



Energiewende im Klimawandel

in der Metropolregion

Hannover · Braunschweig · Göttingen · Wolfsburg

Abschlussbericht

**Konzeptpapier zur Berücksichtigung des Klimawandels
in der regionalen Energiewende**

Projektlaufzeit:
01.2015 bis 12.2017

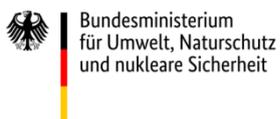
Kontaktdaten

Kommunen in der Metropolregion e. V.
Herrenstraße 6, 30159 Hannover
Tel.: 0511/89 85 86-24, E-Mail: enerklm@metropolregion.de
www.metropolregion.de

GEO-NET Umweltconsulting GmbH
Große Pfahlstraße 5a, 30161 Hannover
Tel.: 0511/388 72 00, E-Mail: bueter@geo-net.de
www.geo-net.de

KoRiS – Kommunikative Stadt- und Regionalentwicklung
Bödekerstraße 11, 30161 Hannover
Tel.: 0511/590 947-30, E-Mail: frauenholz@koris-hannover.de
www.koris-hannover.de

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

kommunen in der **metropolregion**
Hannover · Braunschweig · Göttingen · Wolfsburg



Inhalt

Vorwort	4
1. Die Metropolregion Hannover Braunschweig Göttingen Wolfsburg	5
2. Ziele und Projektstruktur von EnerKlim	8
3. Beteiligungsprozess	9
4. Klimaschutz- und Klimaanpassungsaktivitäten mit Relevanz für die Metropolregion	14
5. Energiebedarf in der Metropolregion heute und 2050	16
5.1 Stromseitiger Energiebedarf heute	16
5.2 Stromseitiger Energiebedarf 2050	18
6. Die Klimasensitivität der erneuerbaren Energieträger	25
7. Auswirkungen des regionalen Klimawandels auf die Produktionsbedingungen erneuerbarer Energie aus Windkraft	27
7.1 Windenergiepotenzial heute	27
7.2 Windenergiepotenzial 2050	46
7.3 Beitrag der Windenergie zum 100 % EE-Ziel	56
8. Regionale Entscheidungs- und Planungshilfe (Leitfaden)	60
8.1 Implementierung: Entscheidungsprozesse zur regionalen Energiewende im Klimawandel	60
8.2 Kommunikation: EnerKlim WEB-GIS	68
8.3 Übertragbarkeit auf andere Metropolregionen in Deutschland	74
9. Fazit	77
Quellen	78

Vorwort

Die Metropolregion Hannover Braunschweig Göttingen Wolfsburg verfolgt ambitionierte Zielsetzungen im Bereich des Klimaschutzes und blickt auf eine mittlerweile über 10-jährige Erfahrung mit dem proaktiven Management von Klimafolgen für verschiedenste regional relevante Handlungsfelder zurück. Als erster großräumige Verbund haben die Kommunen in der Metropolregion im Jahr 2011 das Ziel formuliert, den Energiebedarf für Strom, Wärme und Mobilität bis zum Jahr 2050 vollständig aus erneuerbaren Energiequellen zu decken. Eine besondere Schwerpunktsetzung bei der Dekarbonisierungsstrategie ist im Mobilitätssektor gelegt worden. Angesichts der enormen wirtschaftlichen Relevanz der Mobilitätswirtschaft ist diese Prioritätensetzung sicher leicht nachvollziehbar. Mittlerweile hat sich die Metropolregion bei ihren kommunalen Aktivitäten in der Elektromobilität als eine der Vorbildregionen in Europa etabliert.

Natürlich ist auch bei den Entscheidungsebenen in der Metropolregion das Bewusstsein gewachsen, dass auch bei ambitionierten Maßnahmen zur Bekämpfung der Erderwärmung Veränderungen des Klimas zu erwarten sind. Der im Frühsommer 2018 vorgelegte Klimareport für das Land Niedersachsen belegt eine Steigerung der Jahrestemperatur sowie eine Verschiebung der Niederschläge in das Winterhalbjahr.

Die Zunahme von Extremwetterlagen, die mit Hochwasserereignissen in südlichen Teilen der Metropolregion einhergingen, haben in den letzten Monaten auch einer breiten Öffentlichkeit die Gefahren des Klimawandels und die Notwendigkeit von Anpassungsmaßnahmen verdeutlicht.

Die Metropolregion blickt auf eine sehr lange Erfahrung mit dem proaktiven Management von Klimafolgen für verschiedenste regional relevante Handlungsfelder zurück. Der in den bisherigen Aktivitäten gelegte Schwerpunkt in den Bereichen Wissensgenerierung/-kommunikation und Netzwerkarbeit hat sich bewährt und ist auch bei der Durchführung des Projekts EnerKlim deutlich geworden.

Das von 2015 bis 2018 laufende Verbundprojekt „Energiewende im Klimawandel in der Metropolregion (EnerKlim)“ wurde dankenswerter Weise von dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit gefördert. Die Betrachtung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Produktion von erneuerbarer Energie und die Bestandsaufnahme der kommunalen Klimaschutzkonzepte standen im Fokus dieses Vorhabens, das mit den beiden in Hannover ansässigen Unternehmen GEO-NET Umweltconsulting sowie KoRIS- Kommunikative Stadt- und Regionalentwicklung als Verbundpartner durchgeführt wurde.

In den kommenden Monaten wird es darauf ankommen, die Ergebnisse des Projekts in die vielfältigen Aktivitäten von Kommunen, Unternehmen und zivilgesellschaftlichen Initiativen einfließen zu lassen und das Netzwerk weiter funktionsfähig zu halten. Die Metropolregion wird sich sowohl im Bereich des Klimaschutzes als auch in der Anpassung an Klimafolgen weiter engagieren. Der Dank gilt allen Kolleginnen und Kollegen bei den Verbundpartnern und kommunalen Verwaltungen, aber natürlich auch den zahlreichen Personen, die durch ihre aktive Teilnahme an den verschiedenen Veranstaltungen das Projekt zum Erfolg geführt haben.

Raimund Nowak, Geschäftsführer

1. Die Metropolregion Hannover Braunschweig Göttingen Wolfsburg

Die Gebietskulisse der Metropolregion Hannover Braunschweig Göttingen Wolfsburg wurde im Jahr 2005 von der Ministerkonferenz für Raumordnung als eine von elf Metropolregionen von europäischer Bedeutung in Deutschland anerkannt. Gegenwärtig leben hier insgesamt etwa 3,8 Mio. (LSN, 2013) Menschen auf einer Fläche von ca. 18.630 km². Das entspricht einer Bevölkerungsdichte von rd. 204 Ew./km². Damit liegt die Metropolregion etwas unter dem Bundesdurchschnitt von rund 227 Ew./km² und deutlich über dem Wert für Niedersachsen (164 Ew./km²; LSN, 2015). Das Gebiet reicht von Nienburg (Weser) im Norden und bis zur hessischen Landesgrenze und dem Harz. Es sind in erster Linie die wirtschaftliche Stärke, die exzellente Wissenschaftslandschaft und die Lage an bedeutenden europäischen Verkehrsachsen, die die Region um die Städte Hannover, Braunschweig, Göttingen und Wolfsburg zur Metropolregion von europäischer Bedeutung machen.

Mit der Landeshauptstadt Hannover sowie den weiteren namensgebenden Städten Braunschweig, Göttingen und Wolfsburg beinhaltet die Region einerseits vier der sechs bevölkerungsreichsten Städte Niedersachsens. Auf der anderen Seite weisen weite Teile der Metropolregion einen ausgeprägten ländlichen Charakter auf. Folglich stellt die Metropolregion einen komplexen Verflechtungsraum aus urbanen, suburbanen und ländlichen Strukturen dar. Auch naturräumlich weist die Metropolregion eine hohe Diversität auf, die vor allem durch ihre Zerteilung in eine nördliche und eine südliche Haupteinheit geprägt ist. So schneidet das Gebiet der Metropolregion zum einen im Süden das westliche Mittelgebirge mit seinen Untereinheiten Harz und Weser-/Leinebergland. Zum anderen wird im Norden das norddeutsche Tiefland geschnitten, von dem vor allem die niedersächsische Börde, das Weser-Aller-Flachland sowie die Lüneburger Heide relevante Flächenanteile im Untersuchungsgebiet erreichen. Die Metropolregion deckt folglich ein breites naturräumliches und auch klimatisches Spektrum ab, in dem sich die Ausprägungen der abiotischen Umweltfaktoren in unterschiedlichsten Landnutzungsformen widerspiegeln.

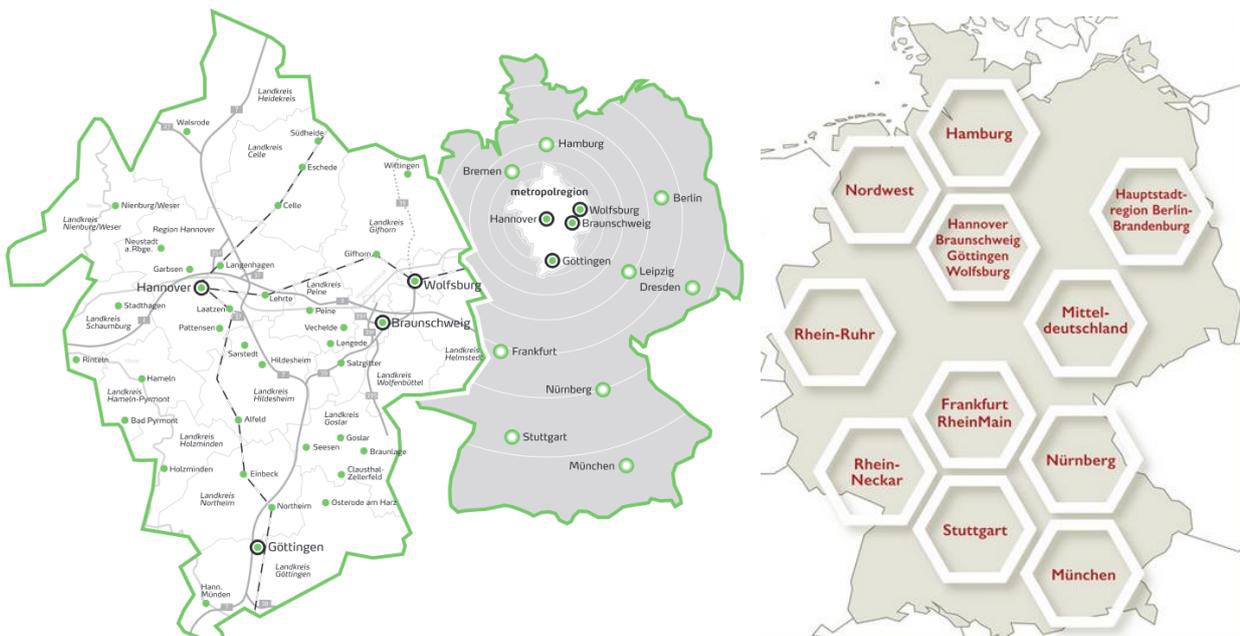


Abbildung 1: Lage der Metropolregion Hannover-Braunschweig Göttingen Wolfsburg und Metropolregionen Deutschlands. Quelle: IKM Initiativkreis Europäische Metropolregionen in Deutschland

Die großräumige Kooperation auf der Gebietskulisse der Metropolregion wird seit dem Jahr 2009 von der Metropolregion Hannover Braunschweig Göttingen Wolfsburg GmbH organisiert. Sie löste den auf der Grundlage eines Statuts seit dem 2005 arbeitenden Verbund von Kommunen und Hochschulen ab.

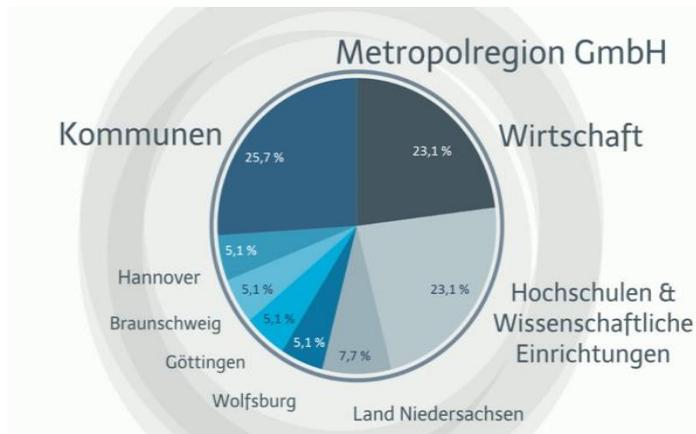


Abbildung 2: Gesellschafter der Metropolregionen Hannover Braunschweig Göttingen Wolfsburg

Gesellschafter der Metropolregion sind auf der kommunalen Seite die vier namensgebenden Städte, ein Verein, dem 60 Städte, Gemeinden, Landkreise, die Region Hannover und der Regionalverband Braunschweig angehören. Als weitere Gesellschafter fungieren zwei Vereine, in denen rund 40 Unternehmen und wirtschaftsnahe Verbände sowie 15 Hochschulen und wissenschaftliche Einrichtungen organisiert sind. Auch das Land Niedersachsen ist an der Gesellschaft beteiligt.

Die Gesellschaft besitzt als Organe einen Aufsichtsrat, eine Gesellschafterversammlung, einen Parlamentarischen Beirat und wird von zwei Geschäftsführern geführt. Die Aktivitäten erfolgen auf der Grundlage eines vom Aufsichtsrat beschlossenen Arbeitsprogramms. Das laufende Programm ist bis Ende 2019 befristet und definiert vier Handlungsfelder und fünf Querschnittsthemen.



