungsmodell geladen. Das Modell WAsP berechnet damit unter Berücksichtigung der Orografie und Rauigkeit an den Standorten der Vergleichsanlagen, die Jahreserträge auf Basis der entsprechenden, für den jeweiligen Typ gültigen Leistungskennlinien (Beispielhaft Anhang S.6: Leistungskennlinie Vestas V80-2.0MW)⁵⁰. Die Leistungskennlinie setzt die abgegebene Leistung einer Anlage in Bezug zur Windgeschwindigkeit (BWE: Leistungskurve). Mit Hilfe der Windverteilung am Standort und der damit verbundenen Leistungsabgabe der Anlage kann so der Ertrag berechnet werden. Im Folgenden wird dieser berechnete Ertrag mit dem Langzeitertrag verglichen. Aus der Übereinstimmung des errechneten Ertrags mit dem Langzeitertrags ergibt sich der Gütegrad des Windfeldmodells.

Die Ergebnisse berechnet mit der Station Fassberg (Abb. 18) stimmten am besten mit den ermittelten Langzeitwerten der Vergleichsstandorten überein. Des-

⁵⁰ Der für jeden WEA-Typ ermittelte Zusammenhang zwischen Windgeschwindigkeit und Leistungsabgabe (EEG, Anlage 5, Nr. 5).

halb wurde die Windstatistik der Station Fassberg zur Berechnung der Windmap ausgewählt. Die Windstatistik basiert auf einer Messung in 10 m Höhe in den Jahren 1976 – 1993.

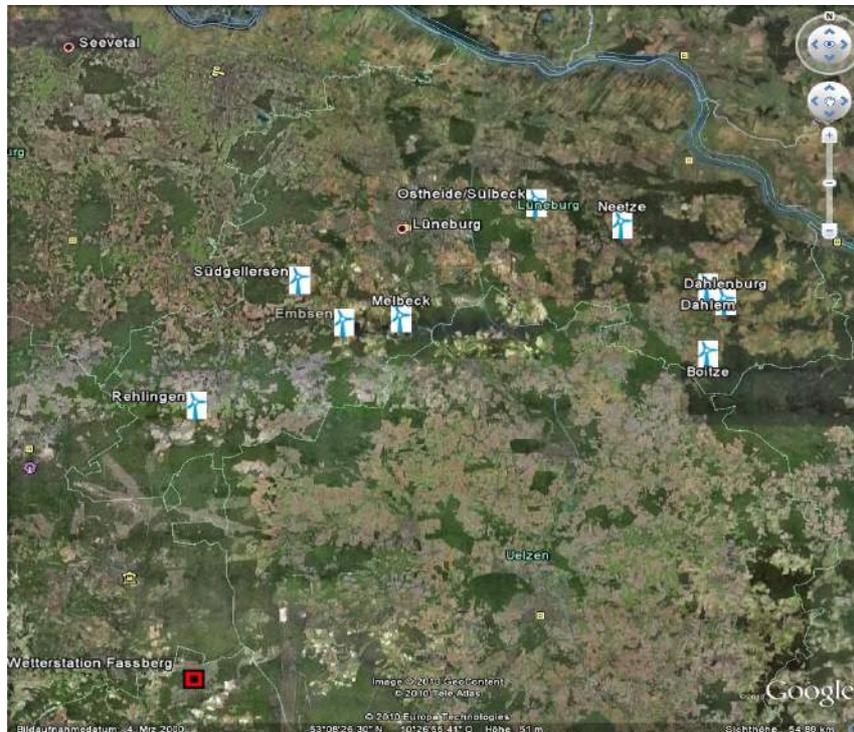


Abbildung 18: Vergleichsstandorte im Landkreis LG und Wetterstation Fassberg im Süden des Landkreises (Rote Markierung)

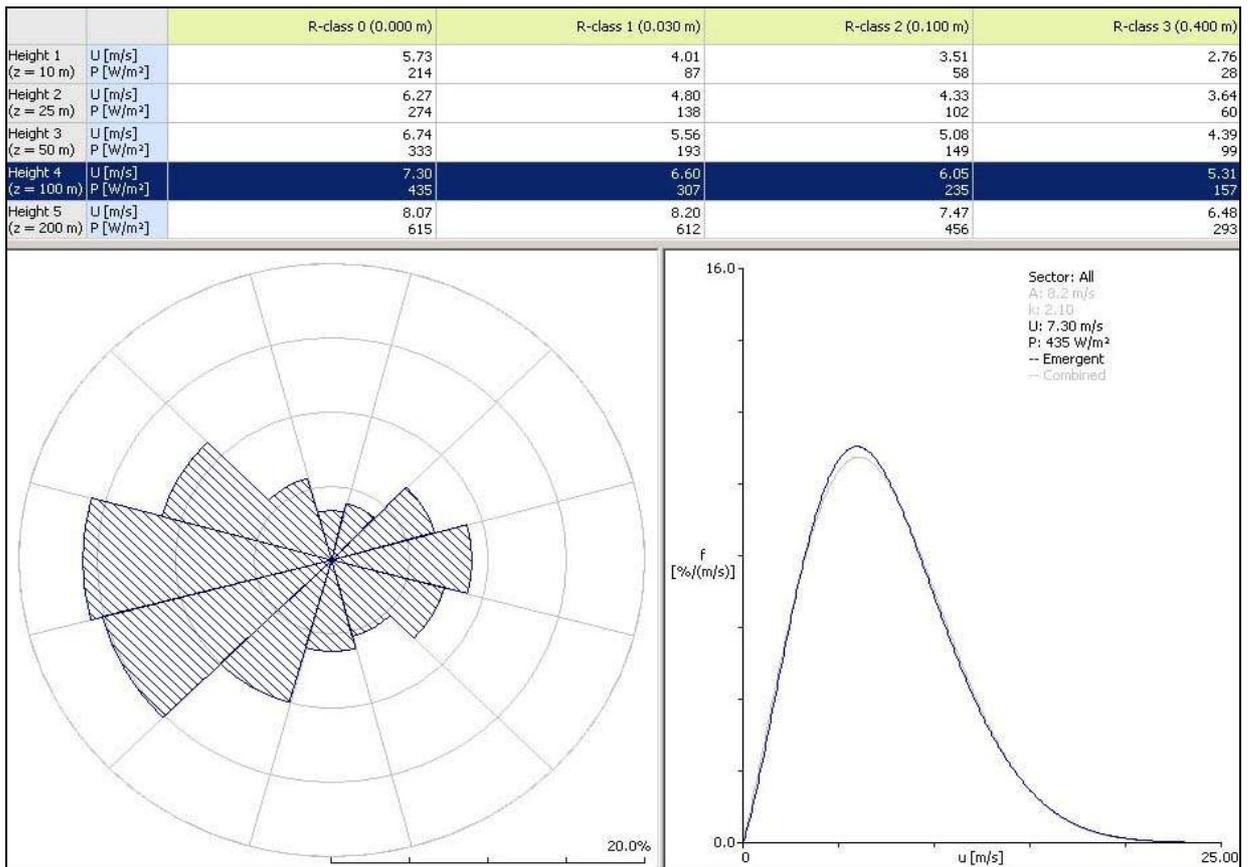


Abbildung 19: Windrose und Weibull-Verteilung, ermittelt an der Station Fassberg (Quelle: DWD)

An der Windrose⁵¹ lässt sich erkennen, dass die Hauptwindrichtung der regionalen Windklimatologie auf 100 m West bis Südwest ist, die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt auf 100 m 7.3 m/s bei freier Strömung (Abb. 19).

4.2.3 Gewichtung der einzelnen Referenzstandorte

Insgesamt dienen sechs Standorte als Datengrundlage zur Berechnung der Windmap (Dahlenburg/Boitze/Dahlem, Neetze, Embsen, Melbeck, Rehlingen und Südergellersen). Diese Standorte werden aufgrund der Qualität der zugrunde liegenden Daten sowie der Repräsentativität der einzelnen Standorte für den Landkreis als ganzes unterschiedlich gewichtet. Die Standorte Melbeck und Embsen werden aufgrund des langen Datenzeitraums sowie der genauen Ertragsdaten und Verfügbarkeiten mit jeweils 30 % gewichtet. Die Verfügbarkei-

⁵¹ Die Windrose informiert über die relative Häufigkeit der jeweiligen Windrichtung (Windpower.org 2003).

ten des Standortes Südergellersen sind zwar nicht bekannt, jedoch bietet hier die Länge des Datenzeitraums, trotz zahlreicher Ausreißer, eine gute Datengrundlage. Dieser Standort wird deshalb mit 20 % gewichtet. Da die Windgeschwindigkeiten auf 100 m Höhe berechnet werden sollen, weisen die Standorte Dahlenburg/Boitze/Dahlem und Neetze mit einer Nabenhöhe von 100 m im Grunde die repräsentativsten Anlagen auf. Jedoch sind der kurze Datenzeitraum sowie die nicht vorhandenen Verfügbarkeiten und die teilweise beobachtete Inkonsistenz der Daten, bzw. die Tatsache, dass sich die Ertragsdaten nicht zu den Anlagen zuordnen lassen, die Gründe für eine Gewichtung von nur 10 %.

Der Standort Rehlingen weist mit einem Gütegrad von 81,1 % eine zu geringe Übereinstimmung zwischen dem vom Model errechneten und dem Langzeitertrag auf und wird deshalb nicht berücksichtigt.

Windpark	IWET (MWh)	Anemos Atlas (MWh)	Gewichteter Langzeitertrag (MWh)	Berechneter Ertrag (MWh)	Gütegrad	Gewichtung	Gesamtgütegrad
Dahlenburg	4007	3689	3848	3625	94,2%	10%	
Neetze	3936	3470	3703	3457	93,4%	10%	
Embsen	2119	1893	2006	2081	103,8%	30%	
Melbeck	1960	1767	1864	1980	106,3%	30%	
Südergellersen	2320	2019	2170	2061	95,0%	20%	
							100,8%

Tabelle 3: Einbezogene Standorte mit den verschiedenen Erträgen, den Gütegraden und der jeweiligen Gewichtung

Anhand der unterschiedlichen Gütegrade der einzelnen Windparks lässt sich erkennen, dass die Standorte Embsen und Melbeck bei dem Versuch, die Windverhältnisse abzubilden, leicht überschätzt werden. Dieses kann dadurch begründet sein, dass diese Anlagen in einer Senke stehen. WASP kann softwarebedingt die Windverhältnisse, die durch diese Senke entstehen, bei der Modellierung nicht genau nachbilden (mündliche Auskunft, Lasse Blanke, anemos GmbH).

Die Standorte Dahlenburg und Neetze werden leicht unterschätzt. Diese Unterschätzung beruht evtl. auf deren Höhe über NN und der allgemeinen geographischen Lage in der Nähe der Elbe. Diese verändert die standortbezogene Windrichtungsverteilung, da hier ganz andere Orografie- und Rauigkeitsverhältnisse vorliegen, was auch auf den jeweiligen Karten (Abb. 11,12) zu erkennen ist (Lasse Blanke, anemos GmbH).

Eine genaue Begründung für die Über- bzw Unterschätzung einzelner Standorte kann nie mit Gewissheit gegeben werden, da alle in die Berechnung einfließenden Eingangsdaten einer gewissen Unsicherheit unterliegen.

Die Unterschätzung der Anlagen am Standort Südergellersen wird bei der Berechnung in Kauf genommen, diese ist mit 4,1 % relativ gering.

Es kann festgestellt werden, dass die Langzeiterträge relativ genau getroffen werden. Die Daten der Wetterstation Fassberg können somit als repräsentativ für die Windverhältnisse im Landkreis angenommen werden. Durch die Größe des zu betrachtenden Gebiets ist die leichte Über- bzw. Unterschätzung der verschiedenen Standorte nicht zu umgehen (Lasse Blanke, anemos GmbH). Die Windverhältnisse sind in so einem großen Gebiet natürlich unterschiedlich, da hier nur ein Modell der Wirklichkeit berechnet wird (Cube, S.10), können diese Unterschiede nicht mit einbezogen werden und die Anlagen nicht alle zu genau 100 % getroffen werden.

Die so entstandenen Ergebnisse lassen mit einer gewissen Unsicherheit⁵² eine belastbare Aussage über die Windverhältnisse im Landkreis Lüneburg zu, da ein Gesamtgütegrad von 100,8 % erreicht wird.

Zwischenergebnis:

Die Vergleichsstandorte Dahlenburg, Boitze und Dahlem wurden zu einem Vergleichsstandort (Dahlenburg/Boitze/Dahlem) zusammengefasst (6 Anlagen) und genauso wie die Standorte Neetze (3 Anlagen), Embsen (4 Anlagen), Melbeck (2 Anlagen), Südergellersen (3 Anlagen) und Rehlingen (1 Anlage) als Vergleichsstandorte herangezogen.

Die Standorte Dahlenburg/Boitze/Dahlem und Neetze werden mit jeweils 10 % gewichtet, die Standorte Embsen und Melbeck mit jeweils 30 % und der Standort Südergellersen mit 20 %. Es ergibt sich ein Gesamtgütegrad von 100,8 %.

Die Windverhältnisse (Daten der Wetterstation Fassberg) sowie die Karten der Orografie- und Rauigkeitsverhältnisse, die zur Berechnung der Windmap dienen sollen, liegen vor. Das Strömungsmodell kann so an die spezifischen Gegebenheiten an den einzelnen Vergleichsstandorten angepasst werden.

Alle genauen Daten sind im Anhang (S.4: Referenzen aufbereitet) zu finden.

⁵² Es gibt natürlich Unsicherheiten innerhalb der Methode, wie z. B. die Repräsentativität der verwendeten Windstatistiken oder die Genauigkeit der Terrainabschätzung (Cube, S.10).