Abbildung 3: Handlungsfelder der Metropolregion

Als wichtigstes Handlungsfeld der Metropolregion hat sich die Elektromobilität entwickelt. Hier hat sich die Organisation das Ziel der Platzierung als eine der führenden Regionen Europas im Bereich der Entwicklung, der Produktion und des Einsatzes von Elektrofahrzeugen gesetzt. Mit der Auswahl als Zielgebiet der Forschungs- und Entwicklungsinitiative der Bundesregierung „Schaufenster Elektromobilität“ hat sich die Metropolregion eine herausragende Grundlage für die Zielerreichung geschaffen. In diesem Kontext wurden rund 40 F&E-Projekte entlang der Wertschöpfungskette der Elektromobilität durchgeführt.

Die Metropolregion ist auch nach Auslaufen des Programms „Schaufenster Elektromobilität“ in diesem Feld der Förderung einer lokal emissionsfreien Mobilität und der Bereitstellung von Fahrstrom aus erneuerbaren

Energiequellen aktiv. Im Juni 2018 haben die Kommunen in der Metropolregion eine Erklärung beschlossen, in der sie Ziele und Maßnahmen im Bereich der Elektromobilität festgelegt haben. Die Metropolregion wird künftig auf der Basis eines regional abgestimmten Konzeptes die Rahmenbedingungen für den Einsatz von

Elektrofahrzeugen verbessern. Die von der Mitgliederversammlung der Kommunen im Jahr 2011 beschlossene Zielsetzung, bis zum Jahr 2050 den Energieverbrauch auch im Mobilitätssektor zu 100 % aus erneuerbaren Energiequellen zu decken, wird damit unterstützt. Einen besonderen Schwerpunkt setzt die Metropolregion im internationalen Austausch über regionale Strategien zur Förderung der Elektromobilität.

2. Ziele und Projektstruktur von EnerKlim

Mit EnerKlim – Energiewende im Klimawandel wurde das Ziel verfolgt, die bisher in der Metropolregion gewonnenen Erkenntnisse in den Segmenten Klimaschutz und Klimaanpassung zu verknüpfen und dabei bestehende Wissens-, Strategie- und Netzwerklücken zu schließen. Dieser innovative integrative Ansatz verleiht dem Projekt den Charakter eines Leuchtturmvorhabens im Themenkomplex der klimawandelangepassten Energiewende und verschafft der Metropolregion Hannover Braunschweig Göttingen Wolfsburg ein Alleinstellungsmerkmal im europäischen Wettbewerb der Regionen.

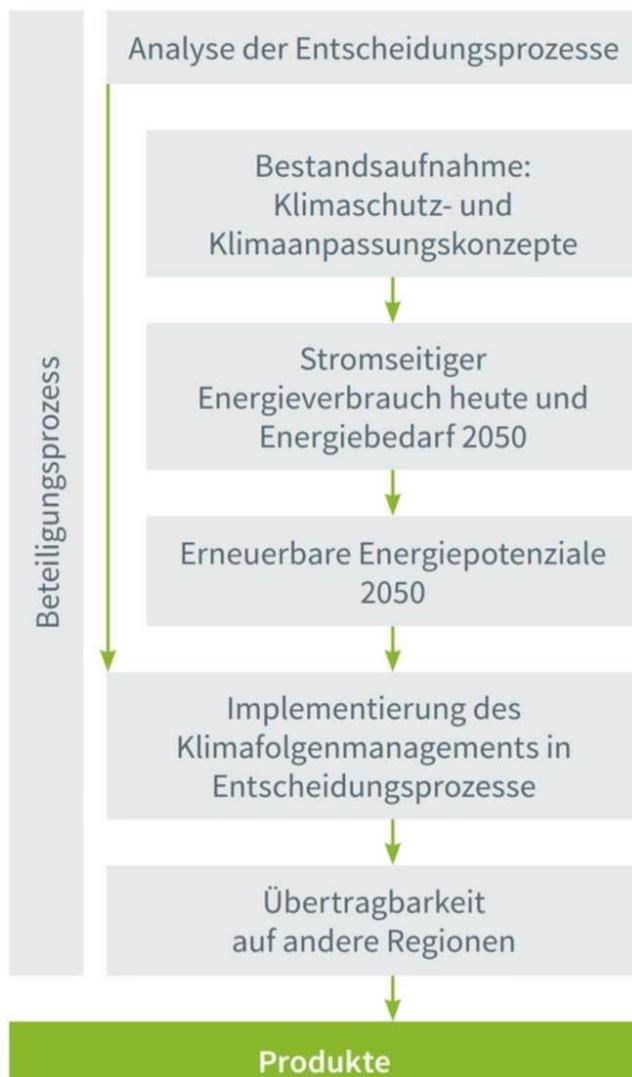


Abbildung 4: Projektdesign

Im Projekt wurden gleichberechtigt sowohl ein analytischer als auch ein auf fachlichen Austausch ausgerichteter Ansatz verfolgt. Im analytisch ausgerichteten Baustein erfolgte zunächst eine Bestandsaufnahme zu den Klimaschutz- und Klimaanpassungsaktivitäten mit Relevanz für die Metropolregion als Metaebene zwischen dem Land Niedersachsen und den metropolregionszugehörigen Kommunen (Kapitel. 4). Auf dieser Basis erfolgte im nächsten Schritt die Ableitung des stromseitigen Energiebedarfs der Metropolregion heute und für das Zieljahr 2050 (Kap. 5) sowie eine Analyse der generellen Klimasensitivität der erneuerbaren Energieträger (Kap. 6).

Mit der Analyse zu den räumlich hochaufgelösten Auswirkungen des Klimawandels auf die Produktionsbedingungen erneuerbarer Energie wurde anschließend am Beispiel der Windenergie - als regional wichtigsten erneuerbarem Energieträger - die Frage beleuchtet, ob das 100% EE-Ziel der Metropolregion auch unter sich ändernden Klimabedingungen erreicht werden kann (Kap. 7).

Die (Zwischen-)Ergebnisse der analytischen Arbeiten wurden gemeinsam mit der Frage nach Implementierungsmöglichkeiten des Anpassungsgedankens in die „tägliche Arbeit“ der Entscheidungsträger der regionalen Energiewende in der Veranstaltungsreihe „KlimaTreff“ fortlaufend reflektiert

(Kap. 3). Aus den gemeinsam mit den Akteuren abgeleiteten Erkenntnissen konnten als zentrales Projektergebnis regionale Entscheidungs- und Planungshilfen entwickelt werden (Kap. 8), deren Übertragbarkeit auf andere deutsche Metropolregionen in einem letzten Arbeitsschritt evaluiert wurde (Kap. 8.3).

3. Beteiligungsprozess

Um eine Verstärkung der Berücksichtigung des Klimawandels bei der Planung, Genehmigung und dem Betrieb von Anlagen zur Nutzung von erneuerbaren Energien sowie dem Transport des erzeugten Stroms zu erreichen, wurde im Rahmen des Projektes ein breit angelegter Beteiligungsprozess durchgeführt. Zur Identifikation relevanter Akteure in der Metropolregion wurden die bei den drei Projektpartnern vorhandenen Verteiler ausgewertet und fehlende weitere Adressaten recherchiert. Folgende Zielgruppen in der Metropolregion konnten identifiziert und in einem Verteiler mit über 600 Personen und Institutionen zusammengestellt werden:

Tabelle 1: Zielgruppen im Verteiler

<ul style="list-style-type: none"> ■ Landes-/Regionalplanung ■ Kommunen und weitere Genehmigungsbehörden ■ Energieversorger und Netzbetreiber ■ Hersteller und Wartungsbetriebe erneuerbarer Energie-Anlagen ■ Eigentümer und Betreiber von erneuerbare Energie-Anlagen ■ Beratungsunternehmen 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Projektentwickler ■ Biomasseproduzenten ■ Klimaschutzmanager, -Agenturen ■ Klimaschutz-/Umweltschutzverbände ■ Wirtschaftsverbände, Netzwerke ■ Forschungseinrichtungen ■ Verkehrsunternehmen (ÖPNV) ■ Antrieb- und Fahrzeugtechnik-Hersteller
--	---

Die Metropolregion hat an den Verteiler Infolyer und Newsletter sowie die Einladungen zu den zielgruppenübergreifenden Veranstaltungen (Auftakt, Zwischenpräsentation und Abschlusspräsentation) verschickt. Die Einladungen zu den KlimaTreffs zu ausgewählten Themen (siehe unten) erfolgten zielgerichtet an entsprechend kleinere Zielgruppen-Verteiler. Die Metropolregion verschickt außerdem regelmäßig themenübergreifende Newsletter an einen Verteiler von über 2.500 Adressaten. Mit den Newslettern informiert die Metropolregion über alle Themen und Projekte und damit auch über EnerKlim.

Die nachfolgende Tabelle 2 zeigt alle Veranstaltungen mit Bezug zu EnerKlim in zeitlicher Reihenfolge (so weit nicht anders vermerkt fanden die Veranstaltungen in Hannover statt).

Tabelle 2: Überblick über die Veranstaltungen im Rahmen des Projekts

18.09.2015, Infostand auf der Metropolversammlung in Salzgitter

- Betreuer Infostand zu Projektstart
- Visualisierung erster Analyseergebnisse auf einer Karte
- Information zu Inhalt und Ablauf des Projektes auf Stelen
- Austausch mit Interessierten zu Projektinhalten und -zielen



13.10.2015, Auftaktveranstaltung von EnerKlim, 31 Teilnehmerinnen und Teilnehmer

- Raimund Nowak, Metropolregion Hannover Braunschweig Göttingen Wolfsburg GmbH: Projekte der Metropolregion zu Energiewende und Klimaschutz
- Prof. Dr. Günter Groß, Institut für Klimatologie und Meteorologie an der Leibniz Universität Hannover: Klimawandel und erneuerbare Energien
- Guido Halbig, Deutscher Wetterdienst, Niederlassung Essen: Klima(wandel) und Energie(wende) – Aktivitäten des Deutschen Wetterdienstes
- EnerKlim-Verbundpartner: Ergebnisse der Auswertung der vorhandenen Klimaschutzkonzepte in der Metropolregion, Ziele und Vorgehen bei EnerKlim
- Diskussionen zu den Schwerpunkten „Verwaltung und Energieversorger“, „Nutzung erneuerbarer Energien“ und „Mobilität“



26.11.2015, 1. KlimaTreff "Verwaltung und Energieversorger", 35 Teilnehmerinnen und Teilnehmer

- Dr.-Ing. Sarah Gehrig, Fachverband Biogas e. V. und Mitglied des Runden Tisches Energiewende Niedersachsen: „Runder Tisch Energiewende Niedersachsen – Ziele, Aufgaben und Stand“
- Dr.-Ing. Werner Siemers, CUTEC Institut und Mitglied des Runden Tisches Energiewende Niedersachsen: „Energieszenarien 2050 für Niedersachsen: Zwischenergebnisse“
- Hendrik Meinecke de Cassan, Umweltmanagement der Region Hannover: „Anpassungsstrategie an den Klimawandel in der Region Hannover“
- EnerKlim-Verbundpartner: Erste Ergebnisse der Strombedarfsszenarien in den regionalen Klimaschutzkonzepten
- Diskussion zu den Themen „Szenario Strombedarf“, „Klimawandelanpassung in den Kommunen“ und „Klimawandelanpassung bei den Energieversorgern“



26.01.2016, 2. KlimaTreff "Nutzung erneuerbaren Energien", 31 Teilnehmerinnen und Teilnehmer

- Hans-Erich Tannhäuser, Bürgermeister der Stadt Northeim: „Einsatz erneuerbarer Energien in Kommunen am Beispiel des Bioenergiedorfs in der Gemeinde Jühnde“
- Dr. Inke Schauser, Umweltbundesamt, KomPass – Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung: „Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel - Das Handlungsfeld Energiewirtschaft“
- Hauke Eggers-Mohrmann, Windwärts Energie GmbH: „Situation der Windenergiebranche im Kontext des Klimawandels“
- Silke Weyberg, Fachverband Biogas e. V.: „Zukünftige Herausforderungen und Perspektiven der Bioenergie“
- EnerKlim-Verbundpartner: Erneuerbare Energie-Potenziale in der Metropolregion: Ergebnisse der Bestandsaufnahme kommunaler Klimaschutzkonzepte
- Diskussionen zu Klimawandel, Anpassungsstrategien und Herausforderungen bei Bioenergie, Wasserkraft, Solarenergie und Windenergie

**25.02.2016, 3. KlimaTreff "Mobilität", 50 Teilnehmerinnen und Teilnehmer**

- EnerKlim-Verbundpartner: Berücksichtigung der Entwicklung der Elektromobilität in den Klimaschutzkonzepten in der Metropolregion zur Ermittlung des künftigen Energiebedarfs
- Impulsvorträge zur Einschätzung der Entwicklung der Elektromobilität und den damit verbundenen Auswirkungen auf den Strombedarf:
Themenblock „Stadt – Land Elektro“: Bürgermeisterin Ina Korter: „Budgeting auf dem Weg zur klimafreundlichen Gemeinde“, Prof. Dr. Helmut Lessing, Universität Hildesheim: „e2work – Eine Gesellschaft zur Einführung und Verbreitung von nachhaltiger Mobilität, insbesondere von Elektromobilität“
Themenblock „Elektromobilität – Greenwashing oder Zukunft des Fahrens“: Impulsvortrag Raimund Nowak, Metropolregion Hannover Braunschweig Göttingen Wolfsburg GmbH, Kommentar von Dr. Stefan Wolf, Volkswagen Nutzfahrzeuge
- Diskussion zur zukünftigen Rolle der Elektromobilität

**28.06.16, Mitgliederversammlung Metropolregion in Hameln**

- Vortrag und Abstimmung mit dem Steuerungsgremium der Metropolregion
- Ziele, Inhalte und Vorgehen, zentrale Zwischenergebnisse, Überblick über bisherige Veranstaltungen und den weiteren Beteiligungsprozess