4.3 Erstellung der Windmap

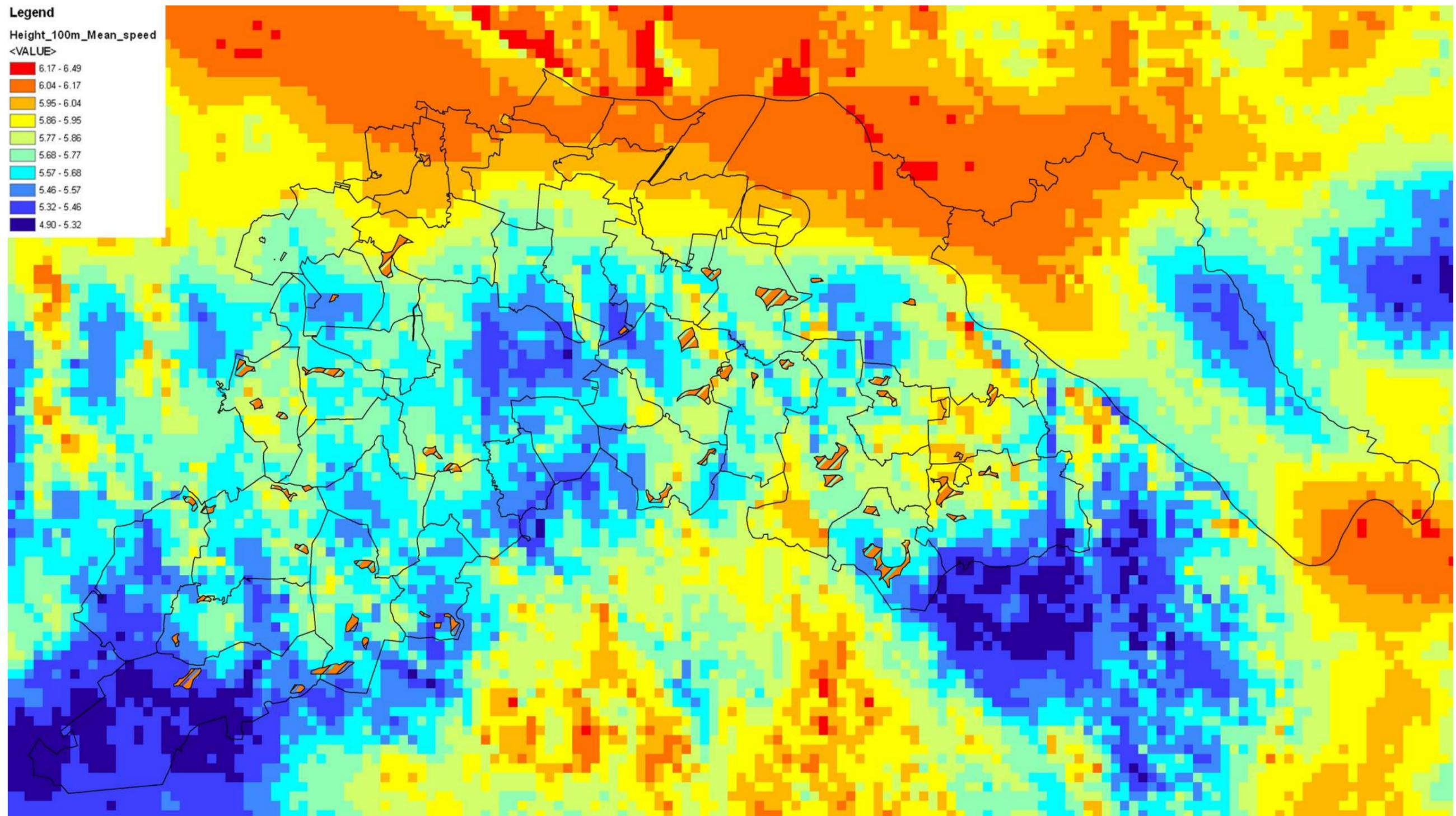
Die Windmap wird mithilfe von WAsP erstellt. Dazu werden die Orografie- und die Rauigkeitskarte sowie die zuvor bestimmte Windstatistik geladen. Die zu berechnende Höhe wird mit 100 m festgelegt. Für den gesamten Landkreis, bzw. einer Karte von 100 x 100 km⁵³, wird nun auf Basis der Windstatistik (.lib-File), unter Berücksichtigung der spezifischen Orografie- und Rauigkeitsdaten, eine Windmap mit einer Auflösung von 500 m⁵⁴ erstellt. Diese gibt Aufschluss über die regionalen Windverhältnisse auf einer Höhe von 100 m (siehe Abb. 20).

Die zuvor bestimmten, für Windenergienutzung zur Verfügung stehenden Flächen, wurden in GIS manuell herausgearbeitet und mit den Daten aus der Windmap übereinander gelegt. So erhält man eine relativ detaillierte Darstellung der einzelnen Windgeschwindigkeiten im Bereich der Potentialflächen.

⁵³ Es sollten immer mind. 10 km Abstand zum äußersten zu berechnenden Punkt gegeben sein, da sich die Orografie- und Rauigkeitsverhältnisse in diesem Gebiet auf den Punkt auswirken.

⁵⁴ Ein Quadrat auf der Windmap entspricht also einer Fläche von 500x500 m. Die Auflösung ist bei der Erstellung einer Windmap dieser Größe die kleinste Auflösung, die eine im Rahmen einer Bachelorarbeit, eine praktikable Berechnung zulässt.

Abbildung 20: Windmap des Landkreises LG mit eingezeichneten Potentialflächen



5. Parkplanung und Ertragsberechnung mit WindPro⁵⁵

Um nun herauszufinden, welche freien Flächen sich als Konzentrationszonen eignen, muss geprüft werden, welche davon die entsprechenden Kriterien erfüllen, also einen Windpark mit mindestens drei Anlagen aufnehmen können und eine rentable Energiegewinnung zulassen.

Zunächst muss für jede einzelne Fläche bestimmt werden, wie viele Anlagen maximal errichtet werden können. Dazu wird mit WindPro für jede Fläche eine Parkkonfiguration erstellt.

Zu diesem Zweck muss eine repräsentative WEA als Beispielanlage ausgewählt werden, für die die Berechnungen durchgeführt werden sollen, da die Anzahl direkt abhängig vom Rotordurchmesser der Anlage ist.

Verkaufte WEA-Klassen im ersten Halbjahr 2009/2010

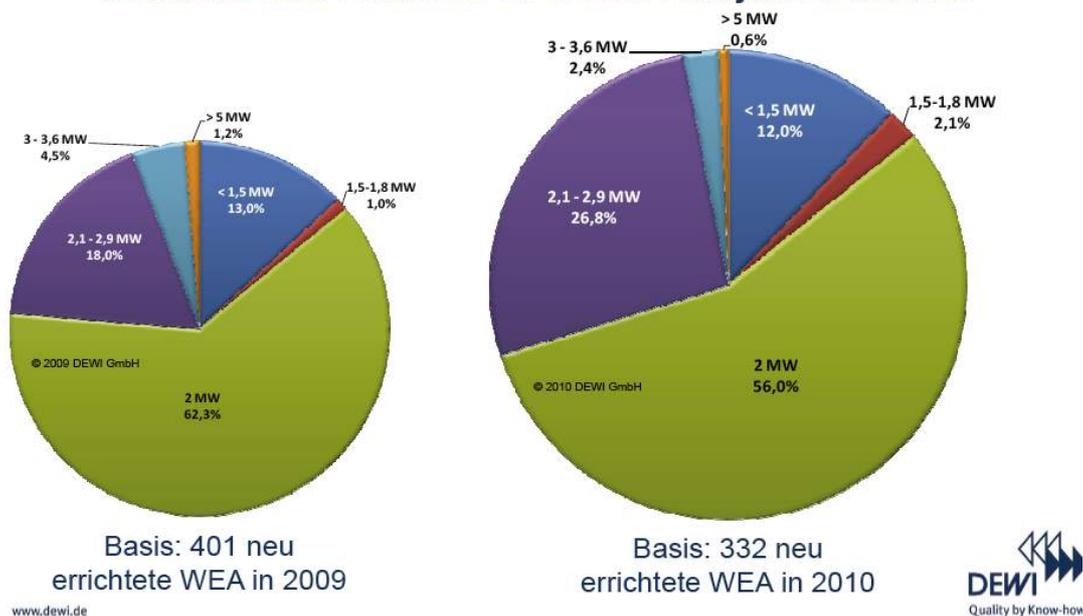


Abbildung 21: Erbaute WEA-Klassen in % (Quelle: DEWI 2010)

In Deutschland sind in den letzten Jahren Anlagen mit einer Leistung von 2 MW die mit Abstand meist gebauten Anlagen gewesen (Siehe Abb. 21, grüner Bereich). Deshalb soll auch für diese Arbeit eine Anlage dieser Klasse betrachtet werden. Die Vestas V80 mit 100 m Nabenhöhe ist mit 35 Anlagen im Landkreis

⁵⁵ Software zur Windparkplanung und -analyse, basierend auf Ausgabedateien von WAsP.

der meistgebaute Anlagentyp dieser Klasse (Siehe Anhang S.15: WEA im Landkreis LG), daher soll diese Anlage exemplarisch geplant werden – die Berechnungen lassen sich aber mit jedem beliebigen Anlagentyp durchführen.⁵⁶

Die anlagenspezifischen Daten, wie die Leistung von 2 MW und der Rotordurchmesser von 80 m sowie die Nabenhöhe von 100 m, werden eingegeben. Zusätzlich wird ein Abstand vom 5-fachen des Rotordurchmessers in Hauptwindrichtung und dem 3-fachen des Rotordurchmessers in alle anderen Richtungen festgelegt (Wind-energie.de). Dies sind die üblicherweise gewählten Abstände, um die Standsicherheit zu gewährleisten.

Nun können auf allen Flächen WEA mit den dazugehörigen Abständen platziert werden (Siehe Abb. 22).

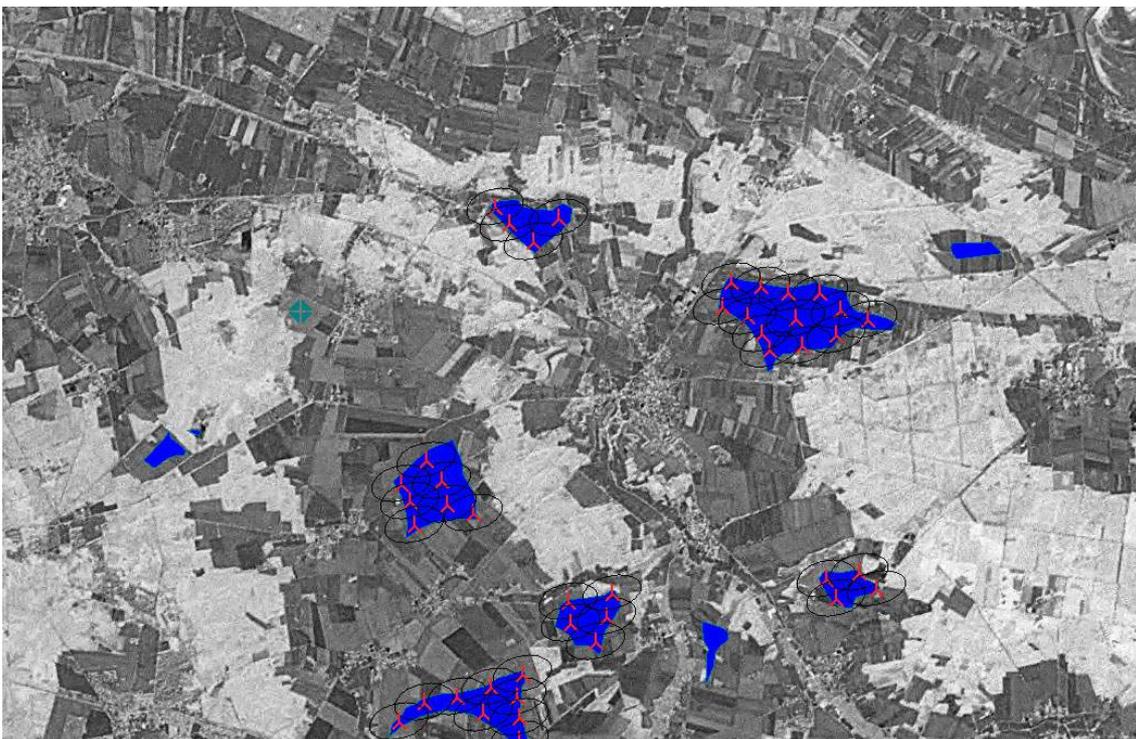


Abbildung 22: Ausschnitt: Potentialflächen mit WEA und dazugehörigen Abstandsradien

⁵⁶ Die Vestas V80 ist eine relativ alte Anlage, in dieser Leistungsklasse gibt es inzwischen Anlagen, welche einen weitaus höheren Ertrag liefern. Da ein Anlagentyp exemplarisch ausgewählt werden musste, bot sich das Kriterium der meist gebauten Anlage im Landkreis an.

Danach scheiden Fläche A33-A48⁵⁷ bedingt durch die geringe Größe als Konzentrationszonen aus und werden bei der folgenden Planung nicht weiter berücksichtigt.

Um im Folgenden herauszufinden, welche freien Flächen Konzentrationszonen darstellen, muss laut Definition die Rentabilität geprüft werden. In der Rechtsprechung zu Konzentrationszonen (welche auch den Begriff der Konzentrationszone festgelegt hat, siehe dazu Kapitel 3.3) wird für den kostendeckenden Betrieb oftmals pauschal eine Windgeschwindigkeit von 5 m/s (vermutlich auf Nabenhöhe, dazu wird jedoch keine Angabe gemacht) als Kriterium angegeben (Gatz 2009, S.739). Aus Windgutachtersicht ist dies jedoch vollkommen unzureichend und entspricht in nicht der Realität. Die Rentabilität kann nur geprüft werden, wenn alle Kosten für einen Anlagenbau und den Betrieb sowie die Vergütung und der zu erwartende Energieertrag bekannt sind. Anlagen können auch bei weitaus höheren Windgeschwindigkeiten unrentabel sein. Da die Kosten in dieser Arbeit nicht bestimmt werden können, das vorgegebene Kriterium aber unzureichend ist, soll ein Ersatzkriterium bestimmt werden, dass die Festlegung einer Konzentrationszone zulässt.

Dieses soll der nach EEG vorgeschriebenen 60 % Referenzertragsnachweises sein. Hierzu muss nach § 10 Abs. 3 vor Inbetriebnahme der WEA nachgewiesen werden, dass sie an dem geplanten Standort (ohne Berücksichtigung etwaiger Parkeffekte) mindestens 60 % eines vorgegebenen Referenzertrags erzielen kann. Sonst ist der Netzbetreiber nicht verpflichtet, den Strom aus der Anlage zu vergüten.

Der Referenzertrag ist definiert als die für den jeweiligen WEA-Typ, einschließlich der jeweiligen Nabenhöhe, bestimmte Strommenge, die dieser Typ bei Errichtung an einem Referenzstandort⁵⁸ rechnerisch auf Basis einer vermessenen Leistungskurve in fünf Jahren erbringen würde (EEG, Anlage, Nr.2).

Damit kann zwar nicht die Rentabilität einer Anlage nachgewiesen werden, jedoch ist der Netzbetreiber nur dann verpflichtet, die Anlage an das Stromnetz

⁵⁷ Aufgrund der geringen Größe ausgeschlossene Flächen.