Klimafolgenmanagement (2008-2011)

- BMBF-Verbundvorhaben mit Partnern aus Forschung und Praxis
- Thema: Ausmaß und Auswirkungen des Klimawandels in der Metropolregion
- I&K-Plattform mit interaktiven Karten: www.klimafolgenmanagement.de
- Geobericht 18 beim Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) Niedersachsen



30.09.16, Zwischenpräsentation als Fachforum "EnerKlim–Energiewende im Klimawandel" bei der Metropolversammlung in Osterode am Harz, 23 Teilnehmerinnen und Teilnehmer

- Dr. Friedhart Knolle, Nationalpark Harz, Öffentlichkeitsarbeit – Regionalentwicklung: „Bemerkungen zum Klimawandel im Harz“
- EnerKlim-Verbundpartner: „Auswirkungen des Klimawandels auf erneuerbare Energien, Strombedarf und -potenziale 2050 in der Metropolregion“
- Diskussion zur Relevanz des Klimawandels in der Metropolregion
- Anschließend Infostand bei der Nachhaltigkeitsmesse im Rahmen der Metropolversammlung: Projektpräsentation, Netzwerkarbeit, Informationsfilm über EnerKlim, Informationsmaterial zum Mitnehmen



12.06.2017, 4. KlimaTreff "Nutzung erneuerbarer Energien im Klimawandel – zukunftssicher Planen", 28 Teilnehmerinnen und Teilnehmer

- Astrid Hoffmann-Kallen, Klimaschutzleitstelle der Landeshauptstadt Hannover: „Kommunaler Klimaschutz in Hannover“
- Raimund Nowak, Metropolregion Hannover Braunschweig Göttingen Wolfsburg GmbH: „Neue Energie- und Klimaprojekte in der Metropolregion“
- EnerKlim-Verbundpartner: „Klimawandel und erneuerbare Energien in der Metropolregion 2050“, „Gestaltung des Ausbaus der Nutzung erneuerbarer Energien im Klimawandel“
- Fachworkshop "Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien im Klimawandel – richtig entscheiden, Kräfte bündeln" unter anderem zu den Fragen: Bei welchen Entscheidungsprozessen ziehen Sie Klimadaten heran und auf welche Daten greifen Sie zurück? Welches Ausmaß der Auswirkungen des Klimawandels auf die Nutzung erneuerbarer Energien würde aus Ihrer Sicht Anpassungen der Planungsprozesse notwendig machen?



13.09.2017, 5. KlimaTreff im Rahmen der Metropolversammlung als Forum 2: "Auswirkungen des Klimawandels auf die Produktion erneuerbarer Energie – Planungsgrundlagen für die Energiewende in Metropolregionen", 35 Teilnehmerinnen und Teilnehmer

- Carina Holl, Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz: „Anpassung an den Klimawandel – Strategie des Landes Niedersachsen“
- Helfried Basse, Umweltdezernat Landkreis Hildesheim: „Hochwasserschutz im Landkreis Hildesheim – Maßnahmenprogramm technischer Hochwasserschutz/Rückhaltung“
- EnerKlim-Verbundpartner: „Der Klima-Server der Metropolregion – Ein Web-GIS zur Unterstützung der regionalen und kommunalen Klimaanpassung“
- Fachworkshop "Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien im Klimawandel – richtig entscheiden, Kräfte bündeln"



21.11.2017, Abschlusspräsentation, 44 Teilnehmerinnen und Teilnehmer

- EnerKlim-Verbundpartner: „Auswirkungen des Klimawandels auf erneuerbare Energien – Zentrale Analyseergebnisse“
- EnerKlim-Verbundpartner: „Der Klima-Server der Metropolregion – Ein Web-GIS zur Unterstützung der regionalen und kommunalen Klimaanpassung“
- EnerKlim-Verbundpartner: „Leitfaden zur Berücksichtigung des Klimawandels beim Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien“
- Julie King, Metropolregion Nordwest: „Interkommunale Koordinierungsstelle Klimaanpassung (InKoKa) – Erfahrungen und Ergebnisse“
- Dr. Wolfgang Beckröge, Metropole Ruhr: „Anpassung an den Klimawandel – Beispiele aus der Metropole Ruhr“
- Diskussion zur Anpassung an den Klimawandel – eine Aufgabe für Metropolregionen?



Um das Thema über die Metropolregion hinaus bekannt zu machen, wurde das Projekt über den Beteiligungsprozess hinaus bei überregionalen Veranstaltungen präsentiert:

- 10. Deutsche Klimatagung am 23.09.2015 in Hamburg: Vortrag „EnerKlim - Energiewende im Klimawandel in der Metropolregion Hannover Braunschweig Göttingen Wolfsburg“ zu Hintergründe, Ziele, Inhalte, Vorgehen und Struktur im Themenfeld Klimaanpassung und Mitigation – Climate Smart
- Vernetzungstreffen der DAS – Förderprojekte am 09.-10.06.2016 in Bonn: Überblick zum Förderprogramm, moderierter Poster-Rundgang, „Lessons learnt“ aus abgeschlossenen DAS-Förderprojekten, Werkstattgespräche in Arbeitsgruppen.
- die 4. Regionalkonferenz des Bundes, der norddeutschen Länder und Berlin "Klimawandel Norddeutschland" am 02.11.2016 in Hannover: Infostand bei der konferenzbegleitenden Infomesse mit Projektpräsentation, Netzwerkarbeit, Informationsfilm über EnerKlim und Informationsmaterial zum Mitnehmen
- Nationaler Dialog zur Klimaanpassung „Gemeinsam sind wir klimaresilient - wie Beteiligung in Städten und Regionen gelingt“ des Umweltbundesamtes am 27.-28.06.2017 in Dessau: Austausch mit anderen DAS-Projekten.
- 3. Vernetzungstreffen der DAS – Förderprojekte am 17.05.2017 in Bonn: Erfahrungsaustausch alter und neuer Vorhaben untereinander, Strategien zur Verstetigung der Klimaanpassungsinitiativen – Austausch von Wissen, Erfahrungen, Impressionen.

4. Klimaschutz- und Klimaanpassungsaktivitäten mit Relevanz für die Metropolregion

Die Metropolregion Hannover Braunschweig Göttingen nimmt aus klimapolitischer Sicht eine Vorreiterrolle unter den deutschen Metropolregionen ein. Neben dem erfolgten Einstieg in den Klimaanpassungsprozess haben die in der Metropolregion organisierten Kommunen im Jahr 2011 gemeinsam beschlossen, den Energiebedarf der Metropolregion für Strom, Wärme und Mobilität bis zum Jahr 2050 zu 100% aus erneuerbaren Energien decken zu wollen und damit den intensiven Aktivitäten rund um die Erarbeitung kommunaler und regionaler Klimaschutzkonzepte ein übergeordnetes Leitbild verliehen. Seit Ende 2012 ist die Metropolregion zudem eines von vier deutschen „Schaufenstern Elektromobilität“. Als ländlich geprägte Flächenregion im Übergangsbereich zwischen Norddeutschem Tiefland und Mittelgebirge weist die Metropolregion zudem ein hohes Geopotenzial für die Produktion Erneuerbarer Energie – vor allem von Windenergie – auf. Damit kann die Metropolregion gegenüber den anderen Metropolregionen auf ein Alleinstellungsmerkmal verweisen, das sie für ein kommunales Leuchtturmprojekt an der Schnittstelle zwischen Energiewende und Klimaanpassung prädestiniert.

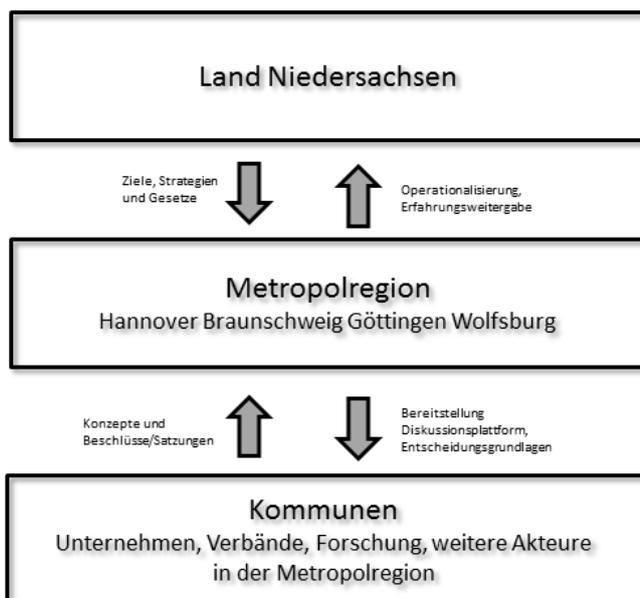


Abbildung 5: Die Metropolregion als Metaebene zwischen Land und Kommunen

Die Metropolregion erfüllt eine vermittelnde Metafunktion zwischen den Aktivitäten des Landes Niedersachsen und denen der metropolregionalen Kommunen (Samtgemeinden, Gemeinden und Landkreisen) inkl. den in ihnen handelnden Akteure (BürgerInnen, Unternehmen, Verbände, Hochschule, etc.). Mit Blick auf die formellen und informellen Prozesse in den Themenkomplexen Klimaschutz und Klimaanpassung bedeutet dies, dass die Metropolregion die Ziele, Gesetze und Strategien des Landes ebenso aufnimmt und in den regionalen Kontext stellt wie die Konzepte, Beschlüsse und Satzungen ihrer Mitgliedskommunen. Im Gegenstromprinzip spiegelt die Metropolregion die in Diskussionsforen, Projekten und sonstigen Vorhaben gesammelten Erfahrungen an das Land zurück und stellt den Kommunen Instrumente für überörtlich relevante Entscheidungsprozesse zum Klimawandel zur Verfügung.

Auf der Ebene des Landes Niedersachsen sind insbesondere normative Vorgaben von Belang. Für die in EnerKlim behandelte „Energiewende im Klimawandel“ waren hier vor allem der Entwurfsprozess des „Gesetzes zur Förderung des Klimaschutzes und zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels (Niedersächsisches Klimagesetz)“ (MU, 2017a) sowie der Niedersächsische Windenergieerlass (MU, 2016) relevant, da sich das Projekt auf diese inhaltlich bezieht. Aber auch informelle Prozesse strahlen auf die Aktivitäten der

Metropolregion bzw. seiner Mitgliedskommunen aus. Für EnerKlim waren in diesem Kontext insbesondere die Aktivitäten des „Runden Tisches Energiewende“ von Bedeutung, durch den „Energieszenarien 2050“ (MU, 2016a) sowie das „Leitbild einer nachhaltigen Energie- und Klimaschutzpolitik“ erarbeitet wurden. Die Dokumente setzten wichtige methodische Eckpfeiler und erleichterten gemeinsam mit der „Empfehlung für eine niedersächsische Klimaanpassungsstrategie“ (MU, 2014) die Kommunikation mit den Teilnehmern in den EnerKlim-KlimaTreffs.

Diesem zumindest in Ansätzen gesamthaften Vorgehen zur Verknüpfung von Klimaschutz und Klimaanpassung auf Landesebene steht auf kommunaler Ebene ein deutlicher Schwerpunkt auf den Klimaschutz gegenüber. So war mit Ausnahme von einzelnen Gemeinden im Landkreis Celle jede Kommune direkt oder indirekt in die Erarbeitung von Integrierten Klimaschutzkonzepten, Masterplänen Klimaschutz oder ähnlichen Prozessen eingebunden, über ein Klimaanpassungskonzept verfügte zum Stichtag der Erhebung (31.12.2015) keine Gebietskörperschaft (Abb. 6). Als erste Kommune hat die Landeshauptstadt Hannover ihre Anpassungsstrategie in 2017 veröffentlicht. Die Stadt Göttingen hat im Laufe des EnerKlim-Projektes ein Klimaschutzteilkonzept im Bereich Anpassung an den Klimawandel erarbeitet (2015). Dieses Ungleichgewicht können auch die noch in der Projektlaufzeit mithilfe von Fördermitteln der nationalen Klimaschutzinitiative („Klimaschutzteilkonzepte Anpassung an den Klimawandel“) initiierten Anpassungsprozesse in der Region Hannover und im Regionalverband Großraum Braunschweig nicht auflösen.

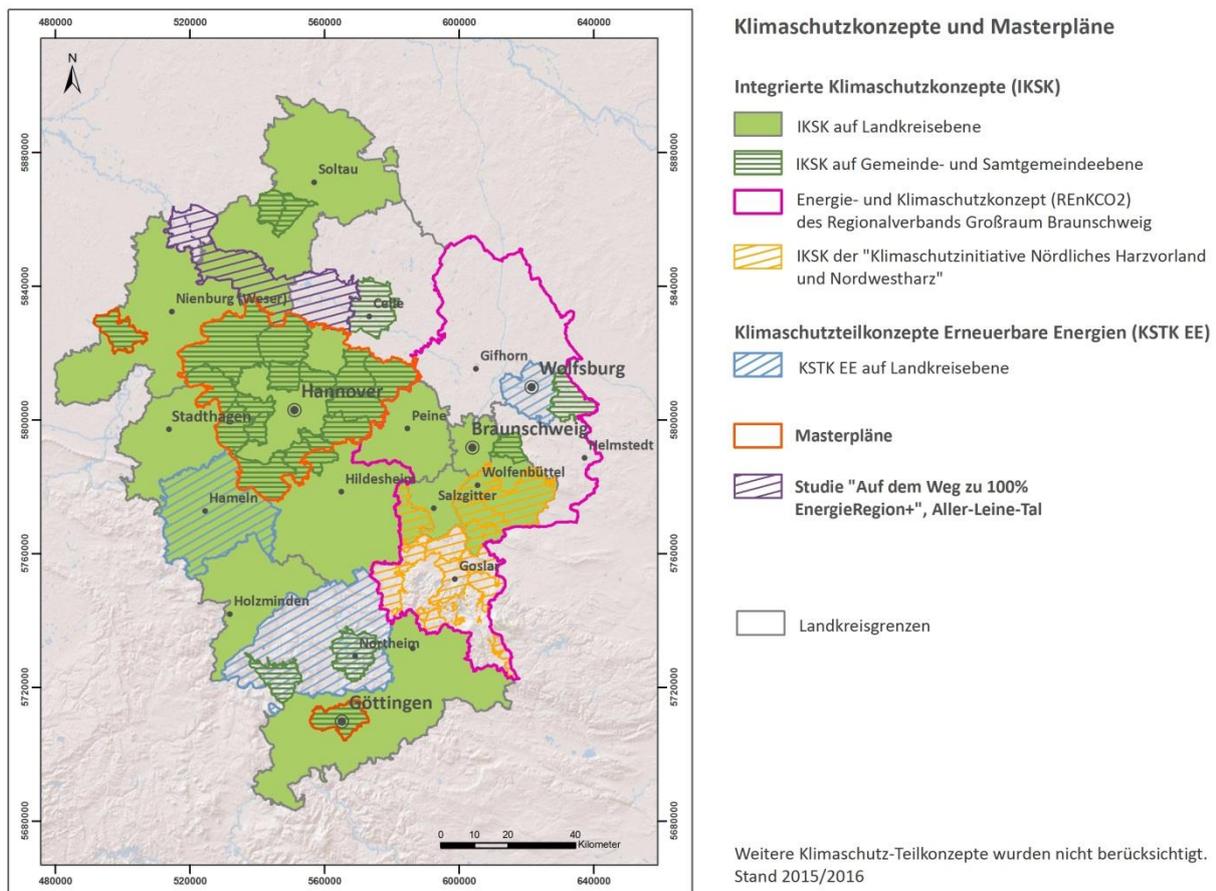


Abbildung 6: Kommunale Klimaschutzkonzepte und Masterpläne in der Metropolregion

5. Energiebedarf in der Metropolregion heute und 2050

Neben der Frage nach dem Einfluss des Klimawandels auf die Produktion erneuerbarer Energien, wurde die Entwicklung des Energiebedarfs der Metropolregion untersucht. Das energetische Potenzial kann nämlich erst dann quantitativ bewertet werden, wenn es der Nachfrage gegenüber gestellt wird und es klar wird, inwiefern die erneuerbaren Energien den Bedarf decken können. Die Auswertung im Rahmen des Projektes beschränkte sich auf den Stromanteil.

5.1 STROMSEITIGER ENERGIEBEDARF HEUTE

METHODE

Es wurden der reale und der solidarische Strombedarf mit und ohne Berücksichtigung der Großindustrie ermittelt. Der heutige Strombedarf ohne Berücksichtigung der Großindustrie ließ sich aus den integrierten Klimaschutzkonzepten des Großraums Braunschweig und der anderen Landkreise ableiten (aus 2008 – 2011; Endenergie). Lediglich in drei Konzepten, dem des Großraums Braunschweig, der Stadt Salzgitter und der Stadt Wolfsburg wurde der Verbrauch der Großindustrie separat angegeben. In allen anderen Fällen wurde die Großindustrie nicht berücksichtigt oder es wurde nicht nach Groß- und Kleinindustrie unterschieden. Bei der fehlenden Unterscheidung wurde angenommen, dass es in den Kommunen keine größeren Industrieanlagen gibt.

Der Gesamtverbrauch resultiert aus Summe der Verbräuche des Großraums Braunschweig und der anderen Landkreise. Für den Landkreis Celle, für den kein Konzept vorlag, wurde der Mittelwert pro Kopf aus den vorhandenen für die Summenbildung genutzten Konzepten angenommen.

Darüber hinaus wurde der reale, aus den Konzepten abgeleitete Strombedarf in einen solidarischen Bedarf umgerechnet. Dieser soll zusätzlich den Bedarf benachbarter Kommunen bzw. Regionen Deutschlands mitberücksichtigen, die für die Selbstversorgung nicht das ausreichende Potenzial erneuerbarer Energien besitzen und theoretisch auf Importe aus der Metropolregion angewiesen sind. Dafür wurde zunächst eine solidarische Einwohnerzahl (proportional zur Fläche der Metropolregion) mithilfe der Einwohnerzahl Deutschlands bestimmt:

$$\text{Ew.-Zahl}_{\text{sol.}} = \text{Fläche MR} * \text{Ew.-Zahl}_{\text{real DE}} / \text{Fläche DE} \quad (1)$$

$$= 18.630 \text{ km}^2 * 80,62 \text{ Mio.} / 357.168 \text{ km}^2 = 4,21 \text{ Mio.}$$

Die solidarische Einwohnerzahl der Metropolregion von 4,21 Mio. ist um 11% höher als die reale Zahl von 3,8 Mio. Anschließend konnte mit dem Pro-Kopf-Verbrauch und der solidarischen Einwohnerzahl der solidarische Strombedarf ohne Großindustrie ermittelt werden.

Selbstverständlich kann die Großindustrie nicht ganz außen vor gelassen werden, denn sie soll zukünftig ebenfalls nach Möglichkeit bis zu gewissem Grad aus erneuerbaren Energiequellen versorgt werden. Da die Konzepte keine verlässlichen Zahlen über den Bedarf der Großindustrie lieferten, wurde der Pro-Kopf-Gesamtstromverbrauch Deutschlands (aus 2012; Endenergie) verwendet. Methodisch knüpft das Projekt hier an die Berechnungen im Gutachten des Niedersächsischen Ministeriums für Umwelt, Energie und Kli-

maschutz an, das im Rahmen des Runden Tisches Energiewende Niedersachsen erarbeitet wurde (MU, 2016a). Der solidarische Gesamtstromverbrauch der Metropolregion wird somit mit dem Pro-Kopf-Verbrauch Deutschlands und der solidarischen Einwohnerzahl der Metropolregion berechnet.

ERGEBNISSE

Der heutige stromseitige Energiebedarf der Metropolregion ohne Großindustrie beträgt laut Klimaschutzkonzepte in der Summe rund 17.640 GWh/a (Tab. 3). Pro Kopf bedeutet das bei 3,8 Mio. Einwohnern 4,64 MWh/a. Der solidarische Strombedarf ohne Großindustrie bezieht sich auf die Einwohnerzahl von 4,21 Mio. und beträgt rund 19.580 GWh/a. Er ist analog zur Einwohnerzahl um 11% höher als der reale Verbrauch.

Der solidarische Strombedarf mit Großindustrie basiert auf dem Pro-Kopf-Verbrauch Deutschlands von 6,45 MWh/ a und beträgt 27.119 GWh/a.

Tabelle 3: Übersicht Stromverbrauch heute (2008–2011) und der Anteil erneuerbaren Stroms ohne die Berücksichtigung von Großindustrie aus den Klimaschutzkonzepten

Konzept/ Kommune	Stromverbrauch [MWh/a]	Stromverbrauch p. P. [MWh/a]	EE-Strom p. P. [MWh/a]	Anteil EE-Strom
LK Celle	900.650	Mittelwert: 5,00		kein Konzept
LK Göttingen	494.200	3,61	0,83	23%
Stadt Göttingen	758.250	6,44	0,23	4%
LK Hameln-Pyrmont	760.000	4,81	1,35	28%
Reg. Hannover	4.673.000	4,14	0,37	9%
LK Heidekreis	733.000	5,24	2,16	41%
LK Hildesheim	1.537.439	5,43	1,07	20%
LK Holzminden	425.000	5,66	0,96	17%
LK Nienburg	699.487	5,65	2,82	50%
LK Northeim	698.281	5,07	1,23	24%
LK Osterode am Harz	467.834	5,90	k. A.	k. A.
LK Schaumburg	698.000	4,35	0,63	14%
Zweckverband Großraum Braunschweig	4.793.000	4,23	1,56	37%
LK Peine	514.667	3,81	2,90	76%
Stadt Salzgitter	454.000	4,50	1,47	33%
LK Wolfenbüttel	412.000	3,33	0,53	16%
Stadt Wolfsburg	474.008	3,36	0,26	8%
Stadt Braunschweig	1.333.360	5,42	k. A.	k. A.
LK Gifhorn	-			Kein Konzept
LK Goslar	-			Kein Konzept
LK Helmstedt	-			Kein Konzept
Aller-Leine-Tal	260.710	3,50	2,82	81%
Nördliches Harzvorland und Nordwestharz	823.041	3,72	2,16	58%
SUMME	17.638.148			

5.2 STROMSEITIGER ENERGIEBEDARF 2050

METHODE

Im Gegensatz zum jetzigen Stromverbrauch war die Ermittlung des Strombedarfs der Metropolregion für das Jahr 2050 auf Basis der Klimaschutzkonzepte aufgrund von verschiedenen dort verwendeten methodischen Ansätzen nicht möglich. Zum einen werden durch die Konzepte unterschiedliche Zeiträume betrachtet, zum anderen wird teilweise die Gesamtenergie angegeben, ohne darauf einzugehen, wieviel der Stromanteil daran macht (Abb. 7). Den Konzepten lassen sich gewisse qualitative Aussagen zur Entwicklung des Strombedarfs ableiten, während der genaue Bedarf für 2050 nicht beziffert werden kann.

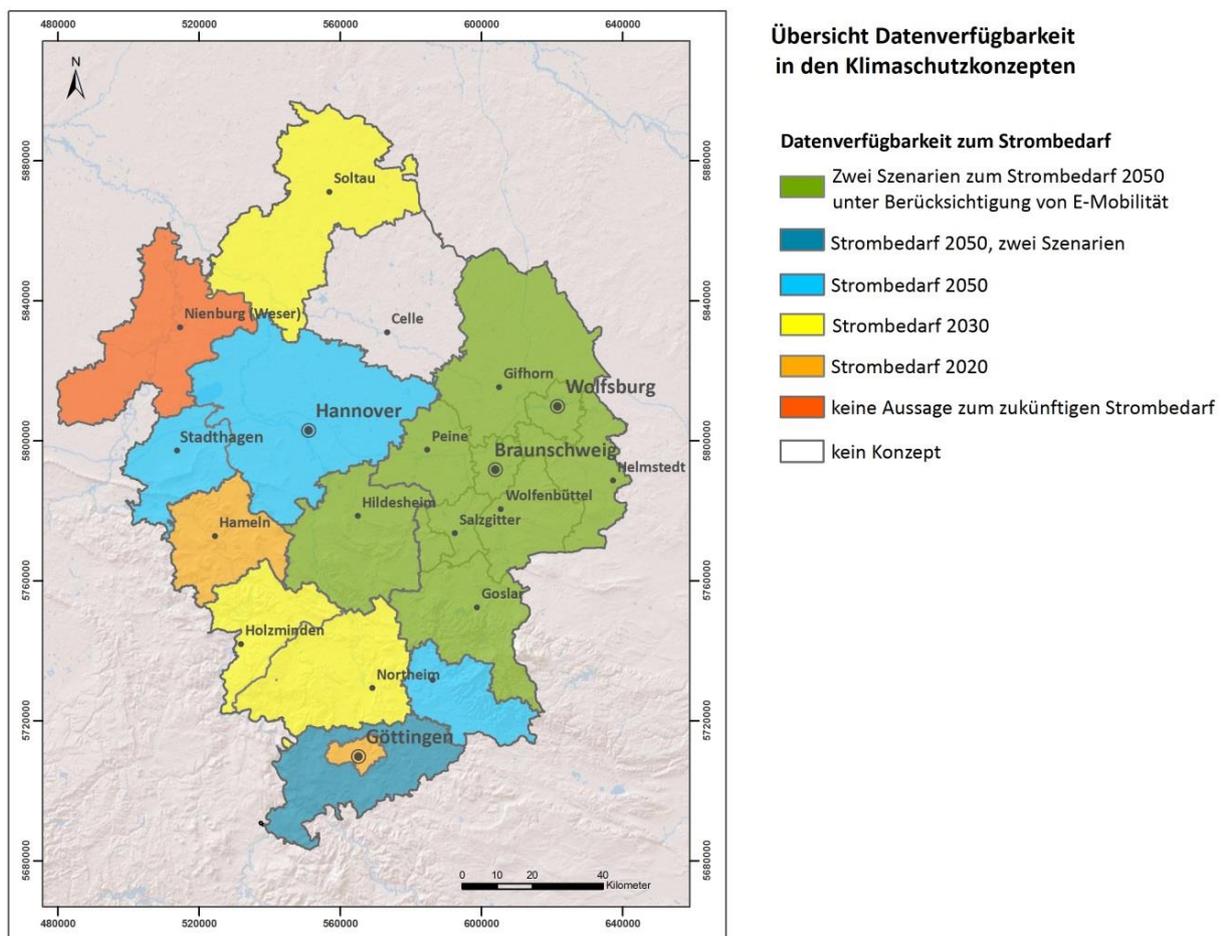


Abbildung 7 Datenverfügbarkeit zum zukünftigen Strombedarf in den Klimaschutzkonzepten auf Landkreisebene und im Regionalverband Großraum Braunschweig

Um den Strombedarf für die Metropolregion ermitteln zu können, wurden folgende Studien genauer betrachtet:

- „Regionales Energie und Klimaschutzkonzept für den Großraum Braunschweig (REnCO2)“ (ZGB, 2013) - Das Konzept wurde gesondert analysiert, weil es inhaltlich und methodisch sehr verständlich und informativ ausgearbeitet worden ist. Darüber hinaus befasst es sich mit einem großen Teil der Metropol-

region, was eine Übertragung der Methodik und/ oder Ergebnisse auf die Metropolregion möglich macht;

- „Szenarien zur Energieversorgung in Niedersachsen im Jahr 2050“, das Gutachten des Runden Tisches Energiewende Niedersachsen (MU, 2016a) – eine aktuellste Studie zum Thema Energieversorgung der Zukunft, die sich zugleich räumlich auf Niedersachsen beschränkt;
- „Modell Deutschland. Klimaschutz bis 2050: vom Ziel her denken“ (WWF Deutschland, 2009) – eine deutschlandweite Betrachtung der Energieversorgung bis zum 2050, die in manchen Klimaschutzkonzepten zitiert wird.