⁵⁸ Ein Standort, der bestimmt wird durch eine Rayleigh-Verteilung (eine kontinuierliche Wahrscheinlichkeitsverteilung) mit einer mittleren Jahreswindgeschwindigkeit von 5,5 m/s in einer Höhe von 30 m über Grund, einem logarithmischen Höhenprofil und einer Rauigkeitslänge von 0,1 m (EEG, Anlage, Nr.4).

anzuschließen und den Strom zu vergüten. Wird der 60 % Referenzertragsnachweis nicht erbracht, steht ein Projekt in der großen Mehrzahl aller Fälle vor dem aus. Eine Rentabilität kann dabei eher angenommen werden als bei einer pauschal festgelegten Windgeschwindigkeit. Dies soll im Rahmen dieser Arbeit anstatt des Kriterium der Rentabilität zur Bestimmung von Konzentrationszonen ausreichen.

Um den Ertrag am geplanten Standort zu berechnen, wird die fertig gestellte Windmap in WindPro geladen.

Die gemessene Leistungskennlinie so wie die ct-Kennlinie⁵⁹ der Vestas V80 2.0 MW werden eingegeben.

Nun wird für alle 32 Konzentrationszonen (1-32) eine Parkberechnung durchgeführt und mit den vorliegenden Daten der voraussichtliche mittlere Jahresertrag für jede einzelne WEA berechnet. Zuerst wird mit Hilfe von WindPro der Bruttoertrag berechnet, also der Ertrag, den jede WEA erbringen würde, wenn sie alleine stünde. Daraus kann mithilfe des 60 % Referenzertrags berechnet werden, welche Anlagen den 60 % Grenzwert überschreiten.⁶⁰

Berechnung des 60 % Referenznachweises:

$$VER = \left(\frac{5 * E_{frei}}{R} \right) * 100\%$$

Dabei sind

VER: Das Verhältnis zwischen Energieertrag am Standort und Referenzertrag (beides ermittelt auf Basis derselben Kennlinie)

E_{frei}: Energieertrag bei freier Anströmung der für die WEA am Standort ermittelt wurde (Bruttoertrag)

R: Referenzertrag des Anlagentyps

⁵⁹ Diese definiert die Abschattungseffekte der Anlage bezogen auf die Windgeschwindigkeit (Ct = Thrust coefficient).

⁶⁰ Zusätzlich ist oftmals noch eine Unsicherheitsanalyse notwendig. Diese bemisst die Unsicherheit der Ertragsprognose und setzt sich aus verschiedenen Komponenten zusammen. Darauf wurde in diesem Fall verzichtet, da die Unsicherheitsbetrachtung eines Windgutachtens den in einer Bachelor-Arbeit möglichen Rahmen sprengen würde.

Alle WEA, die dabei einen Wert über 60 % erreichen, erfüllen die Bedingungen für eine Vergütung und das in dieser Arbeit festgelegte Kriterium zur Bestimmung einer Konzentrationszone. Aus diesen Berechnungen ergibt sich, dass die Anlagen, die auf der Potentialfläche 1 und 5 stehen, unterhalb des Grenzwertes von 60 % des Referenzertrags liegen. Somit scheiden diese beiden Flächen als Konzentrationszonen aus. Alle anderen Anlagen erbringen einen theoretischen Ertrag, der über 60 % des Referenzertrags liegt. Diese Flächen können nun endgültig als Konzentrationszonen bezeichnet werden, da sie sich für die Nutzung der Windenergie eignen würden. Diese Konzentrationszonen könnten als Vorranggebiete ausgeschrieben werden.

Beispielrechnung für Anlage 1a:⁶¹

E_{frei} : 2964 MWh (Bruttoertrag; siehe Anhang WindPro Auswertung S.8)

R : 25798,09 kWh (Referenzertrag der Vestas V80-2.0MW)

$$VER = \left(\frac{5 * 2964}{25798,09} \right) * 100\% = 57,44\%$$

Schließlich wird noch der Nettoertrag der Anlagen bestimmt, also der Ertrag, den die Anlagen, bedingt durch die Parkkonfiguration und die damit verbundene Abschattung, wirklich erzielen würden. Aus dem Verhältnis zwischen Brutto- und Nettoertrag ergibt sich der Parkwirkungsgrad, der Aufschluss darüber gibt, wie viel Ertragsverluste durch die Abschattung zustande kommen. Dieser liegt laut BWE in der Regel⁶² zwischen 85 % und 97 % (BWE: Parkeffekt). Der Parkwirkungsgrad der einzelnen geplanten Windparks (jeweils auf den einzelnen Konzentrationszonen) liegt zwischen 87,3 % und 97,7 %. Da in diesem Fall eine bestmögliche Ausnutzung der Fläche geplant wird, sind diese Werte sehr passabel.

Aus der Summe der Nettoerträge ergibt sich die Energie, die auf allen Konzentrationszonen zusammen (mit diesem Anlagentyp), erwirtschaftet werden könnten. So ergibt sich ein gesamter mittlerer Ertrag von mehr als 613 GWh pro Jahr.

⁶¹ Konzentrationszone 1, Anlage a

⁶² Was in diesem Zusammenhang „in der Regel“ genau bedeutet wird vom BWE nicht weiter definiert. Hilfreich wären z. B. Informationen zur Parkgröße, die dafür zugrunde gelegt wurde.

Zwischenergebnis:

Es eignen sich 30 Flächen als Konzentrationszonen, 16 Flächen (A33-A48) scheiden wegen zu geringer Größe aus, auf zwei weiteren Flächen (1 und 5) lassen sich mit der Vestas V80 nur geringe Erträge erzielen, weshalb auch diese Flächen ausscheiden.

Es ergibt sich ein gesamter mittlerer Jahresertrag von 613 GWh.

Der erzielte Anteil des Referenzertrags (in %) sowie die Brutto-/ Nettoerträge und der Parkwirkungsgrad jeder Anlage finden sich im Anhang (S.8: WindPro Auswertungen).

6. Auswertung

6.1 Energie und CO₂-Einsparungspotentiale

Um die CO₂-Einsparungen ermitteln zu können, muss nun noch der Energieverbrauch im Landkreis Lüneburg und die durch Stromproduktion bedingten CO₂-Emissionen ermittelt werden. Da leider noch keine Energiebilanz für den Landkreis Lüneburg vorliegt, muss zur Ermittlung des CO₂-Ausstoßes, bedingt durch den Endenergieverbrauch⁶³, die Energiebilanz des Landes Niedersachsen herangezogen werden. Diese Energiebilanz wurde im Auftrag des Niedersächsischen Umweltministeriums erstellt und enthält unterschiedlichste Niedersächsische Energie- und CO₂-Bilanzen für das Jahr 2004 (Pestel Institut 2007).

6.1.1 Berechnung des Energiebedarfs im Landkreis LG

Zum Berechnen des Endenergieverbrauchs im Landkreis Lüneburg wird der Bruttoendenergieverbrauch⁶⁴ des Landes Niedersachsen im Jahr 2004 herangezogen. Die Energie, die im Umwandlungsbereich benötigt wird, wird dabei mit einbezogen, weil sie erforderlich ist, um die im Energieträger gebundene Energie in Form von Strom für den Endverbraucher bereitzustellen (Pestel Institut 2007, S.3).

Da bei der Energieproduktion durch erneuerbare Energien kein zusätzliches CO₂ produziert wird, muss deren Anteil an der Stromproduktion berücksichtigt werden. Weil diese Energie natürlich verbraucht wird, muss ihr Anteil am Endverbrauch zunächst subtrahiert werden.

So ergibt sich ohne die Energieproduktion durch erneuerbare Energien für das Land Niedersachsen ein Bruttoendenergieverbrauch, durch den CO₂ emittiert wird, von ca. 50779 GWh.

⁶³ Der Endenergieverbrauch errechnet sich aus dem energetischen Endverbrauch von Strom und den Transportverlusten.

⁶⁴ Der tatsächliche Energieverbrauch durch Endverbraucher plus dem Energieverbrauch im Umwandlungsbereich.

Rechnung 1: Bruttoendenergieverbrauch der aus konventionellen Energiequellen gedeckt wird:

$$\text{Bruttoendenergieverbrauch} - \text{Beitrag zur Energiebereitstellung durch EE} = \\ 59163 \text{ GWh} - 8384,4 \text{ GWh} = 50778,6 \text{ GWh}$$

Dieser Verbrauch muss nun auf den Landkreis Lüneburg übertragen werden. Da keine spezifischen Werte für einzelne Regionen vorliegen, wird davon ausgegangen, dass jeder Endverbraucher in Niedersachsen durchschnittlich die gleiche Menge Strom benötigt. Um den Energieverbrauch im Landkreis zu bestimmen, wird der Energieverbrauch pro Einwohner des Landes Niedersachsen berechnet. Dazu werden die Daten des Landesbetriebes für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen herangezogen (LSKN 2004). Da das Basisjahr der Energiebilanz das Jahr 2004 ist, werden auch hier die Bevölkerungsdaten eben dieses Jahres benutzt.

Es ergibt sich ein Energieverbrauch von durchschnittlich ca. 6,4 MWh/a pro Einwohner.

Rechnung 2: Bruttoenergieverbrauch aus konventionellen Energiequellen pro Bürger in Niedersachsen:

$$\frac{\text{Bruttoenergieverbrauch}}{\text{Einwohner}_{\text{Niedersachsen}}} = \frac{50778,6 \text{ GWh}}{7993415} = 0,006353 \text{ GWh} = 6,353 \text{ MWh/Einwohner}$$

Dies mag auf den ersten Blick sehr viel erscheinen, es muss aber berücksichtigt werden, dass dabei auch der Energieverbrauch durch Industrie und Gewerbe auf die Bevölkerung umgelegt wurde.

Dieser Energieverbrauch wird auf die Bevölkerung im Landkreis übertragen.

So ergibt sich bei 173164 Einwohnern im Jahr 2004 (Katasteramt Lüneburg 2004) ein Gesamtenergieverbrauch des Landkreises von ca. 1100 GWh.

Rechnung 3: CO₂-Emittierender Energieverbrauch im Landkreis LG :

$$\text{Energieverbrauch pro Einwohner Niedersachsens} * \text{Einwohner des Landkreises LG} \\ = 6,353 \text{ MWh/Einwohner} * 173164 = 1100033,7 \text{ MWh} = 1100,03 \text{ GWh (gerundete Werte)}$$

6.1.2 Berechnung des CO₂-Einsparungspotentials

Für die Berechnungen der möglichen CO₂-Einsparungen wird davon ausgegangen, dass die bestimmten Potentialflächen vollständig genutzt werden. Grundlage für die Berechnungen sind die berechneten Energieerträge der V80 2.0 MW mit einer Nabenhöhe von 100 m.

Um die Einsparpotentiale zu bestimmen, müssen zuerst die CO₂-Emissionen, die durch die Bereitstellung der im Landkreis benötigten Energie entstehen, berechnet werden. Dazu werden wieder die Niedersächsischen Energie- und CO₂-Bilanzen verwendet.

Für das Land Niedersachsen wurde ein endenergieverbrauchsspezifischer CO₂-Ausstoß von ca. 34 Mio. t zur Bereitstellung von Energie in Form von elektrischem Strom bestimmt (Pestel Institut 2004). Das entspricht einem CO₂-Ausstoß von ca. 679 t pro GWh Strom aus konventioneller Energiegewinnung.

Rechnung 4: CO₂-Emissionen pro GWh Strom (ohne EE):

$$\frac{\text{CO}_2 - \text{Ausstoß}_{\text{durch Bereitstellung von Strom in Nds.}}}{\text{Energiebedarf}_{\text{Niedersachsen}}} = \frac{34460000 \text{ t}}{50778,6 \text{ GWh}} = 678,63 \text{ t/GWh}$$

Exkurs zum Vergleich: In Deutschland liegt der Wert der CO₂-Emissionen zur Bereitstellung von Strom bei 600 g/kWh (entspricht 600 t/GWh) in dieser Berechnung sind allerdings 12 % Ökostrom enthalten (Herminghaus 2009).

Würde für die Berechnung des CO₂-Ausstoß pro GWh Strom in Niedersachsen der Ökostromanteil mit einbezogen, läge der Wert nicht bei 679 t/GWh bzw. 679 g/kWh sondern bei ca. 582 g/kWh also leicht unter dem bundesdeutschen Durchschnitt.

Für den Landkreis Lüneburg bedeutet das einen jährlichen CO₂-Ausstoß von ca. 746518 t.

Rechnung 5: CO₂-Emissionen im Landkreis LG:

*CO₂-Emissionen pro GWh Strom * CO₂-Emittierender Energieverbrauch im Landkreis LG*

*= 678,63 t/GWh * 1100,03 GWh = 746518,41 t (durch gerundete Werte leichter Unterschied zum Ergebnis)*

Nun kann die jährliche Energieproduktion durch die Windenergienutzung auf allen Potentialflächen herangezogen werden – diese beträgt 613 GWh. Durch diese Energiemenge könnten im Landkreis knapp 56 % der Energieproduktion durch konventionelle Energiequellen ersetzt (Rechnung 8) und ca. 48 % des Gesamtenergieverbrauchs gedeckt werden (Rechnung 9,10)⁶⁵. So könnten insgesamt fast 416341 t CO₂ (ca. 56 %) eingespart werden (Rechnung 6,7).⁶⁶

Bei anderen Anlagen, die mehr Ertrag liefern, wären natürlich größere Einsparungen möglich.

Rechnung 6: Berechnung der CO₂-Einsparungen:

*CO₂-Emissionen pro GWh Strom * Energiebereitstellung durch neue WEA*

*= 678,63 t/GWh * 613,5 GWh = 416340,94 t*

Rechnung 7: Prozentualer Anteil der Eingesparten CO₂-Emissionen am Gesamten CO₂-Ausstoß:

$$\frac{CO_2 - \text{Einsparungen}_{\text{durch neue WEA}}}{CO_2 - \text{Emissionen}_{\text{im Landkreis LG}}} * 100\% = \frac{416340,94 \text{ t}}{746518,4 \text{ t}} * 100\% = 55,77\%$$

⁶⁵ Dazu muss wieder der gesamte Energieverbrauch inklusive der Energie, die durch EE erzeugt wird, betrachtet werden.

⁶⁶ Die benötigte Energie und der damit verbundene CO₂-Ausstoß für Produktion und Errichtung einer WEA Anlage wurden bei der Berechnung nicht berücksichtigt, da die Amortisationszeit lediglich 3-6 Monate beträgt (Wagner 2005).