Die Literatur wurde im Hinblick auf die Szenarien zum Strombedarfsentwicklung verglichen. Es wurde geprüft, welche der dort verwendeten Methoden und Annahmen für den Raum Metropolregion sinnvoll übernommen werden könnten. Letztendlich wurde entschieden, der neusten Studie zu folgen und abgesehen von der Bevölkerungsentwicklung die restlichen dort angenommenen Trends der Energienutzung zu übernehmen.

ERGEBNISSE

Alle Klimaschutzkonzepte gehen von steigenden Effizienzpotenzialen und was damit zusammenhängt von einem sinkenden Energiebedarf aus (Abb. 8). Dies sei hauptsächlich auf einen technologischen Fortschritt, ein steigendes Umweltbewusstsein und eine intensive Gebäudesanierung zurückzuführen. Darüber hinaus wird in den meisten Konzepten ein Technologiewechsel im Wärme- und Verkehrssektor prognostiziert, der ebenfalls den Gesamtenergiebedarf senkt, allerdings den Strombedarf erhöht. Gemeint sind hiermit die steigende Wärmeerzeugung mittels Strom, vor allem der Einsatz von Elektropumpen bei der Nutzung von Umweltwärme und die Entwicklung von Elektromobilität. Strom wird verstärkt zu Gunsten von Brenn- und Treibstoffen eingesetzt. Aus den wenigen Konzepten, die diese Entwicklung in Verbrauchszahlen darstellen geht hervor, dass der Strombedarf je nach Szenario dadurch steigen oder gleich bleiben wird. Es handelt sich um die Konzepte des Regionalverbands Großraum Braunschweig und des Landkreises Hildesheim (Strom im Wärme- und Verkehrssektor) sowie die der Landkreise Göttingen und Peine (Strom im Wärme-sektor) (Abb. 9 und Abb. 10).

Aus den Konzepten wird deutlich, dass die Entwicklung von vielen Faktoren abhängig ist und sich unterschiedlich stark ausprägen kann. Im Konzept des Landkreises Hildesheim wird beispielsweise ein Anstieg des Strombedarfs im Verkehr je nach Szenario um 27 % bzw. 43 % angenommen (Abb. 11), während im Konzept des Großraums Braunschweigs mit bis zu 71 % mehr Elektromobilität gerechnet wird. Das entspricht einer Gesamtenergieeinsparung aufgrund der Reduktion von Treibstoffverbrauch in Hildesheim von bis zu 50 % und im Großraum Braunschweig von bis zu 73 %.

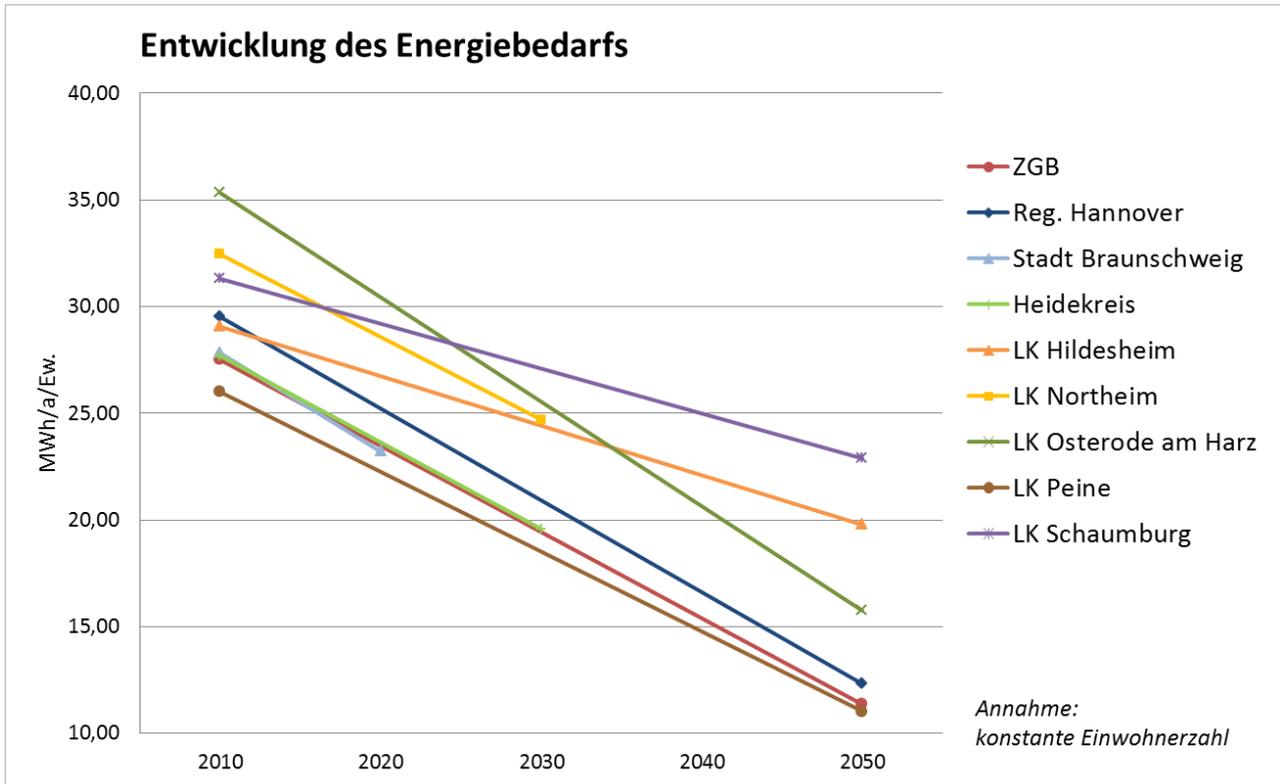


Abbildung 8: Entwicklung des Energiebedarfs in verschiedenen Klimaschutzkonzepten

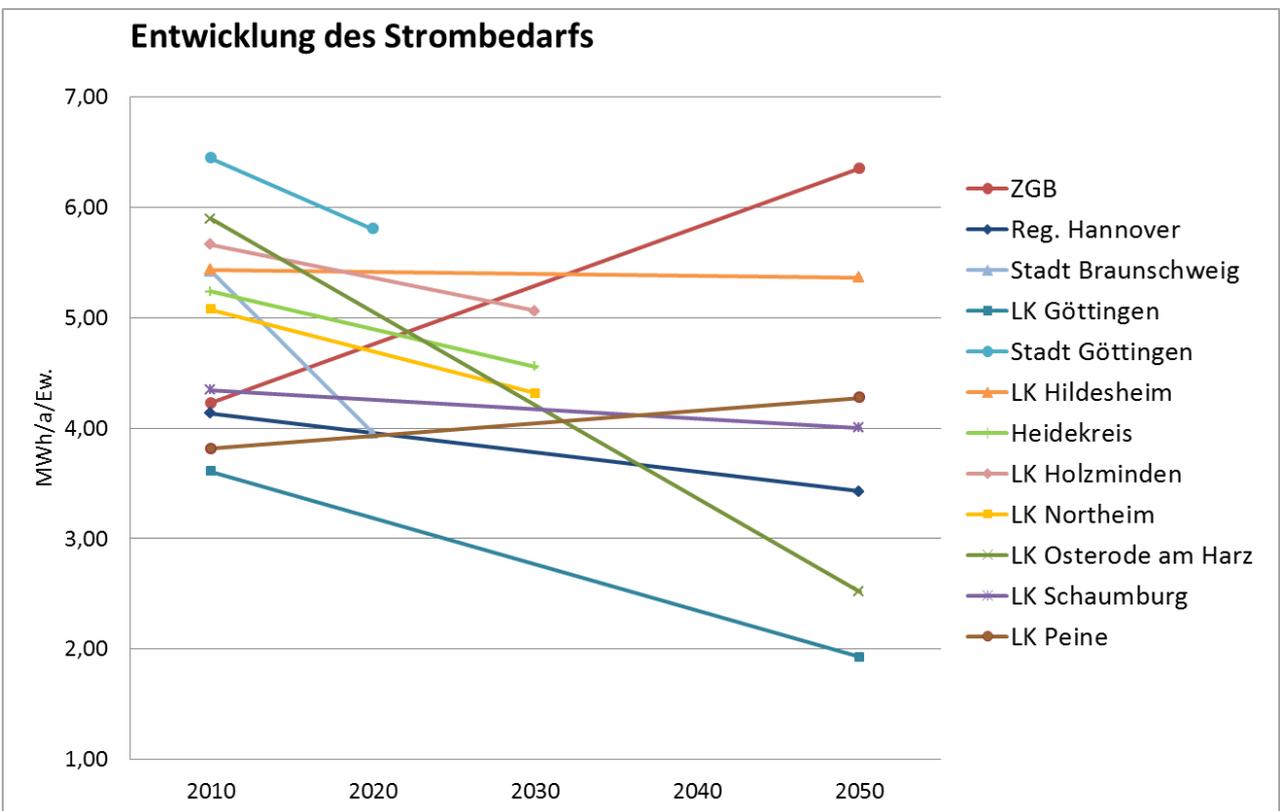


Abbildung 9: Entwicklung des Strombedarfs in verschiedenen Klimaschutzkonzepten

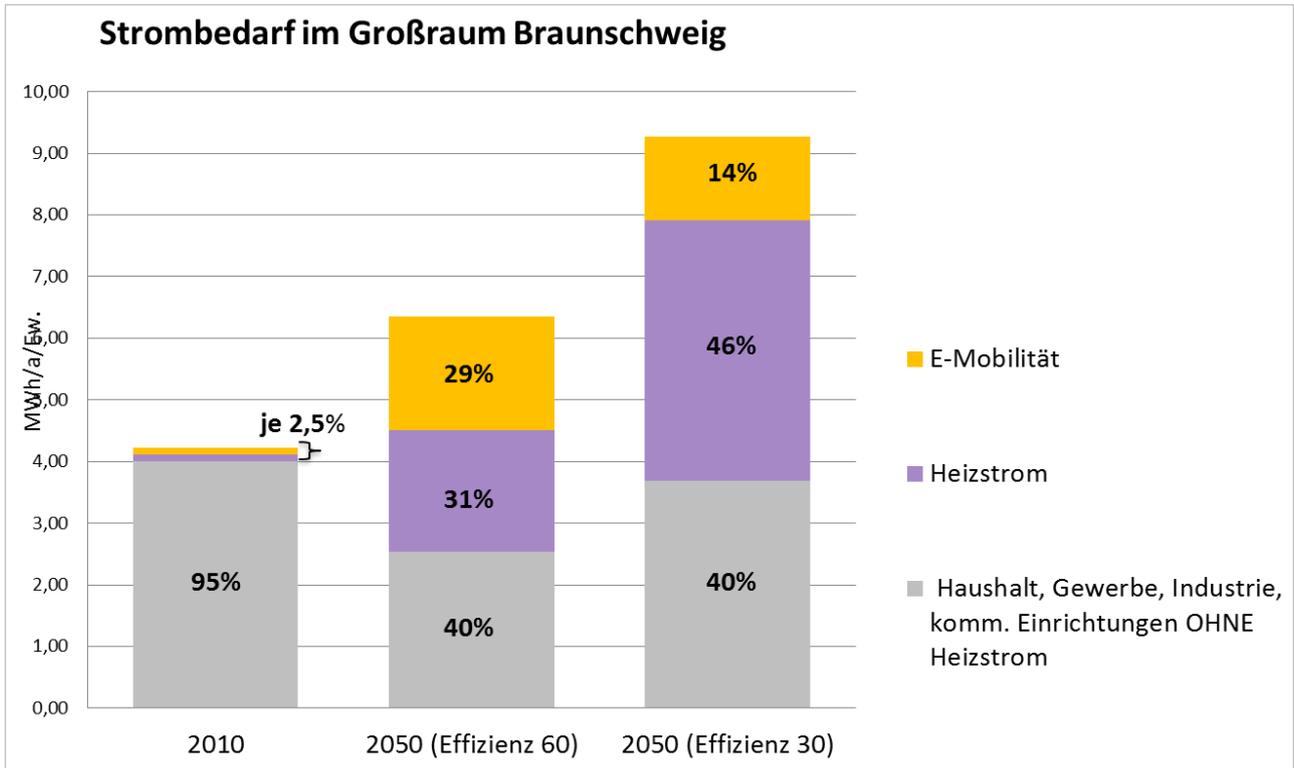


Abbildung 10: Zunahme des Strombedarfs für Elektromobilität und Heizen bis 2050 am Beispiel des Klimaschutzkonzeptes für den Großraum Braunschweig (ZGB, 2013); zwei Szenarien

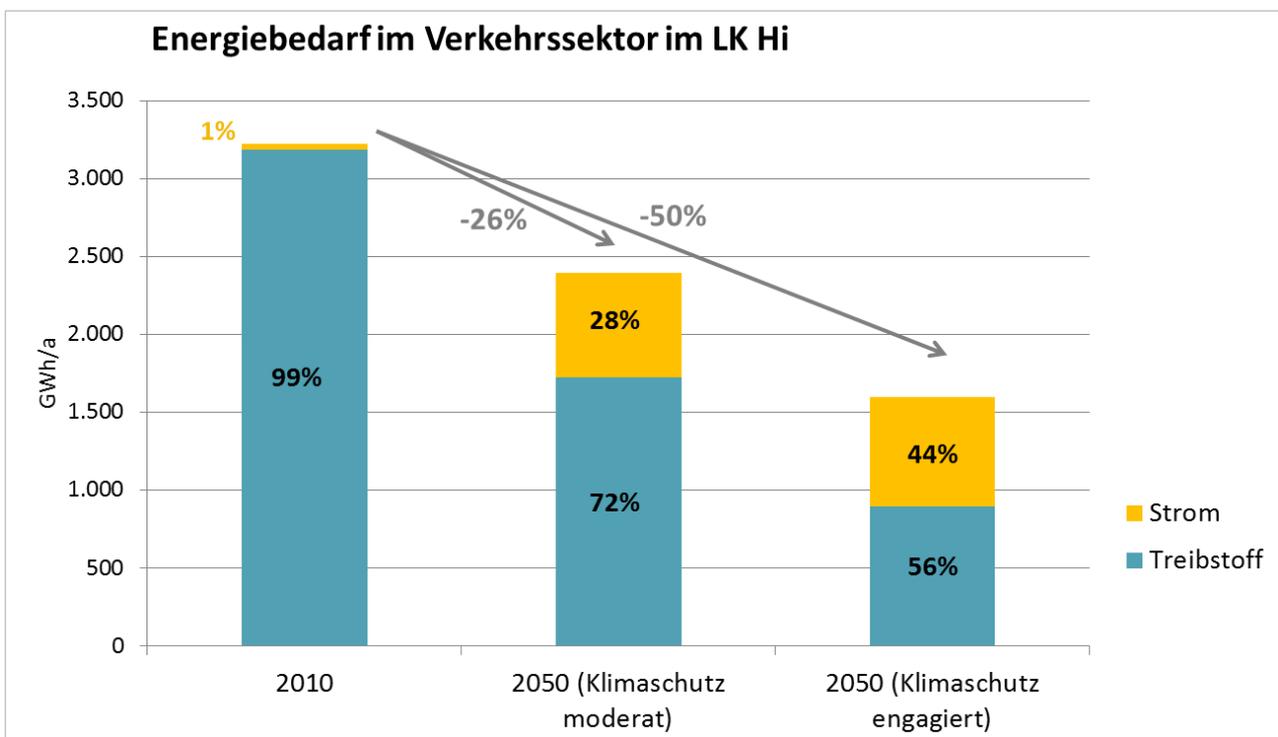


Abbildung 11: Entwicklung des Energiebedarfs im Verkehrssektor durch den Technologiewechsel (vom Treibstoff zum Strom) am Beispiel des Klimaschutzkonzeptes für den Landkreis Hildesheim (Landkreis Hildesheim, 2012)

Ergebnisse der weiteren Literaturrecherche bestätigen die allgemeinen Aussagen zum Trend der Energieeffizienz und –Einsparung trotz des generellen Wirtschaftswachstums. Das ist laut allen drei Studien (vgl. 5.2 Methode) vor allem auf einen Technologiefortschritt in verschiedenen Sektoren und den Technologiewechsel im Verkehr und Wärmeerzeugung, auf Gebäudesanierungsmaßnahmen und ein energetisch effizientes Bauen sowie eine sinkende Bevölkerungszahl zurückzuführen. Trotz ähnlicher Trends, gibt es quantitative Unterschiede bei den Prognosen zum Energie- und Strombedarf. Jede Studie hat jeweils zwei Szenarien berechnet, die weit auseinander liegen. Im Folgenden werden die Hauptmerkmale der Szenarien und die Differenzen am Beispiel des Verkehrs und der Gebäudewärme erläutert.

Für Deutschland wird beim „Modell Deutschland“ das Szenario „Innovation“ mit einer fast vollständigen Emissionsreduktion und Senkung des Endenergiebedarfs um 60 % dem Referenzszenario, in dem die energetische Entwicklung „weiter wie bisher“ verläuft, gegenübergestellt. Im erstgenannten Szenario wird ein kontinuierlicher Ausstieg aus den Verbrennungsmotoren im Personenverkehr zu Gunsten der Elektrofahrzeuge bis 2050 für realistisch gehalten, während im Referenzszenario weiterhin die Verbrennungsmotoren mit verbesserter Technologie und stärkerer Beimischung von Biokraftstoffen dominieren. In beiden Fällen soll der Güterverkehr zum großen Teil auf Schienen verlegt werden. Im Bereich der Gebäudewärme werden im Szenario „Innovation“ hauptsächlich Passivhäuser oder Nutzung der Umweltwärme vorgesehen. Als Referenz werden hauptsächlich Gas- und Öl-Heizungen verwendet. Stromdirektheizung soll entweder ganz verschwinden oder viel weniger vertreten sein. Diese Annahmen führen insgesamt in beiden Szenarien zu einer Senkung des Strombedarfs in der Haushaltswärme. Der steigende Kältebedarf in Haushalten wirkt sich in der Summe des Strombedarfs in dem Sektor nicht merklich aus, denn der technologische Fortschritt in Richtung Effizienzsteigerung überwiegt (WWF Deutschland, 2009).

Im niedersächsischen Gutachten wird ebenfalls vom Ziel her gedacht und eine 100 %-ige Versorgung mit erneuerbaren Energien in einem Szenario bzw. eine Senkung der Treibhausgase um 80 % im zweiten Szenario festgelegt. Gebäude sollen überwiegend mit Umweltwärme (mittels elektrischer Pumpen) versorgt werden. Der Wärmebedarf sinkt (im „100%-EE“-Szenario um ein Drittel) durch die neue Heiztechnologie und Sanierungsmaßnahmen. Der Verkehr soll je nach Szenario bis zu 88 % bzw. 85 % elektrisch erfolgen. Restliche Kraftstoffe werden durch Elektrolyse gewonnen, für die ebenfalls Strom benötigt wird. Der einzige große Unterschied zwischen den Szenarien ergibt sich im Bereich der Prozesswärme. Während sie im „100 %-EE“-Trend zu mehr als die Hälfte elektrisch und ansonsten aus erneuerbaren Brennstoffen gewonnen wird, erfolgt die Elektrifizierung im „80 %-THG“-Szenario zeitlich verzögert und wird im Jahr 2050 zur 17 % angenommen.

Für den Großraum Braunschweig wird unabhängig vom Szenario eine 100 %-ige Versorgung (ausgenommen die Großindustrie) mit erneuerbaren Energien angenommen. Dabei sind die Annahmen zu den Einsparpotenzialen und somit die benötigte Energiemenge pro Szenario unterschiedlich: 30 % bzw. 60 % weniger Energiebedarf im Vergleich zur Ist-Situation. Die größten Einsparungen werden im Verkehrssektor angenommen, wo eine Umstellung auf Elektromobilität im Personentransport je nach Szenario zu Hälfte bzw. vollständig erfolgt. Der Güterverkehr wird zu 20 % bzw. ebenfalls vollständig auf elektrisch umgestellt. Das „Effizienz-60“-Szenario geht darüber hinaus von einem ambitionierten technologischen Fortschritt und einem hohen Sanierungstempo aus.

Wie sich die Annahmen der jeweiligen Szenarien auf den Strombedarf auswirken, ist in der Tabelle 4 zusammengefasst. Trotz ähnlicher qualitativer Annahmen fällt im quantitativen Vergleich auf, dass Zahlen für den Strombedarf teilweise weit auseinander liegen oder sich sogar im Vorzeichen unterscheiden.

Tabelle 4: Änderung des Strombedarfs bis 2050 abhängig vom Sektor bzw. Anwendung in den analysierten Studien. Zahlen in % gerundet auf volle Zehner (ZGB, 2013; MU, 2016a; WWF Deutschland, 2009)

Sektoren/ Anwendungen	„REnKOCO2“ Großraum Braunschweig	„Szenarien zur Energiever- sorgung in Niedersachsen“	„Modell Deutschland“
Haushalte	-60 / -40		-40 / -30
GHD	-30 / +10		-50 / -1
Industrie			-50 / -10
Verkehr	+1.650 / +1.160	+1.500 / +1.450	+220 / +130
KLIK	-40 / -10	-20 / -20	
Gebäudewärme	+1.760 / +3.910	+70 / +80	-40 / -50
Prozesswärme		+160 / -10	
Gesamtbedarf	+60 / +130	+60 / +30	-40 / -10

Um einer einheitlichen Methodik zu folgen und für den Raum der Metropolregion möglichst realistisch zu bleiben, wurde es für sinnvoll erachtet die Zahlen des Gutachtens des Runden Tisches zu übernehmen. Die sich daraus ergebende prozentuale Änderung des Strombedarfs wurde auf den Bedarf der Metropolregion angewendet. Lediglich die Annahme über die Senkung der Bevölkerung um 12 % wurde als zu unsicher erachtet und die Rechnung für eine konstante Einwohnerzahl vorgenommen. Ausgehend von dem gegenwärtigen solidarischen Bedarf der Metropolregion von 19.578.344 MWh/a und der Einwohnerzahl von 3,8 Mio. wurde der Mehrbedarf für das Jahr 2050 berechnet. Er beträgt laut „100 %-EE“-Szenario 58,2 % und laut „80 %-THG“-Szenario 29,6 % des heutigen Bedarfs. In der Zahl verbergen sich viele einzelne Annahmen, unter anderem die der sinkenden Bevölkerungszahl. Um die Senkung zu korrigieren, das heißt eine konstante Einwohnerzahl zu betrachten, wurde der zukünftige Bedarf pro Kopf umgerechnet und mit einer um 12 % höheren Einwohnerzahl multipliziert. Somit ergibt sich für die Metropolregion ein solidarischer Bedarf im 2050 von rund 34.690 GWh/a im „100 %-EE“-Szenario bzw. 28.418 GWh/a im „80 %-THG“-Szenario. Das entspricht einem Mehrbedarf von 77 % bzw. 45 % im Vergleich zu heute (Tab. 5).

Tabelle 5: Berechnung des Strombedarfs 2050 auf Basis der gesamthaften prozentualen Entwicklung aus dem Gutachten für Niedersachsen (MU, 2016a) und unter Annahme einer konstanten Einwohnerzahl. Zahlen gerundet.

GI: Großindustrie, sol.: solidarisch, Ew.: Einwohner

Rechenwerte/-schritte	Szenario „100 % EE“	Szenario „-80 % THG“
Strombedarf sol. gegenwärtig	19.578.344 MWh/a	
Strombedarf sol. gegenwärtig mit GI	27.119.113 MWh/a	
Einwohnerzahl	3.800.000	
Einwohnerzahl + 12 %	4.256.000 (zur Berechnung des Bedarfs bei konstanter Ew.-Zahl = Die Senkung um 12 % wird korrigiert)	
Entwicklung Strombedarf bis 2050 inkl. -12 % Bevölkerung	+58,2 %	+29,6 %
Strombedarf 2050 inkl. -12 % Bevölkerung ohne Großindustrie	30.972.941 MWh/a	25.373534 MWh/ a
mit Großindustrie	42.902.437 MWh/a	35.146.370 MWh/a
Strombedarf 2050 inkl. -12 % Bevölkerung pro Ew. (zur Berechnung des Bedarfs bei konstanter Ew.-Zahl)		
ohne Großindustrie	8,2 MWh/ a	6,7 MWh/a
mit Großindustrie	11,3 MWh/ a	9,2 MWh/a
Strombedarf 2050 bei konst. Einwohnerzahl ohne GI	34.689.694 MWh/a	28.418.358 MWh/a
mit GI	42.902.437 MWh/a	35.146.371 MWh/a
Entwicklung Strombedarf bis 2050 bei konst. Einwohnerzahl	+77,2 %	+ 45,2 %

6. Die Klimasensitivität der erneuerbaren Energieträger

Die Energiewirtschaft ist gemäß der „Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ (DAS) (Bundesregierung, 2008) und dem zugehörigen Aktionsplan Anpassung (APA) (Bundesregierung, 2011) in Verbindung mit der Studie „Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel“ (UBA, 2015) eines von dreizehn von Klimaveränderungen betroffenen Handlungsfeldern mit bundesdeutscher Relevanz. Innerhalb des Handlungsfeldes stellt die Produktion erneuerbarer Energie als Teilbereich der Energieumwandlung einen von mehreren Klimawirkungspfaden dar (Abb. 12). Mit Ausnahme der Erdwärme sind alle erneuerbaren Energien unmittelbar von den klimatisch-meteorologischen Bedingungen am Ort ihrer Produktion abhängig: Die Energiedichte des Windes determiniert den Ertrag eines Windparks, die einfallende Globalstrahlung bedingt die Auslastung von Photovoltaikanlagen, die klimatischen Bedingungen während der Vegetationsperiode haben einen unmittelbaren Einfluss auf die Quantität und Qualität von Inputmaterial für Biogas/-methananlagen und der Durchfluss im Fließgewässer beeinflusst den Wirkungsgrad von Wasserkraftanlagen. Neben den vielfach diskutierten und analysierten nicht-klimatischen Einflussfaktoren der Energiewende (technischer Fortschritt, gesellschaftliche Akzeptanz, politische Zielsetzungen) besitzt auch der fortschreitende Klimawandel per se das Potenzial, die Produktionsbedingungen von erneuerbarer Energie – positiv wie negativ – zu beeinflussen.