Rechnung 8: Ersetzbare konventionelle Energieproduktion:

$$\frac{\text{Energiebereitstellung_durch_neue_WEA}}{\text{CO}_2 - \text{Emittierender_Energieverbrauch_im_Landkreis_LG}} * 100\% \\ = \frac{613,5_GWh}{1100,03_GWh} * 100\% = 55,77\%$$

Rechnung 9: Berechnung des Gesamten Bruttoendenergieverbrauchs im Landkreis LG

(Inklusive der EE):

$$\left(\frac{\text{Gesamter_Bruttoendenergieverbrauch}}{\text{Einwohner_Niedersachsen}} \right) * \text{Einwohner_Landkreis_LG} \\ = \left(\frac{59163_GWh}{7993415} \right) * 173164 = 1281,67_GWh$$

Rechnung 10: Berechnung der Deckung des Gesamtenergieverbrauchs:

$$\frac{\text{Energiebereitstellung_durch_neue_WEA}}{\text{Gesamter_Endenergieverbrauch}} * 100\% = \frac{613,5_GWh}{1281,67_GWh} * 100\% = 47,87\%$$

Die Excel-Tabelle, mit der diese Rechnungen durchgeführt wurden, findet sich im Anhang als Dokument (S.13: Energie- und CO₂-Berechnungen), der digitalen Form der Arbeit liegt auch die Excel-Datei bei, so dass die Formeln nachvollzogen werden können.

6.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

- Dezentrale Energieversorgung ist ein wichtiger Aspekt der Energieversorgungsstrukturen der Zukunft. Dadurch ergeben sich viele wichtige wirtschaftliche Vorteile für die Region, die Umsetzung von Maßnahmen für den Klimaschutz kann beschleunigt und eine nachhaltige Entwicklung gewährleistet werden. Das Leitbild „CO₂-neutraler und energieautarke Landkreis Lüneburg“ dient dabei als Hilfestellung für die Politik die gesetzten Ziele zu erreichen.
- Im Landkreis Lüneburg stehen insgesamt 48 Potentialflächen für die Windenergienutzung zur Verfügung. Diese werden durch die Ausschlussgebiete und die dazugehörigen Pufferzonen eingegrenzt. Nicht alle dieser Flächen eignen sich für die Windenergienutzung, es scheiden 16 Flächen (A33-A48) wegen zu geringer Größe aus, denn auf diesen Flächen können maximal 2 Windenergieanlagen des Typs Vestas V80 errichtet werden. Zwei weitere Flächen (1 und 5) ist die Windenergienutzung aufgrund der klimatologischen Windbedingungen als nicht empfehlenswert, diese scheiden wegen zu geringem Energiepotential aus. Insgesamt bleiben 30 Flächen übrig, die sich als Konzentrationszonen eignen und als Vorranggebiete ausgeschrieben werden könnten.
- In den 30 Konzentrationszonen könnten bei vollständiger Nutzung 190 Anlagen des Typs Vestas V80 errichtet werden. Durch diese Nutzung könnte ein mittlerer langjähriger Jahresertrag von ca. 613 GWh erzielt werden. Dieser Ertrag könnte ca. 48 % des gesamten Stromverbrauchs (1280 GWh pro Jahr) im Landkreis decken, somit könnten ca. 56 % (516341 t) der Stromerzeugungsbedingten CO₂-Emissionen (746518 t) vermieden werden und ca. 56 % der konventionellen Stromerzeugung ersetzt werden.

7. Fazit

Fortschreitender Klimawandel, Verknappung der Ressourcen und Umweltzerstörung, die mit der Nutzung konventioneller Energien einhergehen, machen deutlich, dass langfristig sowohl technologisch, wirtschaftlich als auch gesellschaftlich kein Weg an den erneuerbaren Energien vorbeiführt.

Dazu ist es wichtig, eine nachhaltige Entwicklung auf regionaler Ebene voranzutreiben. Die Auseinandersetzung der Universität Lüneburg mit erneuerbaren Energien, 100%-EE-Konzepten sowie die Einrichtung der Klimaschutzleitstelle und das Eckpunktepapier von SPD und Bündnis 90/Die Grünen sind wichtige Faktoren, die zeigen, dass solch eine Entwicklung im Landkreis stattfindet.

Ziel dieser Arbeit war es, eine Grundlage für weitere politische und planerische Maßnahmen zu liefern, mögliche Konzentrationszonen als Diskussionsgrundlage für die Ausschreibung neuer Vorranggebiete herauszuarbeiten und den möglichen Beitrag eines Ausbaus der Windenergienutzung zu einem CO₂-neutralen und energieautarken Landkreis sowie die Stärken dezentraler Energieversorgung aufzuzeigen.

Diese Arbeit wurde mit vorsichtigen Berechnungen durchgeführt, um eine Überschätzung des Potentials zu vermeiden. So ist die Vestas V80 eine Anlage mit nur 2 MW Leistung, einem relativ kleinen Rotordurchmesser und niedriger Energieproduktion – in Zukunft werden aber weitaus leistungsstärkere Anlagen zum Standard werden.

Die Analyse der Energiepotentiale anderer Anlagentypen könnte hier ein Ansatzpunkt sein um zu bestimmen, welcher Anlagentyp am besten für die bestimmten Flächen geeignet ist.

Ein weiterer Anknüpfungspunkt an diese Arbeit wäre, die herausgearbeiteten Konzentrationszonen genauer auf ihre Eignung zur Windenergienutzung zu untersuchen. So könnte durch eine Besichtigung der Flächen mit Experten die Eignung aus baulicher Sicht (z. B. der Bodenbeschaffenheit) und der Erschließbarkeit der Flächen geprüft werden.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist der des Repowerings, dieser wurde bei der vorliegenden Arbeit vollständig ausgelassen. Repowering bedeutet alte WEA durch neue leistungsstärkere Anlagen zu ersetzen, so lassen sich an vielen Standorten deutlich höhere Erträge mit weniger Anlagen erzielen, ein großes Potential für eine Leistungssteigerung und eine weitere Möglichkeit, die CO₂-Emissionen zu reduzieren (BWE: Repowering).

Die methodischen Grundlagen dieser Arbeit bilden die Ausarbeitung der Potentialflächen mit GIS, die Erstellung der Windmap mit Hilfe von WASP und die Parkplanung sowie die Ertragsberechnung mit WindPro. Bei dieser Vorgehensweise traten teilweise Ungenauigkeiten auf, wie z. B. die mögliche Nichtberücksichtigung von Ausschlussflächen, die in den Datengrundlagen nicht enthalten waren. Außerdem sind Abstandregelungen sehr konservativ bemessen, das erhöht zwar die Wahrscheinlichkeit, dass diese Flächen tatsächlich als Vorranggebiete ausgeschrieben werden können, allerdings wären hierbei durch bessere rechtliche Bestimmungen noch größere Potentialflächen möglich. So können die Pufferzonen in manchen Fällen je nach Zielausrichtung oder Vorgaben auch anders ausfallen.

Des Weiteren sind die erwähnten Unsicherheiten der WASP Berechnungen und die geringe Auflösung der Windmap zu nennen. Um die Unsicherheiten einschätzen zu können, könnte eine Unsicherheitsanalyse der WASP-Methode durchgeführt werden. Auch die gesamte Betrachtung der Windverhältnisse eines Gebiets von 100x100 km entspricht nicht der windgutachterlichen Praxis. Um die Windverhältnisse genauer bestimmen zu können, müsste jede Potentialfläche einzeln betrachtet werden.

Die im Rahmen dieser Bachelorarbeit vorgenommenen Potentialabschätzungen können keinen Ersatz für konkrete Planungsarbeiten liefern. Sie könnten aber als Planungsgrundlage für die geplante Neuausschreibung für Windvorrangflächen im Jahr 2013 durch die Kreisverwaltung dienen, denn die Berechnungen zeigen ein ganz klares Ergebnis: Die windklimatologischen Verhältnisse im

Landkreis Lüneburg lassen einen massiven Ausbau der Windenergie zu. Insgesamt wurden 30 Konzentrationszonen herausgearbeitet, die als weitere Vorranggebiete ausgeschrieben werden könnten. Durch die Nutzung aller dieser Flächen könnten mit 190 Anlagen des Typs Vestas V80 2.0MW ca. 613 GWh Strom pro Jahr erzeugt und so fast 48 % des Energieverbrauchs im Landkreis gedeckt werden. Das entspricht einer Reduzierung der energiebedingten CO₂-Emissionen von um fast 56 %. Die Windenergienutzung kann im Landkreis also einen maßgeblichen Beitrag zu einer Umstellung auf erneuerbare Energien leisten. Dadurch sind eine drastische Reduzierung der CO₂-Emissionen und eine Energieversorgung durch lokal erzeugte Energie möglich.

Wichtig ist es, das dieser Arbeit zugrunde liegende Leitbild möglichst schnell in die Realität umzusetzen, mit den Worten des Umweltexperten Russel Trains:
„Die knappste Ressource ist nicht das Öl, nicht das Gas, nicht das Uran; es ist die Zeit, die wir noch haben, um unsere Verhaltensweisen den Anforderungen und Grenzen unserer Umwelt anzupassen.“⁶⁷

⁶⁷ (Petermann, Jürgen 2006 S.21)

8. Literaturverzeichnis

Agentur für Erneuerbare Energien (2010): Klimaschutz durch Erneuerbare Energien. Berlin. Unter: <http://www.unendlich-viel-energie.de/de/politik/klimaschutz.html> (Stand: 01.07.2010)

Agentur für Erneuerbare Energien (2009): Der Strommix in Deutschland im Jahr 2008. Berlin. Unter: <http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/Strommix-2008.jpg> (Stand: 25.07.2010)

Betreiber-Datenbasis: Einführung in den BDB-Index der Betreiber-Datenbasis (BDB). Unter: www.btrdb.de/PDF/IndexEinfuehrung.pdf (Stand: 29.09.2010)

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2007): Klimaschutz größte Menschheitsaufgabe des 21. Jahrhunderts. Berlin.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (06.2009): Klimaschutzpolitik in Deutschland. Berlin.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2009): Erneuerbare Energien in Zahlen: Nationale und Internationale Entwicklung. Berlin.

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2009): Energie in Deutschland: Trends und Hintergründe zur Energieversorgung in Deutschland. Berlin.

Bundesverband Windenergie e.V. (BWE) (2005): Positionspapier: Abstandsempfehlungen für die Planung von Windenergieanlagen. Berlin.

Bundesverband Windenergie e.V. (BWE): 8 Gute Gründe für Windenergie (Präsentation). Berlin.

Bundesverband Windenergie e.V. (BWE): Häufigkeitsverteilung. Unter: <http://www.wind-energie.de/de/technik/skala/weibull/> (Stand: 28.09.2010)

Bundesverband Windenergie e.V. (BWE): Rauigkeitsklassen. Unter: <http://www.wind-energie.de/de/technik/windscherung/rauigkeit/> (Stand: 6.09.2010)

Bundesverband Windenergie e.V. (BWE): Repowering. Unter <http://www.wind-energie.de/de/themen/repowering/> (Stand: 5.10.2010)

deENet (04.2010): Überblick über alle bisher identifizierten 100%-EE-Regionen. Kassel. Unter: [http://100-ee.de/index.php?id=61&tx_ttnews\[tt_news\]=196&tx_ttnews\[backPid\]=50&cHash=2113d7da67](http://100-ee.de/index.php?id=61&tx_ttnews[tt_news]=196&tx_ttnews[backPid]=50&cHash=2113d7da67) (Stand: 30.08.2010)

deENet (2010): 100%-Erneuerbare-Energie-Regionen in Deutschland. Kassel.

Der Präsident Hannover, des Niedersächsischen Landtages (2003): Unterrichtung. Drucksache 15/670. Hannover.

Deutscher Bundestag (2005): Beschlussempfehlung und Bericht des Ausschusses für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (15. Ausschuss): Verordnung zur Änderung der Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen und zur Änderung der Anlage 1 des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung. Drucksache 15/5483. Berlin.

Deutscher Wetterdienst (2008): Windkarten und Winddaten für Deutschland: Bezugszeitraum 1981-1990. Offenbach.

Energie.de (2010): Bruttostromverbrauch. Unter: <https://www.energie.de/lexikon/erklaerung/bruttostromverbrauch.html> (Stand: 04.09.2010)

Europa.eu (17.04.2007): Nachhaltige Stromerzeugung aus fossilen Brennstoffen. Unter: http://europa.eu/legislation_summaries/energy/european_energy_policy/l27068_de.htm (Stand: 04.09.2010)

European Wind Energy Association EWEA) (2009): Wind Energy – The Facts: A guide to the technology, economics and future of wind power. London.

Flasbarth, Jochen (14.03.1010): Nachhaltige Energiewirtschaft - Herausforderungen mit Blick auf Klimaschutz, Versorgungssicherheit und Ressourceneffizienz (Vortrag). Berlin. Unter: http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/reden/nachhaltige_energiewirtschaft_herausforderungen.pdf (Stand: 01.07.2010)

Fördergesellschaft Windenergie e.V. (2007): Technische Richtlinien für Windenergieanlagen: Teil 6: Bestimmung von Windpotential und Energieerträgen. Revision 7, Kiel.

Frank, Højstrup, Landberg, Mortensen, Petersen (Risø) (1997): Wind Power Meteorology.

Gatz, Stephan (11.2009): Windenergieanlagen in der Verwaltungs- und Gerichtspraxis. Bonn.

Gatz, Stephan (2009): Rechtsfragen der Windenergienutzung. In: Deutsches Verwaltungsblatt, 124. Jg., Heft 12, S. 737-800.

Greenpeace (2009): Subventionen der Atomenergie, Greenpeace-Studie: Erste umfassende Bilanzierung der staatlichen Förderung von Atomkraft in Deutschland. Hamburg.

Herminghaus, Harald (2009): CO₂-Vergleich bei der Stromerzeugung in Deutschland. Unter: <http://www.co2-emissionen-vergleichen.de/Stromerzeugung/CO2-Vergleich-Stromerzeugung.html> (Stand: 05.10.2010)

Hoppe-Klipper, Martin (2003): Entwicklung der Windenergietechnik in Deutschland und der Einfluss staatlicher Förderpolitik: Technikentwicklung in den 90er Jahren zwischen Markt und Forschungsförderung. Kassel.

Internationales Wirtschaftforum Erneuerbare Energien, IWR (2010): Genehmigungsverfahren von Windenergieanlagen und Planungsaspekte. Unter: <http://www.iwr.de/wind/raum/genehm030801.html> (Stand: 11.08.2010)

Juwi/ GenoPortal (28.10.2009): Energieversorgung: autark und selbstbestimmt (Pressemitteilung). Unter: [http://www.juwi.de/presse/linke-navigation/archiv-presse-meldungen/aktuelles-details/browse/2/article/180-fachleute-diskutieren-bei-juwi-dezentrale-energiekonzepte.html?tx_ttnews\[pS\]=1217015671&tx_ttnews\[backPid\]=6&cHash=a12994646f](http://www.juwi.de/presse/linke-navigation/archiv-presse-meldungen/aktuelles-details/browse/2/article/180-fachleute-diskutieren-bei-juwi-dezentrale-energiekonzepte.html?tx_ttnews[pS]=1217015671&tx_ttnews[backPid]=6&cHash=a12994646f) (Stand: 01.07.2010)

Katasteramt Lüneburg (2004): Statistische Angaben zum Landkreis Lüneburg mit seinen Städten und Gemeinden. Lüneburg.