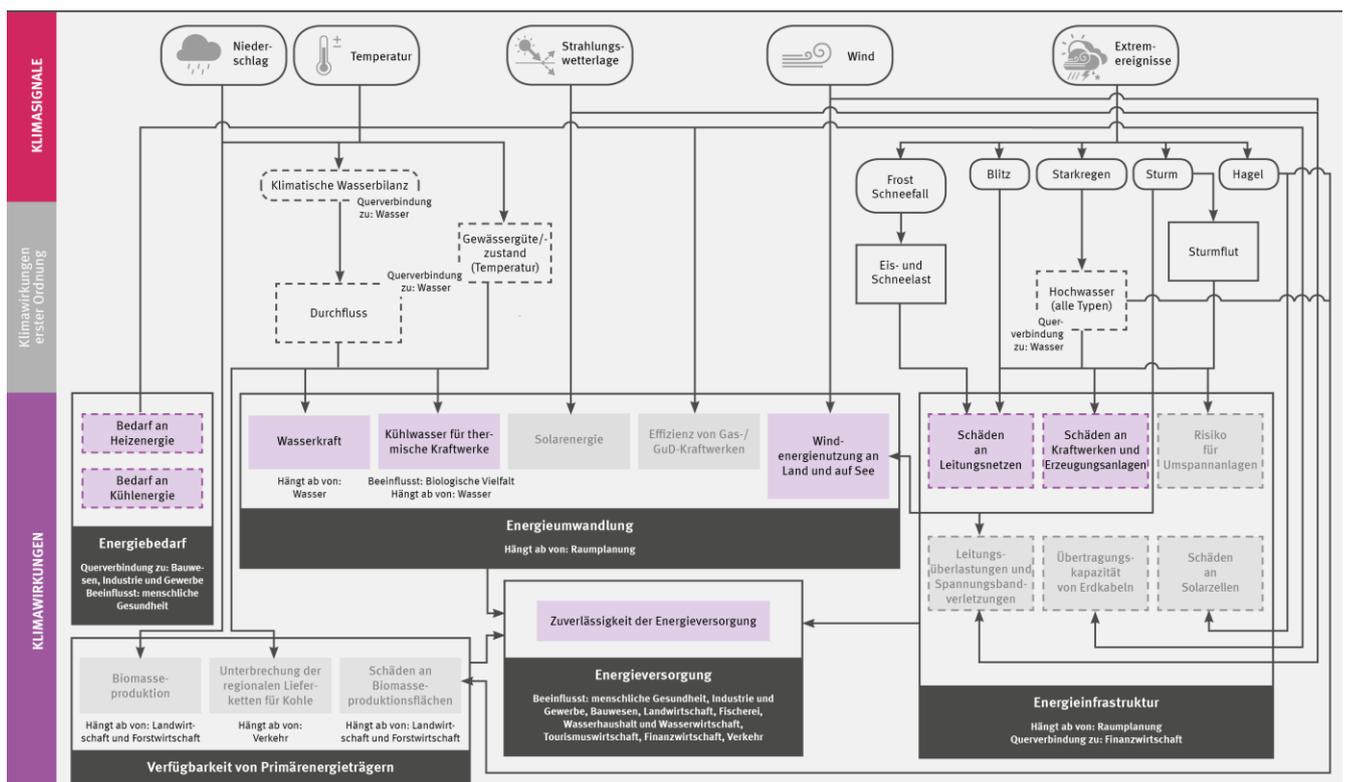


Abbildung 12: Wirkungskette des Handlungsfeldes Energiewirtschaft (Quelle: Netzwerk Vulnerabilität)

Methoden zur Quantifizierung dieses Einflusses lagen zu Projektbeginn ebenso wenig vor, wie daraus abgeleitete Strategien und Maßnahmen zum Umgang mit etwaig erheblichen Auswirkungen. Bisherige, vorrangig während der Projektlaufzeit veröffentlichte Studien kommen tendenziell zu dem Schluss, dass mit einem eher geringen Einfluss zu rechnen ist (UBA, 2013; Bett et al., 2014; Koch et al., 2015; Karnauskas et al., 2017). Allen Analysen ist jedoch gemein, dass sie sowohl hinsichtlich des notwendigen räumlichen Konkre-

tisierungsgrades als auch mit Bezug zur Methodenwahl eher (zu) grob angelegt sind und weitgehend von den lokalen Gegebenheiten abstrahieren.

Die Analyse der kommunalen Klimaschutzkonzepte hat gezeigt, dass in der Metropolregion Hannover Braunschweig Göttingen Wolfsburg grundsätzlich alle klimasensitiven erneuerbaren Energien eine Rolle im Energiesystem spielen. Das mit Abstand größte Potenzial wird dabei der Windkraftnutzung zugeschrieben, weshalb es im Folgenden vertiefend analysiert wird. Mit einigem Abstand folgen die Solarenergienutzung und die Stromgewinnung aus Biogas sowie Wasserkraftwerke.

7. Auswirkungen des regionalen Klimawandels auf die Produktionsbedingungen erneuerbarer Energie aus Windkraft

7.1 WINDENERGIEPOTENZIAL HEUTE

METHODE

Das grundsätzliche Verfahren zur Bestimmung des heute im Mittel zu erwartenden Windpotenzials und der darauf aufbauenden Verwertung im Rahmen von Potenzialabschätzungen für die Metropolregion Hannover Braunschweig Göttingen Wolfsburg ist in Abbildung 13 dargestellt.

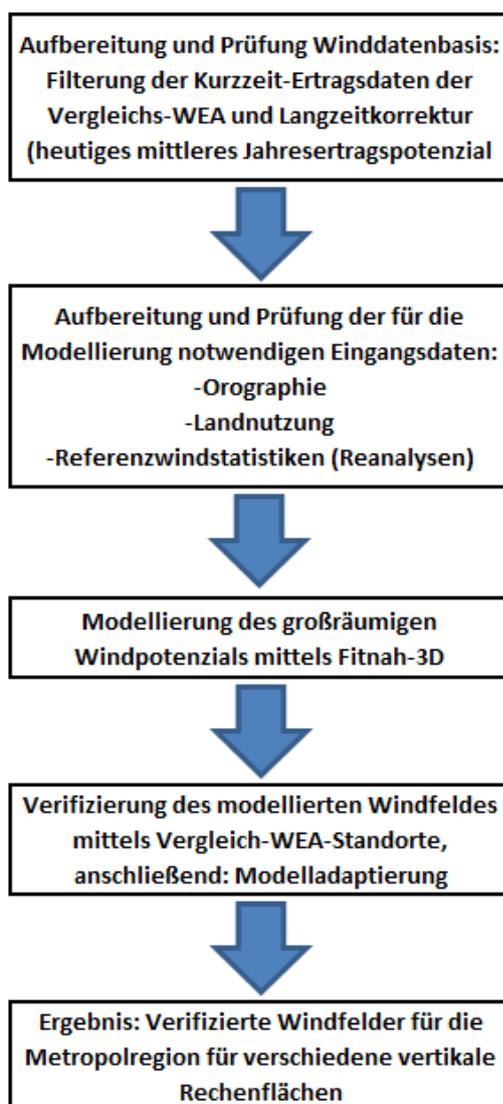


Abbildung 13: Übersicht über die Vorgehensweise der Windfeldmodellierung sowie derer Verwertung

An die Aufbereitung der Modelleingangsdaten schloss sich zunächst ein erster Modelllauf mit FIT-NAH-3D zur Bestimmung des großräumigen Windpotenzials an. Anschließend wurde die Windvergleichsdatenbasis aufbereitet, die im vorliegenden Fall aus Ertragsdaten von Vergleichs-Windenergieanlagen (Vergleichs-WEA) an ausgewählten und repräsentativen Standorten bestand. Die Aufbereitung bestand dabei im Wesentlichen aus einer Filterung von unplausiblen Werten und einer geeigneten Langzeitkorrektur der Kurzzeit-Ertragsdaten. Mittels der aufbereiteten Winddatenbasis erfolgte eine Verifizierung des modellierten Windfeldes an den Vergleichs-WEA-Standorten und daran anschließend eine Modelladaptation (Modellanpassung), sodass im Ergebnis verifizierte Windfelder für die Metropolregion in der gewählten horizontalen Auflösung für verschiedene vertikale Rechenflächen (verschiedene Höhen über Grund) vorlagen. Diese Ergebnisse wurden im Web-GIS (vgl. Kap. 8.2) visualisiert.

Referenzdatenbasis

Für die Windpotenzialstudie der Metropolregion musste zunächst eine geeignete Datenbasis geschaffen werden, die als Grundlage für die Modellierung des Windfeldes und der anschließenden, großräumigen Verifizierung der Ergebnisse und der Modellanpassung diente. Dazu wurden zunächst der in der Metropolregion und seiner Umfeld existierender Bestand an Windenergieanlagen (WEA) sowie deren Repräsentativität für den jeweiligen Landschafts-

raum überprüft. Dabei zeigte sich bereits, dass die theoretisch zur Verfügung stehenden WEA nicht gleichmäßig über die Regionen verteilt sind, sodass die spätere Validierung der Rechenergebnisse nicht überall mit gleicher Intensität durchgeführt werden konnte. Dies wiederum hatte Auswirkungen auf die Aussagekraft der Simulationen bzw. auf die zu bestimmenden Unsicherheiten. Die vorhandenen Ertragsdaten von Windenergieanlagen deckten allerdings weite Regionen der Metropolregion gut ab.

Als Grundlage für den Verfahrensschritt der Bereitstellung der langzeitrepräsentativen Winddatenbasis standen Ertragsdaten von 215 WEA zur Verfügung (Abb. 18). Davon befanden sich 176 WEA auf dem Gebiet der Metropolregion und 39 WEA auf grenznahen Gebieten. Die Datensätze stammen zum einen aus der Betreiberdatenbasis und den Datenveröffentlichungen im Internet und zum anderen direkt von Betreibern, Herstellern und Projektentwicklern. Sie unterliegen damit z.T. der Geheimhaltung und enthalten mindestens monatliche Energieerträge sowie Angaben zu technischen Verfügbarkeiten.

Die Auswahl der verwendeten Vergleichs-WEA erfolgte u.a. anhand folgender Kriterien:

- repräsentative räumliche Verteilung der Vergleichs-WEA über das Modellgebiet,
- möglichst gute Datenqualität der Referenzdaten,
- möglichst lange Betriebsperioden der Vergleichs-WEA,
- mögliche Abdeckung der Nabenhöhen eines großen Höhenbereiches.

Eine repräsentative räumliche Verteilung der Vergleichs-WEA war mit Einschränkungen gegeben. Hinsichtlich der Nabenhöhen wiesen 50 WEA eine Nabenhöhe bis 65 m auf, 102 eine Nabenhöhe größer gleich 65 m, aber kleiner als 100 m und 63 Anlagen eine Nabenhöhe von mindestens 100 m.

Zur Herleitung des Windpotenzials aus den Ertragsdaten ist die Kenntnis anlagenspezifischer Informationen vonnöten, wozu der Anlagentyp, die Nabenhöhe, die Standortkoordinaten, Leistungseinschränkungen sowie zusätzlich zum Ertrag die technischen Verfügbarkeiten zählen. Zur Ermittlung bzw. Überprüfung der vorliegenden anlagenspezifischen Kennzahlen, der Bewertung der Anströmungsverhältnisse und damit Repräsentativität der WEA für das umliegende Areal sowie zum Abgleich der verwendeten Eingangsdaten im Rahmen der Modellierung wurden (im Rahmen früherer Projekte) z. T. Standortbesichtigungen der untersuchten Windparks durchgeführt.

Exkurs: FITNAH-3D - Modellbeschreibung, Grundgleichungen und Eingangsdaten

Die Simulation der in dem Modellgebiet bestehenden Strömungsverhältnisse erfolgt rasterbasiert mit dem dreidimensionalen nichthydrostatischen Mesoskalenmodell FITNAH-3D (Flow over Irregular Terrain with Natural and Anthropogenic Heat-sources) (Groß G., 2002). FITNAH-3D erfüllt und übertrifft die in der VDI-Richtlinie 3783 (VDI, 1992 und VDI, 2017) festgelegten Mindestanforderungen an mesoskalige Modelle und stellt damit seine grundsätzliche Leistungsfähigkeit unter Beweis.

Mesoskalige Modelle umfassen atmosphärische Phänomene mit einer horizontalen Ausdehnung von 1 km bis 100 km und einer Zeitdauer von 30 min bis zu einem Tag (VDI, 2017). Neben den in Abbildung 14 dargestellten Phänomenen gehört dazu neben dem Land-See-Wind auch das Berg-Tal-Windsystem.