Kompetenznetzwerk Dezentrale Energietechnologien (2010): Kompass für die Entwicklung nachhaltiger 100%-erneuerbare.Energie-Regionen. Kassel.

Krebs, Henning, Kuntzsch, Jörg (2000): Ertragsprognosen, Windernten und das reale Windklima. In: Windenergie Journal, 01/2000, S.43-50.

Kreis Steinfurt (2008): Windeignungsbereiche im Kreis Steinfurt. Steinfurt.

Landesbetrieb für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen (LSKN) (2004): Regionale Vorausschätzungen der Bevölkerung für die Jahre 2004-2011 Unter: <http://www1.nls.niedersachsen.de/statistik/html/mustertabelle.asp?DT=Z1010111&LN=DBP&DA=1> (Stand: 04.09.2010)

Landesumweltamt Essen (1998): Mindestabstände zur Wohnbebauung. Unter: <http://www.iwr.de/re/iwr/info981a.html> (Stand: 11.08.2010)

LROP (1994): Landes-Raumordnungsprogramm Niedersachsen: Lesefassung. Hannover. Unter: http://www.ml.niedersachsen.de/live/live.php?navigation_id=1378&article_id=5062&psmand=7 (Stand: 11.08.2010)

Lüneburg.de: Fraktionen und Gruppen. Unter: <http://www.lueneburg.de/desktopdefault.aspx/tabid-890/> (Stand: 05.09.2010)

Meteorology and Wind Energy Department Risø National Laboratory (Risø Lab) (1990): Europäischer Windatlas. Roskilde, Dänemark.

Molly, J.P. (DEWI) (30.06.2009): Status der Windenergienutzung in Deutschland. Wilhelmshaven. Unter:

[http://www.dewi.de/dewi/index.php?id=66&L=1&tx_ttnews\[tt_news\]=75&tx_ttnews\[backPid\]=47&cHash=dcf4c6e793320a9e9af95e4802517e37](http://www.dewi.de/dewi/index.php?id=66&L=1&tx_ttnews[tt_news]=75&tx_ttnews[backPid]=47&cHash=dcf4c6e793320a9e9af95e4802517e37) (Stand: 01.07.2010)

Neddermann, B. (DEWI) (30.6.2010): Status der Windenergienutzung in Deutschland. Wilhelmshaven. Unter:

http://www.dewi.de/dewi/fileadmin/pdf/publications/Statistics%20Pressemitteilungen/30.06.10/Statistik_1HJ_2010.pdf (Stand: 08.09.2010)

Niedersächsischer Landkreistag (2007): Naturschutz und Windenergie: Hinweise zur Berücksichtigung des Naturschutzes und der Landschaftspflege sowie zur Durchführung der Umweltprüfung und Umweltverträglichkeitsprüfung bei Standortplanung und Zulassung von Windenergieanlagen. Hannover.

Niedersächsisches Ministerium für den ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2004): Raumordnung; Empfehlungen zur Festlegung von Vorrang- oder Eignungsgebieten für die Windenergienutzung; Bezug: RdErl. d. MI vom 11.07.1996, Az. 39.1-32346/8.4. Hannover.

Pestel Institut (2007): Niedersächsische Energie- und CO₂- Bilanzen 2004. Hannover. Unter: <http://www.kuk-nds.de/content,529.html> (Stand: 04.09.2010)

Petermann, Jürgen (2006): Die Kunst des Feuermachens. In: Petermann, Jürgen (Hrsg.): Sichere Energie im 21. Jahrhundert. Hamburg, S. 13-23.

Rosenblatt, Sabine (2006): Geo-Green: Amerikas neue politische Farbe. In: Petermann, Jürgen (Hrsg.): Sichere Energie im 21. Jahrhundert. Hamburg, S. 367-374.

Rosenkranz, Gerd (2006): Die Fronten im Energiestreit: Trägheit der Systeme. In: Petermann, Jürgen (Hrsg.): Sichere Energie im 21. Jahrhundert. Hamburg, S. 37-50.

RROP Hannover (2005): Begründung/Erläuterung zur Beschreibenden Darstellung. Unter:

http://www.hannover.de/de/umwelt_bauen/behoerden/umweltbehoerden/dezill/fb_plan/RH_RROP_2005/index.html (Stand: 11.08.2010)

Runge, Karsten (2006): Repowering von Windenergieanlagen und Abstandsempfehlungen der Länder. Hamburg.

Sächsische Energieagentur - SAENA GmbH, Pilsnoik (2009): Entwicklung energieautarker Modellregionen in Sachsen. Dresden. Unter:

http://www.saena.de/Saena/Kommunen_Oeffentlicher_Bereich/Energieautarke_Modellregionen.html (Stand: 10.08.2010)

Spannowsky, Willy/ Weick, Thophil/ Gouverneuer, Herbert (2004): Raumordnerische Steuerung der Windenergienutzung im Lichte aktueller Rechtsprechung. In: Umwelt- und Planungsrecht, Heft 5, S. 161-168. Kaiserslautern.

SPD und Bündnis 90/Die Grünen: Kräfte bündeln für die Region – Gemeinsam für den Landkreis Lüneburg – Eckpunkte der Gruppe aus den Fraktionen der SPD und Bündnis90/Die Grünen im Landkreis Lüneburg für 2010 – 2016. Unter: http://www.spd-kreis-lueneburg.de/imperia/md/content/bezirkhannover/ublueenburg/gruppenvereinbarung_2010.pdf (Stand: 05.09.2010)

Tagesschau.de (2008): Steinkohlebergbau in Deutschland: 2018 ist Schicht im Schacht. Hamburg. Unter:

<http://www.tagesschau.de/wirtschaft/steinkohle4.html> (Stand: 04.09.2010)

Thiele, Simone (2008): Elektrizitätserzeugung durch Windenergie: Von Onshore- zu Offshore-Standorten. Hamburg.

Thom, Siegfried (2000): Festlegung von Vorrangstandorten für Windenergienutzung im Regionalen Raumordnungsprogramm. In: Informationen des Naturschutz Niedersachsen, 20. Jg. Nr. 3, S. 141-149.

Umweltbundesamt (UBA) (2010): Energieziel 2050: 100% Strom aus erneuerbaren Quellen. Klaus, Lehmann, Müschen, Vollmer, Werner, (Verfasser). Dessau-Roßlau.

Umweltbundesamt (UBA) (03.2008): Atomausstieg und Versorgungssicherheit. Dessau-Roßlau.

Verband der Elektrotechnik, Elektronik, Informationstechnik e.V. (VDE) (2007): Studie: Dezentrale Energieversorgung 2020. Frankfurt. Unter: <http://www.vde.de/de/fg/ETG/Arbeitsgebiete/Dezentrale%20Versorgungsstrukturen/Aktuelles/Oeffentlich/Seiten/StudieDezentraleEnergieversorgung.aspx> (Stand: 06.07.2010)

Wagner, Prof. Dr.-Ing. Hermann-Josef (RUBIN / Ruhr-Universität Bochum) (2005): Wie sauber sind die weißen Riesen? Energiebilanzen von Windenergieanlagen. Heidelberg, Düsseldorf.

Wind-energie.de: Einfluss des Abstands und Verminderung des Parkeffekts. Unter: <http://www.wind-energie.de/de/technik/windscherung/parkeffekt/> (Stand: 05.09.2010)

Windpower.org (2003): Die Windrose. Unter: <http://www.talentfactory.dk/de/tour/wres/rose.htm> (Stand: 12.09.2010)

Winkler, Wolfgang, Strack, Martin, Westerhellweg, Annette (2003): Normierung und Bewertung von Winddaten und Energieerträgen von Windparks. In: DEWI Magazin, Nr. 23. S.76-84.

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG): Windkarten. Unter: <http://www.zamg.ac.at/klima/klimadaten/windkarten> (Stand: 28.09.2010)

23grad, Netzwerk Umwelt und Nachhaltigkeitswissenschaften e.V. (2009): 23grad-Energy Tour 2010. Lüneburg.

50Hertz Transmission GmbH (2010): 50Hertz - Sichere Stromversorgung für mehr als 18 Millionen Menschen. Unter: http://www.50hertz-transmission.net/cps/rde/xchg/trm_de/hs.xsl/index.htm (Stand: 08.10.2010)

Gesetze, und Lexika:

BauGB: Baugesetzbuch, Fassung der Bekanntmachung vom 23. September 2004 (BGBl. I S. 2414), zuletzt durch Artikel 4 des Gesetzes vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585) geändert.

BauNVO: Verordnung über die Bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung), Fassung der Bekanntmachung vom 23. Januar 1990 (BGBl. I S. 132), durch Artikel 3 des Gesetzes vom 22. April 1993 (BGBl. I S. 466) geändert.

BbgNatSchG: Gesetz über den Naturschutz und die Landschaftspflege im Land Brandenburg (Brandenburgisches Naturschutzgesetz - BbgNatSchG), Fassung der Bekanntmachung vom 26. Mai 2004, GVBl. I S. 350.

BImSchG: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG), Fassung der Bekanntmachung vom 26. September 2002 (BGBl. I S. 3830), zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 11. August 2010 (BGBl. I S. 1163) geändert.

BNatSchG: Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz - BNatSchG), als Artikel 1 des G v. 29.7.2009 I 2542 vom Bundestag beschlossen. Es tritt gem. Art. 27 Satz 1 dieses Gesetz am 1.3.2010 in Kraft.

EEG: Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz), 25. Oktober 2008 (BGBl. I S. 2074), zuletzt durch das Gesetz vom 11. August 2010 (BGB I. S. 1170) geändert.

Brockhaus multimedial (2008): Potential.

Duden (duden.de): Windhöffigkeit.

energie-lexikon.info (2010): CO2-neutral. Unter: http://www.energie-lexikon.info/co2_neutral.html (Stand: 04.09.2010)

Danksagungen:

Ich möchte allen, die mich bei dieser Arbeit unterstützt haben, herzlich danken:

Meinen Korrekturleser/innen:

Dr. Alexa Lutzenberger

Anastasia Reschke

Daniel Miksa

Marie-Luise Hillebrenner

Hannah Storck

Jessica Rautenstrauch

Für die inhaltliche und fachliche Unterstützung:

Dr. Alexa Lutzenberger (Leuphana Universität Lüneburg)

Jessica Rautenstrauch (anemos GmbH)

Lasse Blanke (anemos GmbH)

Martin Kolbe (anemos GmbH)

Für das Bereitstellen von Daten und Informationen:

der anemos GmbH (Ins besondere Dr. Heinz-Theo Mengelkamp)

Burkhard Kallife (Landkreis Lüneburg - Fachdienst Bauen)

Claudia Hopp (Landkreis Lüneburg - Fachdienst Bauen)

Heiko Bassen (Katasteramt Lüneburg)

Stefanie Slowek-Klaus (Klimaschutzleitstelle Lüneburg)

Prof. Dr. Wolfgang Ruck (Leuphana Universität Lüneburg)

A. Anhangsverzeichnis:

anemos Windatlas Dokument.....	1
Referenzen aufbereitet.....	4
Leistungskennlinie Vestas V80-2.0MW.....	6
WindPro Auswertung.....	8
Energie- und CO ₂ -Berechnungen.....	13
WEA im Landkreis LG.....	15
Selbstständigkeitserklärung.....	17

B. Elektronischer Anhang:

1. GIS-File: Layer Potentialflächen und Ausschlussgebiete
2. GIS-File: Layer: Windmap
3. Excel Tabelle: Energie- und CO₂-Berechnungen
4. Excel Tabelle: Referenzen aufbereitet

anemos Windatlas Dokument WEA1

Einordnung von WEA-Ertragszeitreihen und Windmessungen in den Referenzzeitraum

Für die Einordnung von WEA-Ertragszeitreihen und Windmessungen in einen repräsentativen Referenzzeitraum (1980 – 2009) verwendet anemos den anemos Windatlas Deutschland. Der anemos Windatlas Deutschland wird mithilfe des mesoskaligen meteorologischen Modells PSU/NCAR-MM5¹ erstellt. Er nutzt dabei die bekannten NCEP/NCAR-Reanalysis-Daten² als Eingangs- bzw. Antriebsdaten. Somit können die Vorteile des NCEP/NCAR-Reanalysis-Datensatzes – Konsistenz, Homogenität, Länge der Zeitreihe (ab 1948), ständige Aktualisierung, Verfügbarkeit über Land und Meer – erhalten bzw. verstärkt werden. Auf der anderen Seite werden mit dem anemos Windatlas Deutschland die Nachteile der NCEP/NCAR-Reanalysis-Daten – geringe räumliche Auflösung (2,5° Länge und Breite), relativ geringe zeitliche Auflösung – überwunden.

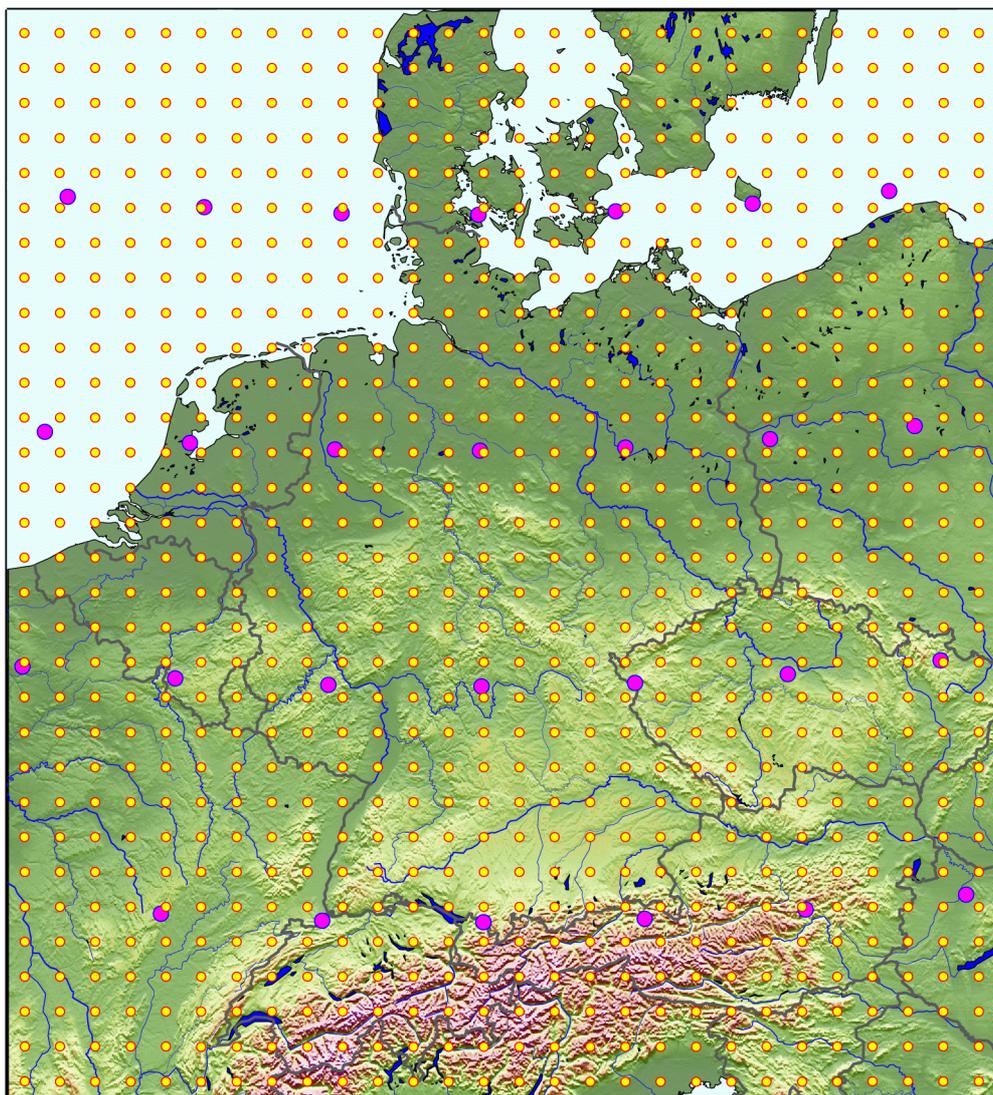


Abb. NCEP 1: Lage der Modellpunkte des anemos Windatlas Deutschland ● und der NCEP/NCAR Reanalysis Knoten ●

1 <http://www.mmm.ucar.edu/mm5/mm5-home.html>

2 NCEP Reanalysis data provided by the NOAA-CIRES Climate Diagnostics Center, Boulder, Colorado, USA, from their Web site at <http://www.cdc.noaa.gov/>

Dahlenburg: Vestas V80

NH: 100m

WEA1

Ermittlung des Langzeitertrages

Vorhandene Daten :

Energieerträge: Jan. 2003 - Apr. 2005 (Monatswerte). 1 Monatsertrag fehlt oder wird als Fehlwert angesehen. Verfügbarkeitsangaben sind nicht vorhanden. Für jeden Monatsertrag wird eine Verfügbarkeit von 98% angenommen.

Auswahl der anemos-Deutschland-Atlas-Zelle

Die Auswahl der anemos-Deutschland-Atlas-Zelle erfolgt mittels Regression.

Gewählte anemos-Deutschland-Atlas-Zelle: **10.12°E x 53.26°N**, (150m über Grund, Zeitschritt 3h, zu Monatswerten aggregiert), Standort liegt westlich der gewählten Zelle.

Anpassung der anemos-Deutschland-Atlas -Daten an die Messzeitreihe mittels Regression und Langzeitbezug zum Zeitraum 1980 – 2009

Die Anpassung der anemos-Deutschland-Atlas-Daten an die Messzeitreihe erfolgt mittels einer Regressionsgleichung.

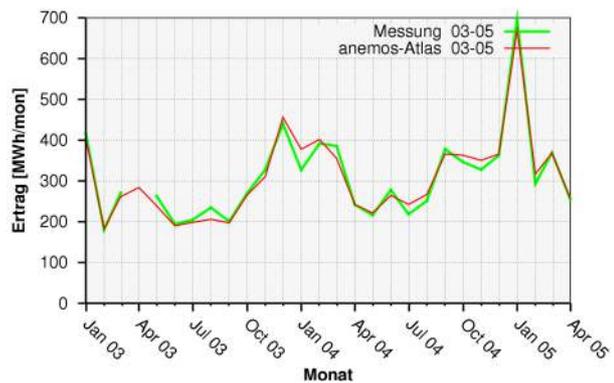
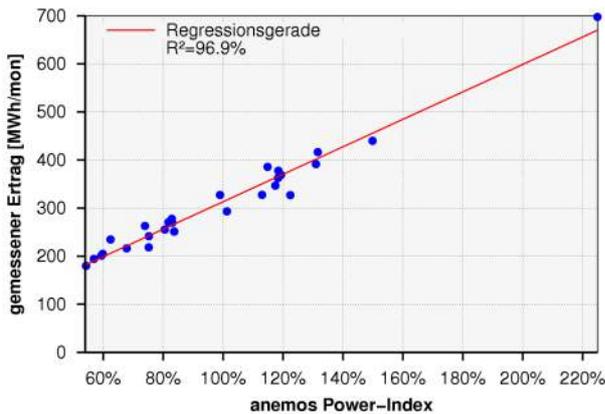


Abb. NCEP 2: Punktwolke des anemos-Power-Index aus anemos-Deutschland-Atlas-Daten gegen den gemessenen Ertrag und die sich daraus ergebende Regressionsgerade.

Abb. NCEP 3: Zeitreihen des gemessenen Ertrags und des mittels Regression aus anemos-Deutschland-Atlas-Daten ermittelten Ertrags für den Messzeitraum

Vergleich mit dem Referenzzeitraum 1980 - 2009 (30 Jahre)

Die adaptierte Zeitreihe der anemos-Deutschland-Atlas-Daten wird auf den repräsentativen Zeitraum 1980-2009 extrapoliert.

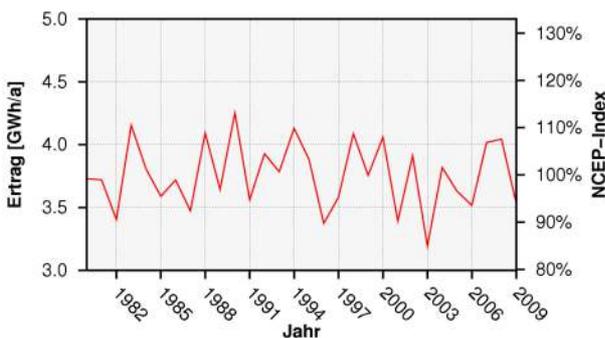


Abb. NCEP 4: Zeitreihe der mittels Regression aus anemos-Deutschland-Atlas-Daten geschätzten Jahreserträge für den Langzeitraum 1980 – 2009.

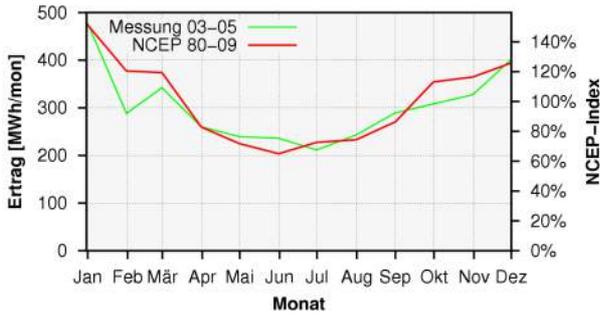


Abb. NCEP 5: Mittlerer Jahrgang des gemessenen Ertrags für den Messzeitraum und für den Langzeitraum.

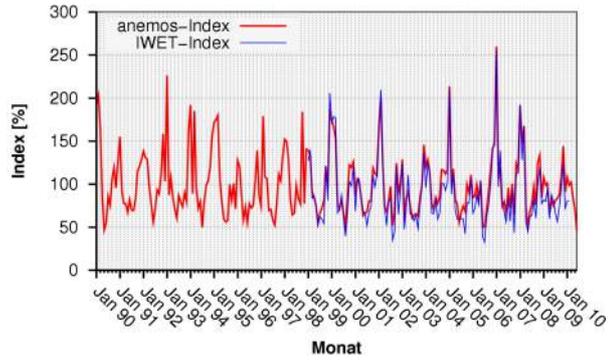


Abb. NCEP 6: Monatlicher Index der Energieproduktion 1990-2009, zum Vergleich ist zusätzlich der IWET-Index der Region 12 eingefügt.

Ergebnis des Langzeitabgleichs:

Im Vergleich Messzeitraum zum Langzeitraum ergibt sich als Ertrags-Index für den Messzeitraum: **98.3%**

Auf der Basis eines 30-jährigen Vergleichszeitraumes ergibt sich ein zu erwartender mittlerer Jahresenergieertrag von: 3.759 GWh/a

Einfluss der Referenzperiode auf die Abschätzung des mittleren Jahresertrags

Zur Abschätzung eines mittleren Jahresenergieertrags wurde der Referenzzeitraum 1980-2009 (30 Jahre) gewählt. Hierbei wurde berücksichtigt, eine Periode zu verwenden, die ausreichend lang ist, um die klimatischen Verhältnisse des Standorts zu erfassen (≥ 30 Jahre) und möglichst nah am aktuellen Zeitpunkt liegt. Jedoch können bei einer Datenbasis von 40 Jahreserträgen ebenso 819 kürzere Perioden mit einer Länge von 1 bis 39 Jahren gewählt werden. Der Einfluss der Auswahl der Periode wird in Abbildung 7 dargestellt. Die Abbildung erlaubt u.a. eine Abschätzung, welche Unsicherheit die Wahl einer relativ kurzen Periode in die Abschätzung der mittleren Jahresertrags einbringt.

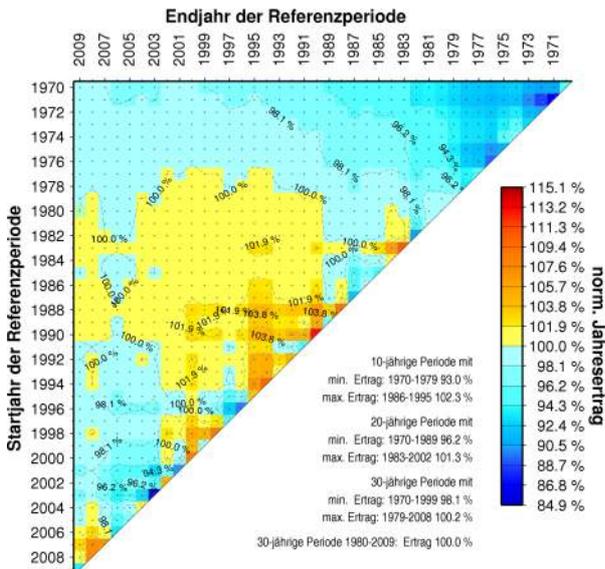


Abb. NCEP 7: Mittlere Jahreserträge auf Grundlage der Anpassung an anemos-Deutschland-Atlas-Daten für alle möglichen Referenzperioden von 1970-2009.

Um den Jahresertrag einer Referenzperiode aus dem Diagramm abzulesen, wird das Startjahr der Periode auf der Y-Achse gewählt und von da aus die Reihe dann waagrecht bis zum Schnittpunkt mit der Spalte des Endjahrs auf der X-Achse verfolgt. Die so gefundene Zelle stellt den gesuchten Jahresertrag dar. Die längste Periode (1970-2009) liegt in der Zelle links oben. Mit Annäherung an die diagonale Begrenzung des Diagramms werden die Perioden entsprechend kürzer.

Anhang

										Fassberg 65m	
	Anlagentyp	Nabenhöhe	Ertragszeitraum	Verfüg. ?	Höhe NN	iwet	anemos Windatlas	mittlerer Ertrag	berechnet (WAsP)	Gütegrad	
Melbeck	E-66/18.70	65 m	Dez 03-Aug 09	ja	46	1986	1781	1884	1996	105,97%	
Melbeck	E-66/18.70	65 m	Dez 03-Aug 09	ja	44	1933	1752	1843	1963	106,54%	
Melbeck	E-66/18.70	65 m	Dez 03-Aug 09	ja	42	1905	1708	1807			
Melbeck	E-66/18.70	65 m	Dez 03-Aug 09	ja	42	1913	1727	1820			
WEA 3+4 Schalloptimiert, deshalb nicht in berechnung mit einbezogen!								Mittelwert	Mittelwert		
Abschattung jedoch berücksichtigt!						1959,50	1766,50	1863	1980		
									106,25%		
										Gesamtgütegrad	
										Fassberg 80m	
	Anlagentyp	NH	Ertragszeitraum	Verfüg. ?	Höhe NN	iwet	anemos Windatlas	mittlerer Ertrag	berechnet (WAsP)	Gütegrad	
Südergellersen	NM 72-1500	80 m	Okt 01-Mrz 10	nein	56	2363	2121	2242		0,00%	
Südergellersen	NM 72-1500	80 m	Okt 01-Mrz 10	nein	56	2290	2002	2146		0,00%	
Südergellersen	NM 72-1500	80 m	Okt 01-Mrz 10	nein	50	2307	1933	2120		0,00%	
Anlagen nich zuzuordnen! Außerdem stehen die zu dicht beieinander!								Mittelwert	Mittelwert		
3 weiter Anlagen am Standort, keine Erträge! Abschattung berücksichtigt!						2320,00	2018,67	2169	2061		
									95,01%		
										Gesamtgütegrad	
										Fassberg 65m	
	Anlagentyp	Nabenhöhe	Ertragszeitraum	Verfüg. ?	Höhe NN	iwet	anemos Windatlas	mittlerer Ertrag	berechnet (WAsP)	Gütegrad	
Rehlingen	E-40/5.40	65	Mrz 00-Mrz 10	nein	90	869	794	832	674	81,06%	
2 weiter Anlagen am Standort, keine Erträge! Abschattung berücksichtigt!											
Gewichtung	Gewichtung	Gesamtgütegrad durch die Gewichtung:				100,76%					
Dalenburg	0,1										
Neetze	0,1										
Embsen	0,3										
Melbeck	0,3										
Südergellersen	0,2										
	1,00										

Leistungskennlinie Vestas V80-2.0MW

MEASURED POWER CURVE: V80-2.0MW OptispeedTM "Mode 105.1dB"							
reference air density: 1.225 kg/m ³ cut-out windspeed: 25 m/s					category A	category B	combined uncertainty standard uncertainty
bin no.	hub height wind speed [m/s]	power output [kW]	cp	no. of data sets (10 min. avg.)	standard uncertainty [kW]	standard uncertainty [kW]	
1	3.14	1.0	0.010	1	0.0	21.1	21.1
2	3.62	40.0	0.274	2	14.5	23.4	27.5
3	4.08	61.7	0.294	7	6.2	21.8	22.7
4	4.58	98.3	0.333	3	6.5	22.9	23.8
5	5.01	151.0	0.390	24	7.2	25.8	26.8
6	5.54	217.1	0.414	31	7.3	26.3	27.3
7	6.00	288.3	0.433	80	4.2	29.3	29.6
8	6.49	371.8	0.441	117	3.8	31.6	31.8
9	7.01	475.8	0.448	161	3.9	35.7	35.9
10	7.50	598.4	0.461	141	4.9	43.6	43.9
11	8.00	741.5	0.471	140	6.0	50.3	50.6
12	8.49	871.4	0.463	117	8.0	49.1	49.7
13	9.01	1037.0	0.461	126	8.1	59.6	60.2
14	9.48	1186.0	0.452	86	10.9	61.6	62.5
15	10.01	1352.0	0.438	48	15.6	64.6	66.5
16	10.47	1487.0	0.421	44	15.8	63.1	65.0
17	10.99	1599.0	0.391	18	28.7	50.8	58.3
18	11.46	1662.0	0.359	8	66.2	37.5	76.1
19	12.04	1854.0	0.345	10	19.5	79.3	81.7
20	12.51	1886.0	0.313	12	27.9	29.1	40.4
21	13.00	1950.0	0.288	21	11.4	40.3	41.9
22	13.49	1964.0	0.260	11	9.4	25.5	27.2
23	14.00	1972.0	0.233	19	8.6	24.9	26.3
24	14.53	1989.0	0.211	20	3.0	26.1	26.3
25	15.04	1993.0	0.190	13	0.6	24.7	24.7
26	15.49	1992.0	0.174	15	2.1	24.6	24.7
27	15.93	1994.0	0.160	13	1.0	24.6	24.6
28	16.61	1995.0	0.141	4	1.1	24.6	24.6

Von Bedeutung für diese Arbeit sind vor allem der power output im Verhältnis zum wind speed (Spalte 2,3) sowie die ct Kennlinie auf Seite 2.

ESTIMATED ANNUAL ENERGY PRODUKTION (AEP)				
extrapolation of the power curve between the highest measured wind speed and the cut-out wind speed considering the same as the measured at highest measured wind speed			V80-2.0MW OptispeedTM "Mode 105.1dB" cut-out wind speed: 25 m/s reference air density: 1.225 kg/m ³	
hub height annual average wind speed (Rayleigh) [m/s]	AEP-measured (measured power curve) [MWh]	uncertainty of measured power in terms of standard deviation of AEP [MWh]	uncertainty of measured power in terms of standard deviation of AEP [%]	AEP-extrapolated (extrapolated power curve) [MWh]
4.0	1321.5	177.5	13.4	1321.6
5.0	2599.1	231.9	8.9	2602.1
6.0	4081.0	273.2	6.7	4123.5
7.0	5475.4	297.4	5.4	5684.5
8.0	6561.5 *	305.9	4.7	7145.0
9.0	7260.1 *	302.5	4.2	8423.4
10.0	7601.1 *	291.3	3.8	9473.8
11.0	7662.0 *	275.6	3.6	10275.1

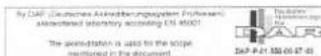
values marked with *: power curve incomplete acc. IEC criteria for data base

WINDTEST KWK GmbH
Sommerdeich 14b
D-25709 Kaiser-Wilhelm-Koog

date: 2001-06-28
responsible: Dipl.-Ing. U. Follrichs
Tel.: +49 (0) 4856 901 0 Fax.: +49 (0) 4856 901 49

U. Köhne
i.V. Dipl.-Ing. V. Köhne

U. Follrichs
i.A. Dipl.-Ing. U. Follrichs



	V80-2.0 MW OptiSpeed® wind turbine C_p and C_t values		
Date: 16. Jun 2000	Class: 1	Item no.: 944421.R1	Page: 1 of 1

Following C_p and C_t values are calculated theoretically. The values are aerodynamic values.

Wind speed: 10 minutes average value at hub height.

Frequency:	50/60 Hz
Tip angle:	Pitchregulated
Turbulence:	10 %
Air density:	1.225 kg/m ³

C_p and C_t as function of wind speed [m/s]:

C_p and C_t curves for V80-2.0 MW OptiSpeed® Wind turbine		
Rotor speed: 9.0 – 16.7 RPM		
Wind speed	C_p	C_t
m/s	[-]	[-]
4	0.463	0.818
5	0.466	0.806
6	0.466	0.804
7	0.466	0.805
8	0.466	0.806
9	0.461	0.780
10	0.453	0.737
11	0.428	0.649
12	0.395	0.571
13	0.324	0.410
14	0.260	0.314
15	0.212	0.249
16	0.175	0.202
17	0.145	0.167
18	0.123	0.140
19	0.104	0.118
20	0.089	0.101
21	0.077	0.088
22	0.067	0.076
23	0.059	0.067
24	0.052	0.059
25	0.046	0.052

(10b)

Anhang

Windpro Auswertung

Für alle Anlagen gilt: Anlagentyp: VESTAS V80-2.0MW; Rotordurchmesser: 80 m; Nabenhöhe 100 m; genutzte Leistungskennlinie: Mode 105.1db-wt1813-01 Measured. Die Anlagen sind nach Position des Windparks (Nummer; von Ost nach West) und Position der Anlage im Park (Buchstabe; von Ost nach West) sortiert. Rosa: unter 60% des Referenzertrags; Gelb über 60% des Referenzertrags.

Anlagennr.	Bruttoertrag [MWh]	Nettoertrag [MWh]	Parkwirkungsgrad (%)	Mittlerewindgeschw. [m/s]	Referenzertrag	Parkwirkungsgrad (%)
1a	2963,90	2814,80	95,00	5,4	57,44%	
1b	3012,00	2668,70	88,60	5,4	58,38%	
1c	2997,20	2702,60	90,20	5,4	58,09%	
1d	3057,20	2673,20	87,40	5,4	59,25%	
1e	2972,70	2741,00	92,20	5,4	57,61%	
1f	3023,00	2542,50	84,10	5,4	58,59%	
1g	3052,40	2568,70	84,20	5,4	59,16%	
1h	3104,90	2763,90	89,00	5,5	60,18%	
2a	3413,30	3352,70	98,20	5,7	66,15%	
2b	3493,20	3359,40	96,20	5,7	67,70%	Park 2:
2c	3328,20	3287,50	98,80	5,6	64,50%	97,73
3a	3451,90	3334,60	96,60	5,7	66,90%	
3b	3440,20	3167,00	92,10	5,7	66,68%	
3c	3386,00	3221,10	95,10	5,6	65,63%	
3d	3486,20	3151,00	90,40	5,7	67,57%	
3e	3472,50	2965,40	85,40	5,7	67,30%	Park 3:
3f	3537,20	3187,70	90,10	5,7	68,56%	91,62
4a	3700,50	3607,20	97,50	5,8	71,72%	
4b	3662,90	3441,80	94,00	5,8	70,99%	
4c	3655,10	3437,60	94,00	5,8	70,84%	
4d	3661,40	3437,10	93,90	5,8	70,96%	Park 4:
4e	3654,70	3563,00	97,50	5,8	70,83%	95,38
5a	3073,20	2999,20	97,60	5,5	59,56%	
5b	3087,00	2896,80	93,80	5,5	59,83%	
5c	3086,20	2864,80	92,80	5,5	59,81%	
6a	3573,20	3475,80	97,30	5,8	69,25%	
6b	3532,00	3331,40	94,30	5,7	68,45%	Park 6:
6c	3521,70	3425,00	97,30	5,7	68,26%	96,30
7a	3650,00	3509,90	96,20	5,8	70,74%	
7b	3672,40	3517,00	95,80	5,8	71,18%	
7c	3438,80	3035,10	88,30	5,7	66,65%	
7d	3463,60	3116,80	90,00	5,7	67,13%	
7e	3499,80	3160,70	90,30	5,7	67,83%	
7f	3529,90	3242,10	91,80	5,7	68,41%	
7g	3508,30	3170,10	90,40	5,7	68,00%	Park 7:
7h	3514,50	3280,40	93,30	5,7	68,12%	92,01

Anhang

8a	3251,70	3047,70	93,70	5,6	63,02%	
8b	3311,80	2948,30	89,00	5,6	64,19%	
8c	3323,50	2949,20	88,70	5,6	64,41%	
8d	3265,90	2888,20	88,40	5,6	63,30%	
8e	3315,00	2842,20	85,70	5,6	64,25%	
8f	3179,30	2811,10	88,40	5,5	61,62%	
8g	3293,60	2855,30	86,70	5,6	63,83%	
8h	3181,40	2803,50	88,10	5,5	61,66%	Park 8:
8i	3270,70	2876,50	87,90	5,6	63,39%	88,51
9a	3298,30	3152,10	95,60	5,6	63,93%	
9b	3318,60	3109,00	93,70	5,6	64,32%	
9c	3310,30	3124,40	94,40	5,6	64,16%	
9d	3290,20	2926,50	88,90	5,6	63,77%	Park 9:
9e	3274,70	2889,70	88,20	5,6	63,47%	92,16
10a	3385,50	3286,30	97,10	5,7	65,62%	
10b	3408,90	3240,40	95,10	5,7	66,07%	
10c	3499,20	3259,60	93,20	5,7	67,82%	Park 10:
10d	3437,70	3294,50	95,80	5,7	66,63%	95,30
11a	3637,10	3455,10	95,00	5,8	70,49%	
11b	3781,20	3571,70	94,50	5,9	73,28%	
11c	3690,50	3384,80	91,70	5,8	71,53%	
11d	3589,30	3409,50	95,00	5,8	69,57%	
11e	3581,70	3386,60	94,60	5,8	69,42%	
11f	3649,60	3198,40	87,60	5,8	70,73%	
11g	3799,20	3365,20	88,60	5,9	73,63%	
11h	3802,00	3285,10	86,40	5,9	73,69%	
11i	3829,50	3453,80	90,20	5,9	74,22%	
11j	3868,00	3566,40	92,20	5,9	74,97%	
11k	3882,90	3659,90	94,30	5,9	75,26%	Park 11:
11l	3861,00	3580,80	92,70	5,9	74,83%	91,90
12a	3604,80	3449,20	95,70	5,8	69,87%	
12b	3610,80	3437,80	95,20	5,8	69,98%	
12c	3565,60	3215,00	90,20	5,7	69,11%	
12d	3545,70	3247,90	91,60	5,7	68,72%	Park 12:
12e	3490,20	3250,10	93,10	5,7	67,64%	93,16
13a	3488,60	3368,50	96,60	5,7	67,61%	
13b	3652,30	3382,20	92,60	5,8	70,79%	Park 13:
13c	3755,00	3569,80	95,10	5,9	72,78%	94,77
14a	3132,60	3016,90	96,30	5,5	60,71%	
14b	3174,80	3043,10	95,90	5,5	61,53%	
14c	3150,80	2917,90	92,60	5,5	61,07%	
14d	3196,80	3127,00	97,80	5,6	61,96%	Park 14:
14e	3138,80	2909,70	92,70	5,5	60,83%	95,06
15a	3397,20	3265,50	96,10	5,7	65,84%	
15b	3428,20	3278,30	95,60	5,7	66,44%	

Anhang

15c	3423,00	3253,80	95,10	5,7	66,34%	
15d	3451,70	3155,10	91,40	5,7	66,90%	
15e	3595,20	3265,10	90,80	5,8	69,68%	
15f	3594,20	3221,20	89,60	5,8	69,66%	Park 15:
15g	3605,90	3312,70	91,90	5,8	69,89%	92,93
16a	3463,30	3331,10	96,20	5,7	67,12%	
16b	3494,50	3142,10	89,90	5,7	67,73%	
16c	3518,10	3121,90	88,70	5,7	68,19%	
16d	3571,80	3186,90	89,20	5,8	69,23%	
16e	3551,40	3061,70	86,20	5,8	68,83%	
16f	3640,80	3094,90	85,00	5,8	70,56%	
16g	3664,70	3307,20	90,20	5,8	71,03%	
16h	3679,90	3496,50	95,00	5,8	71,32%	Park 16:
16j	3687,60	3175,30	86,10	5,8	71,47%	89,61
17a	3446,80	3246,80	94,20	5,7	66,80%	
17b	3453,20	3196,80	92,60	5,7	66,93%	
17c	3418,10	3284,00	96,10	5,7	66,25%	
17d	3570,20	3254,20	91,10	5,8	69,20%	
17e	3567,90	3090,80	86,60	5,8	69,15%	Park 17:
17f	3572,80	3160,50	88,50	5,8	69,25%	91,52
18a	3508,90	3402,80	97,00	5,7	68,01%	
18b	3532,90	3332,60	94,30	5,7	68,47%	Park 18:
18c	3418,10	3218,20	94,20	5,7	66,25%	95,17
19a	3500,40	3392,30	96,90	5,7	67,84%	
19b	3447,00	3246,40	94,20	5,7	66,81%	
19c	3352,40	3162,70	94,30	5,6	64,97%	Park 19:
19d	3506,40	3189,00	90,90	5,7	67,96%	94,08
20a	3640,70	3350,90	92,00	5,8	70,56%	
20b	3658,30	3331,40	91,10	5,8	70,90%	
20c	3668,40	3342,20	91,10	5,8	71,10%	
20d	3594,90	3086,50	85,90	5,8	69,67%	Park 20:
20e	3589,80	3149,30	87,70	5,8	69,57%	89,56
21a	3587,00	3359,30	93,70	5,8	69,52%	
21b	3617,00	3337,10	92,30	5,8	70,10%	
21c	3599,50	3231,00	89,80	5,8	69,76%	
21d	3591,60	3035,20	84,50	5,8	69,61%	
21e	3577,00	3243,80	90,70	5,7	69,33%	
21f	3549,50	3303,80	93,10	5,7	68,79%	
21g	3592,20	2965,40	82,50	5,8	69,62%	
21h	3612,60	2981,70	82,50	5,8	70,02%	
21i	3571,60	3114,30	87,20	5,7	69,22%	
21j	3613,00	3012,00	83,40	5,8	70,02%	
21k	3576,50	3097,10	86,60	5,7	69,32%	
21l	3614,90	3020,90	83,60	5,8	70,06%	Park 21:
21m	3597,70	3100,80	86,20	5,7	69,73%	87,39

Anhang

22a	3612,80	3418,30	94,60	5,8	70,02%	
22b	3617,40	3437,90	95,00	5,8	70,11%	
22c	3622,10	3280,20	90,60	5,8	70,20%	Park 22:
22d	3593,90	3205,60	89,20	5,8	69,65%	92,35
23a	3486,20	3279,40	94,10	5,7	67,57%	
23b	3563,30	3350,90	94,00	5,8	69,06%	
23c	3541,30	3150,60	89,00	5,7	68,63%	
23d	3499,10	3082,10	88,10	5,7	67,82%	
23e	3516,80	2968,50	84,40	5,7	68,16%	
23f	3560,10	3048,50	85,60	5,8	69,00%	
23g	3523,50	2949,20	83,70	5,7	68,29%	
23h	3563,30	3280,20	92,10	5,8	69,06%	
23i	3530,40	3062,60	86,70	5,7	68,42%	
23j	3566,70	3047,40	85,40	5,8	69,13%	
23k	3562,70	2988,80	83,90	5,8	69,05%	Park 23:
23l	3617,40	3054,90	84,40	5,8	70,11%	87,62
24a	3588,30	3374,90	94,10	5,8	69,55%	
24b	3699,30	3580,40	96,80	5,8	71,70%	
24c	3585,90	3196,40	89,10	5,8	69,50%	Park 24:
24d	3554,90	3230,90	90,90	5,7	68,90%	92,73
25a	3252,60	3092,30	95,10	5,6	63,04%	
25b	3256,00	3054,90	93,80	5,6	63,11%	
25c	3332,20	3005,20	90,20	5,6	64,58%	
25d	3292,50	2985,40	90,70	5,6	63,81%	
25e	3286,70	3094,70	94,20	5,6	63,70%	
25f	3308,60	2887,90	87,30	5,6	64,12%	
25g	3309,20	2969,30	89,70	5,6	64,14%	
25h	3346,50	2822,20	84,30	5,6	64,86%	
25i	3355,40	2891,30	86,20	5,6	65,03%	
25j	3360,80	3193,90	95,00	5,6	65,14%	
25k	3353,60	2971,30	88,60	5,6	65,00%	
25l	3355,50	3264,00	97,30	5,6	65,03%	
25m	3391,30	2649,70	78,10	5,6	65,73%	
25n	3363,20	2862,30	85,10	5,6	65,18%	
25o	3391,20	2891,40	85,30	5,6	65,73%	
25p	3392,20	2970,50	87,60	5,6	65,75%	
25q	3574,60	3284,20	91,90	5,7	69,28%	
25r	3468,50	3105,10	89,50	5,7	67,22%	Park 25:
25s	3652,70	3388,60	92,80	5,8	70,79%	89,62
26a	3600,50	3482,70	96,70	5,8	69,78%	
26b	3565,40	3406,10	95,50	5,8	69,10%	Park 26:
26c	3521,90	3302,00	93,80	5,7	68,26%	95,33
27a	3520,00	3348,20	95,10	5,7	68,22%	
27b	3516,90	3161,80	89,90	5,7	68,16%	
27c	3545,30	3216,90	90,70	5,7	68,71%	Park 27:
27d	3455,20	3082,10	89,20	5,7	66,97%	91,23

Anhang

28a	3550,40	3387,90	95,40	5,7	68,81%	
28b	3604,50	3353,60	93,00	5,8	69,86%	
28c	3537,80	3397,70	96,00	5,7	68,57%	
28d	3632,60	3326,20	91,60	5,8	70,40%	Park 28:
28e	3602,50	3275,40	90,90	5,8	69,82%	93,38
29a	3827,10	3641,80	95,20	5,9	74,17%	
29b	3775,00	3545,40	93,90	5,9	73,16%	
29c	3816,10	3417,70	89,60	5,9	73,96%	
29d	3822,10	3442,00	90,10	5,9	74,08%	
29e	3743,20	3553,30	94,90	5,9	72,55%	
29f	3839,50	3426,40	89,20	5,9	74,41%	
29g	3765,80	3244,10	86,10	5,9	72,99%	
29h	3917,10	3531,40	90,20	6,0	75,92%	
29i	3801,30	3192,30	84,00	5,9	73,67%	
29j	3723,50	3123,60	83,90	5,8	72,17%	Park 29:
29l	3688,30	3259,40	88,40	5,8	71,48%	89,59
30a	3540,20	3359,60	94,90	5,7	68,61%	
30b	3535,00	3313,80	93,70	5,7	68,51%	Park 30:
30c	3539,10	3291,20	93,00	5,7	68,59%	93,87
31a	3797,80	3576,70	94,20	5,9	73,61%	
31b	3721,80	3490,50	93,80	5,8	72,13%	Park 31:
31c	3725,50	3543,20	95,10	5,8	72,20%	94,37
32a	3682,30	3477,60	94,40	5,8	71,37%	
32b	3744,90	3647,90	97,40	5,9	72,58%	
32c	3700,20	3433,40	92,80	5,8	71,71%	
32d	3743,20	3517,70	94,00	5,9	72,55%	
32e	3776,20	3220,90	85,30	5,9	73,19%	
32f	3772,10	2919,70	77,40	5,9	73,11%	Park 32:
32g	3760,50	2978,10	79,20	5,9	72,88%	88,64
	Brutto	Netto				
	705546,6	643739,8	Von WindPro errechnete jährl. Gesamtenergieproduktion mit Park 1 und 5 (MWh)			
Ergebnis:	672116,9	613503,6	Von WindPro errechnete jährl. Gesamtenergieproduktion ohne Park 1 und 5 (MWh)			

Energie und CO₂-Berechnungen					
Endenergieverbrauch Niedersachsen (Strom)	GWh		Betrag der EE zur Energiebereit- stellung	GWh	
Endenergieverbrauch Netto	54226		Stromerzeug- ung Netto	8384,4	
Energieverbrauch im Umwandlungsbereich	4937		Umwandlungs- einsatz	360,7	
Endenergieverbrauch Brutto	59163		Stromerzeug- ung Brutto	8745,1	
Endenergieverbrauch Brutto (ohne EE Netto)	50778,60		Anteil der EE an der Energiepro- duktion (Strom)	16,13%	Brutto
CO2 Emmisionen aus dem Endenergieverbrauch im Bereich Strom (t)	34460000				
	(34460 Mio.)				
CO2 Emmision pro GWh Strom (t)	678,63				
Einwohner Niedersachsen (2004)	7993415,00				
Einwohner Landkreis LG	173164,00				
		MWh			
Energieverbrauch (brutto) pro bürger Nds. (GWh)	0,006353	6,35255395			
Energieverbrauch (brutto) des Landkreises LG (GWh)	1100,03	1100033,65	Energiever- brauch (brutto) des Landkreises LG inkl. EE (GWh)	1281,7	
CO2 Ausstoß (Brutto) pro Bürger Nds. (t)	4,31	4,31			
Co2 Ausstoß (Brutto) des Landkreises LG (t)	746518,41	746518,41			

Anhang

Energiebereitstellung durch neue WEA (GWh)	613,50	55,77%	Energiedeckung durch neue WEA (%)	47,87%	
Noch benötigte Energie aus nicht EE im Landkreis LG (GWh)	486,53				
Co2 Einsparungen durch neue WEA	416340,94	55,77%			

Anhang

WEA im Landkreis LG

Bauort	Anzahl	Typ	Leistung	Koordinaten		Höhe_ueber_NN	Nabenhöhe	Rotordurchmesser
				Rechtswert	Hochwert			
						m	m	m
Vastorf-Volkstorf	2	Enercon-40/500					65	40,3
Amelinghausen-Etzen	2	Enercon-40/500	500	3579371	5887681	95	65	40,3
Amelinghausen-Etzen		Enercon-40/500	500	3579730	5887926	90	65	40,3
Amelinghausen-Etzen	1	Enercon-40/6.44	600	3579138	5887598	88	65	44
Artlenburg	5	Jacobs MD 77	1500	3598802	5914656	5	85	77
Artlenburg		Jacobs MD 77	1500	3599193	5914632	5	85	77
Artlenburg		Jacobs MD 77	1500	3599598	5914638	5	85	77
Artlenburg		Jacobs MD 77	1500	3599124	5914258	5	85	77
Artlenburg		Jacobs MD 77	1500	3599429	5914290	5	85	77
Barnstedt	4	Enercon E-66/18.70	1800	3592935	5890077	44	85	70
Barnstedt		Enercon E-66/18.70	1800	3593047	5889906	48	85	70
Barnstedt		Enercon E-66/18.70	1800	3593329	5889848	45	85	70
Barnstedt		Enercon E-66/18.70	1800	3593458	5890161	39	85	70
Südergellersen	5	NEG Micon 1500 C/72	1500	3586650	5897264	56	80	72
Südergellersen		NEG Micon 1500 C/72	1500	3586839	5897199	56	80	72
Südergellersen		NEG Micon 1500 C/72	1500	3586439	5896994	55	80	72
Südergellersen		NEG Micon 1500 C/72	1500	3586818	5897029	51	80	72
Südergellersen		NEG Micon 1500 C/72	1500	3586615	5896814	45	80	72
Südergellersen	1	NEG Micon NM 82/1500	1500	3586127	5896314	48	93,6	82
Melbeck	4	Enercon E-66	1800	3592500	5896476	45	64,84	70
Melbeck		Enercon E-66	1800	3592427	5896263	45	64,84	70
Melbeck		Enercon E-66	1800	3592353	5896047	45	64,84	70
Melbeck		Enercon E-66	1800	3592526	5895840	41	64,84	70
Reinstorf-Wendhausen	4	NEG Micon NM C/1500	1500	3605086	5904575	48	80	72
Reinstorf-Wendhausen		NEG Micon NM C/1500	1500	3605095	5904378	51	80	72
Reinstorf-Wendhausen		NEG Micon NM C/1500	1500	3605103	5904122	53	80	72
Reinstorf-Wendhausen		NEG Micon NM C/1500	1500	3605483	5904518	59	80	72
Nahrendorf-Mücklingen	2	Vestas V 80 - 2.0 MW	2000	3618812	5896298	62	100	80
Dahlenburg-Buendorf		Vestas V 80 - 2.0 MW	2000	3619693	5895078	64	100	80
Dahlenburg-Buendorf	2	Vestas V 80 - 2.0 MW	2000	3618485	5896714	59	100	80
Dahlenburg-Buendorf		Vestas V 80 - 2.0 MW	2000	3618410	5896386	55	100	80
Nahrendorf-Mücklingen	2	Vestas V 80 - 2.0 MW	2000	3618871	5896709	64	100	80
Nahrendorf-Mücklingen		Vestas V 80 - 2.0 MW	2000	3619187	5896457	67	100	80
Bleekede-Breetze	3							
Bleekede-Breetze								
Bleekede-Breetze								
Dahlem	2	Vestas V 80 - 2.0 MW	2000	3617365	5897892	56	100	80
Dahlem		Vestas V 80 - 2.0 MW	2000	3617827	5897692	61	100	80
Dahlenburg-Buendorf	1	Vestas V 80 - 2.0 MW	2000	3618942	5897942	60	100	80
Tosterglope	1	Vestas V 80 - 2.0 MW	2000	3619362	5897915	86	100	80
Tosterglope	2	Vestas V 80 - 2.0 MW	2000	3620615	5897297	80	100	80
Tosterglope		Vestas V 80 - 2.0 MW	2000	3620740	5897780	75	100	80
Boitze	3	Vestas V 80 - 2.0 MW	2000	3617612	5892449	65	100	80
Boitze		Vestas V 80 - 2.0 MW	2000	3617578	5893266	53	100	80
Boitze		Vestas V 80 - 2.0 MW	2000	3616879	5892972	59	100	80
Nahrendorf-Mücklingen	4	Vestas V 80 - 2.0 MW	2000	3619937	5895422	67	100	80
Nahrendorf-Mücklingen		Vestas V 80 - 2.0 MW	2000	3620580	5895662	63	100	80
Nahrendorf-Mücklingen		Vestas V 80 - 2.0 MW	2000	3620121	5895870	67	100	80
Nahrendorf-Mücklingen		Vestas V 80 - 2.0 MW	2000	3620301	5896227	72	100	80
Dahlem-Harmstorf	5	Vestas V 80 - 2.0 MW	2000	3617977	5900422	58	100	80
Dahlem-Harmstorf		Vestas V 80 - 2.0 MW	2000	3618273	5900827	63	100	80
Dahlem-Harmstorf		Vestas V 80 - 2.0 MW	2000	3618303	5901171	63	100	80
Dahlem-Harmstorf		Vestas V 80 - 2.0 MW	2000	3618480	5900528	68	100	80
Dahlem-Harmstorf		Vestas V 80 - 2.0 MW	2000	3618768	5900874	68	100	80
Boitze	1	Südwind S 77	1500	3617226	5892862	58	100	77
Vastorf-Volkstorf	1	Enercon-40/500	500	3602495	5898613	81	65	40,3

Tabelle wurde vom Landkreis LG zur Verfügung gestellt und alle Angaben übernommen (Koordinatensystem Gauß-Krüger).

Anhang

WEA im Landkreis LG								
Dahlem-Harmstorf	1	NEG Micon 1000/60	1000	3617444	5898579	60	70	60
Dahlem-Harmstorf	1	NEG Micon 1000/60	1000	3617531	5898401	60	70	60
Neetze-Süttorf	3	Vestas V 80 - 2.0 MW	2000	3610139	5902901	42	100	80
Neetze-Süttorf		Vestas V 80 - 2.0 MW	2000	3610510	5903127	48	100	80
Neetze-Süttorf		Vestas V 80 - 2.0 MW	2000	3610889	5902268	48	100	80
Embsen	4	Enercon E-66	1800	3590540	5895827	45	65	70
Embsen		Enercon E-66	1800	3590378	5896014	45	65	70
Embsen		Enercon E-66	1800	3591022	5896261	50	65	70
Embsen		Enercon E-66	1800	3590199	5896194	40	65	70
Südergellersen	2	NEG Micon 82/1500					93,6	82
Südergellersen		NEG Micon 82/1500					93,6	82
Vastorf-Volkstorf	1	Enercon e-40					78	44
Bardowick	2	NEG Micon 52/900	900	3594799	5910025		73,8	52,2
Bardowick		NEG Micon 52/900					73,8	52,2
Barendorf	4	NEG Micon 82/1500	1500	4.401.323	5.899.242		93,6	82
Barendorf		NEG Micon 82/1500	1500	4.401.288	5.898.946		93,6	82
Barendorf		NEG Micon 82/1500	1500	4.401.504	5.898.814		93,6	82
Barendorf		NEG Micon 82/1500	1500	4.401.604	5.899.177		93,6	82
Amelinghausen-Etzen	2	GAMESA- 58	850				65	58
Amelinghausen-Etzen		GAMESA- 58	850				65	58



Zentrales Prüfungsamt
Bachelorstudiengang Umweltwissenschaften

Bachelor-Arbeit
Erklärung lt. Rahmenprüfungsordnung RPO für die Bachelor- und
Masterstudiengänge § 22, Abs. 8

Mit der Abgabe der Bachelor-Arbeit ist folgende Erklärung beizufügen:

Ich erkläre hiermit, dass

- die vorliegende Arbeit - bei einer Gruppenarbeit den entsprechend gekennzeichneten Teil der Arbeit - selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden,
- alle Stellen der Arbeit, die ich wortwörtlich oder sinngemäß aus anderen Quellen übernommen habe, als solche kenntlich gemacht habe und
- die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen hat.

(Datum, Unterschrift)