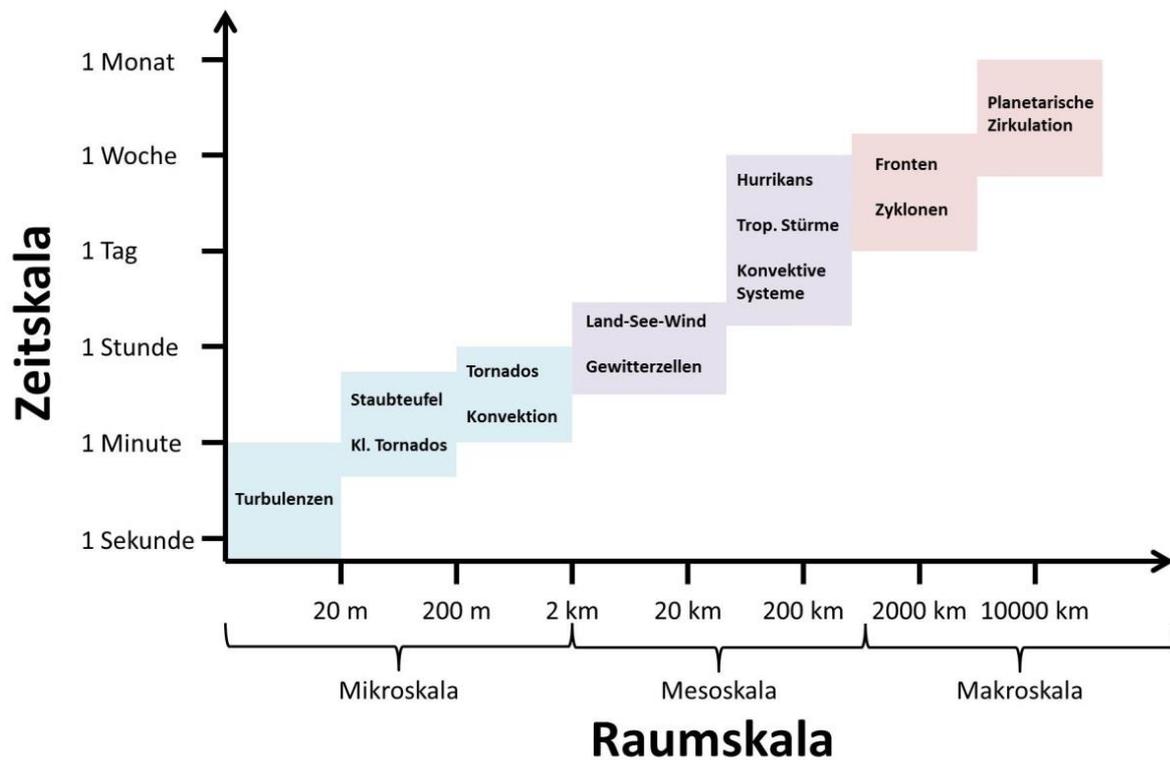


Abbildung 14: Raum- und Zeitskalen in der Meteorologie nach Orlanski (1975)

Diese qualitativ hochwertige Modellierungsform ist dazu geeignet, das Windfeld im komplexen sowie nicht komplexen Gelände der Metropolregion realistisch zu simulieren und wurde für ähnliche Fragestellungen in der jüngeren Vergangenheit in Deutschland (Windpotenzialstudien Nordrhein-Westfalen, Thüringen, Sachsen, zahlreiche Windpotenzialstudien auf Landkreis- und Gemeindeebene) bereits erfolgreich von GEO-NET eingesetzt. FITNAH-3D wird kontinuierlich an die Fragestellungen der Windenergiebranche angepasst bzw. optimiert und im Rahmen des Akkreditierungsprozesses intern verifiziert und mit Sensitivitätsstudien auf Unsicherheiten und Anwendbarkeit in verschiedenen Geländeformen unter Einbeziehung externer Daten überprüft.

Grundlage für die Windfeldmodellierung sind Informationen hinsichtlich der großräumigen, mittleren synoptischen Wetterbedingungen, für welche die lokalen Windverhältnisse in verschiedenen Höhen über Grund an einem Standort berechnet werden. Als repräsentative meteorologische Situationen werden die Windverhältnisse in einer Höhe von etwa 2000 m ü. NN. verwendet (geostrophischer Wind), da die Strömung in diesem Höhenniveau von den bodennahen Geländestrukturen unbeeinflusst ist. Die Modifikation des Windfeldes in Bodennähe und in der gesamten atmosphärischen Grenzschicht wird durch das dreidimensionale nichthydrostatische Mesoskalenmodell FITNAH-3D berechnet. Dabei finden die Richtung und die Windgeschwindigkeit der Strömung in der freien Atmosphäre genauso Eingang in die Simulationen wie die charakteristischen Eigenschaften der Luftmasse.

Das Grundgerüst des Modells besteht aus den Gleichungen der Impulserhaltung (Navier-Stokes-Bewegungsgleichungen), der Massenerhaltung (Kontinuitätsgleichung) und der Energieerhaltung (1. Hauptsatz der Thermodynamik). Da die Corioliskraft Berücksichtigung findet, wird auch die in der atmosphärischen Grenzschicht zu beobachtende Winddrehung mit der Höhe berechnet. Die durch die Reynolds-

Mittlung entstehenden Korrelationen von fluktuierenden Größen werden durch den Gradientansatz für turbulente Flüsse parametrisiert. Die aus diesem Ansatz resultierenden turbulenten Diffusionskoeffizienten (K_m und K_h für Impuls und Wärme) werden mit der Prandtl-Kolmogorov-Beziehung aus der turbulenten kinetischen Energie E berechnet. Daher ist die Lösung einer weiteren prognostischen Gleichung für die turbulente kinetische Energie notwendig. Für den Fall, dass Feuchte berücksichtigt wird, kommt noch die prognostische Gleichung für die Feuchte s hinzu. In dieser Gleichung bezeichnet P_s Quellen und Senken der Feuchte. Mit diesen Annahmen schreibt sich das Gleichungssystem wie folgt:

$$\frac{d\bar{u}_i}{dt} = -\frac{1}{\bar{\rho}} \frac{\partial p'}{\partial x_i} + g \frac{\theta'}{\bar{\theta}} \delta_{i3} + \frac{\partial}{\partial x_k} \left[K_m \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_k} + \frac{\partial \bar{u}_k}{\partial x_i} \right) \right] + \varepsilon_{ijk} f_j u_k \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{d\bar{\theta}}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_k} K_h \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial x_k} \quad (4)$$

$$\frac{d\bar{s}}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_k} K_h \frac{\partial \bar{s}}{\partial x_k} + P_s \quad (5)$$

$$\frac{dE}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_k} K_m \frac{\partial E}{\partial x_k} + K_m \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_k} + \frac{\partial \bar{u}_k}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_k} - K_h \frac{g}{\bar{\theta}} \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial x_i} \delta_{i3} - \frac{E^{3/2}}{l} \quad (6)$$

$$K_m = 0.2 l \sqrt{E} \quad (7)$$

Die in den Formeln enthaltenen Größen sind die Zeit t , die Geschwindigkeit u_i und Richtung x_i , die potenzielle Temperatur θ , sowie die Erdbeschleunigung g . Neben den Standardbezeichnungen handelt es sich bei $\bar{\rho}$ um die mittlere Luftdichte sowie bei p' und θ' um Druck- bzw. Temperaturstörungen.

Der Einfluss der thermischen Schichtung auf die turbulente Durchmischung in der Grenzschicht wird mit einer schichtungsabhängigen Mischungsweglänge l berücksichtigt.

$$l = l_a / \phi \quad (8)$$

wobei ϕ die Profilfunktion darstellt welche nach Businger et al. (1971) ausgedrückt wird durch:

$$\phi = \begin{cases} 1 + \gamma_1 \frac{z}{L} & , \frac{\partial \theta}{\partial z} > 0 \\ \left(1 - \gamma_2 \frac{z}{L}\right)^{-0.25} & , \frac{\partial \theta}{\partial z} \leq 0 \end{cases} \quad (9)$$

mit $\gamma_1=4.7$ and $\gamma_2=15$. z bezeichnet die Höhe und L die Monin-Obukhov-Länge, welche definiert ist durch:

$$L = -\frac{\bar{\theta}}{\kappa g} \frac{u_*^3}{\overline{w'\theta'}} \quad (10)$$

mit der Schubspannungsgeschwindigkeit u_* und dem turbulenten Wärmefluss $\overline{w'\theta'}$, die beide mittels Ähnlichkeitstheorie berechnet werden (Stull, 1988). Für die von Kármán Konstante κ wird ein Wert von 0.41 verwendet.

Der turbulente Diffusionskoeffizient für Wärme, K_h , hängt mit dem turbulenten Diffusionskoeffizienten für Impuls, K_m , über die turbulente Prandtl-Zahl zusammen.

Für die zeitliche und räumliche Diskretisierung der Variablen werden finite Differenzen verwendet, wobei zeitliche und räumliche Differentialquotienten in Differenzenquotienten überführt werden. Für den Zeitschritt wird eine vorwärts gerichtete Differenzenapproximation verwendet. Begrenzt wird die Größe des Zeitschritts durch verschiedene Zeitschrittkriterien.

Die Lösung der Gleichungen erfolgt auf einem versetzt angeordneten Gitter, bei dem skalare Größen im Zentrum der Rechenzellen und Geschwindigkeitskomponenten an den entsprechenden Seitenwänden berechnet werden (Abb. 15) (Groß G., 1993). Die Druckstörung p' wird mittels einer dreidimensionalen diskreten Poisson-Gleichung direkt gelöst, für die vertikale Komponente durch Gauss-Elimination und in der Horizontalen durch eine Fast-Fourier-Transformation (Günther R., 2010).

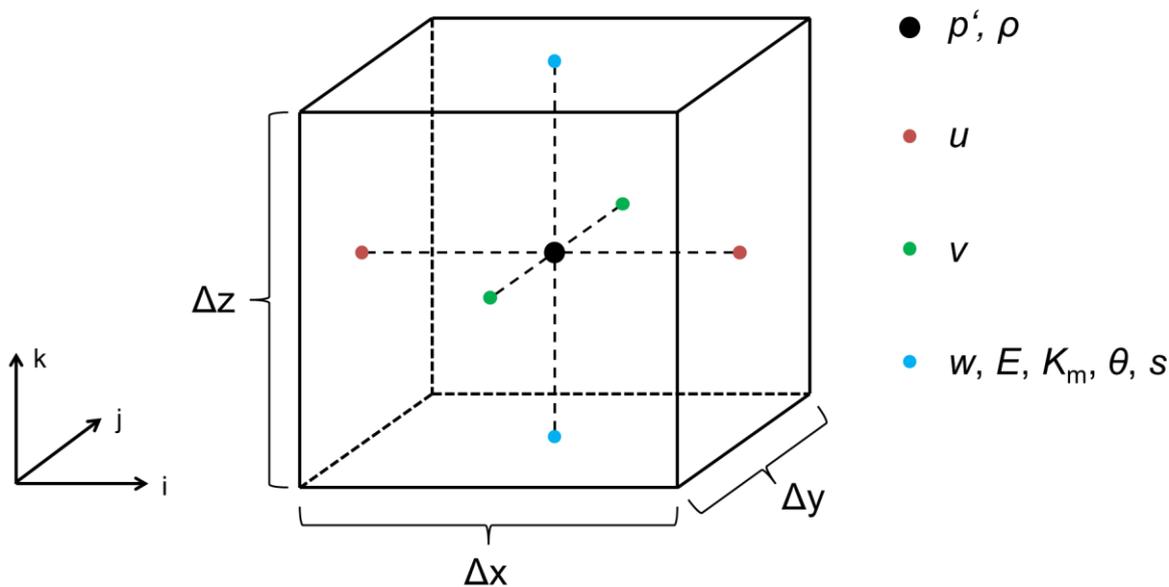


Abbildung 15: Skizze des numerischen Gitters mit Lage der meteorologischen Variablen im dreidimensionalen nichthydrostatischen Mesoskalenmodell FITNAH-3D

In der Vertikalen werden bei den Modellsimulationen 50 horizontale und geländeangepasste Rechenflächen übereinander angeordnet (Abb. 16). Der Abstand ist in Bodennähe mit 5 m bis 10 m sehr gering gewählt, darüber hinaus nimmt der Abstand sukzessive zu, bis der Oberrand des Rechengitters in der Höhe von max. 2000 m ü. G. erreicht wird. Diese Festlegung trägt der Tatsache Rechnung, dass die vertikalen Änderungen der meteorologischen Variablen in Bodennähe besonders groß sind, während in größeren Höhen üblicherweise nur noch geringe Variationen beobachtet werden.

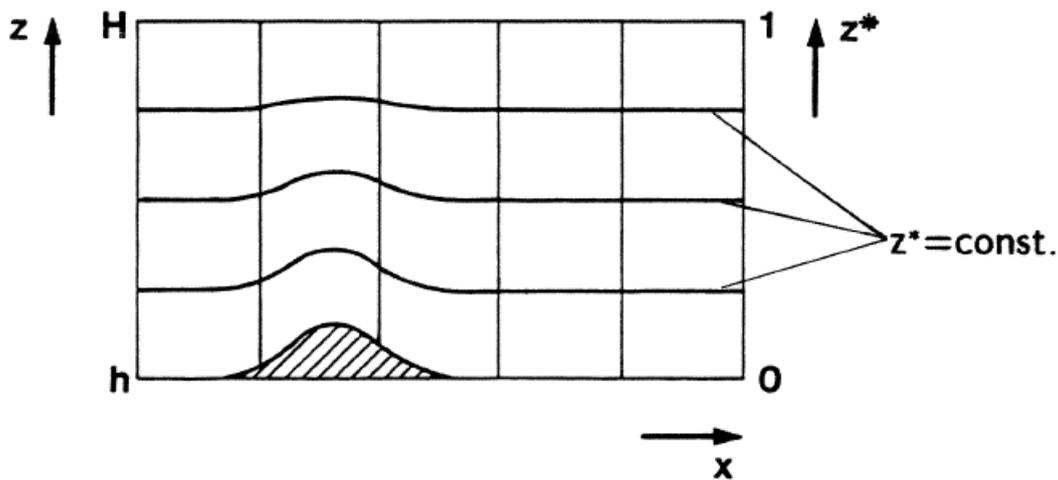


Abbildung 16: Vom Mesoskalenmodell FITNAH-3D verwendetes geländefolgendes Koordinatensystem. Die Topographie ist schraffiert (Groß G., 1993)

Die Randbedingungen werden so gewählt, dass durch Hindernisse nahe der Oberfläche hervorgerufene Störungen bis zur Modellobergrenze verschwinden, wo ein ungestörter Zustand mit festen Werten des Windes, der turbulenten kinetischen Energie, der Temperatur und der spezifischen Feuchte angenommen wird. Als Randbedingung am Unterrand des Modellgebiets werden die Geschwindigkeitskomponenten gleich Null gesetzt. Die turbulente kinetische Energie ist proportional zum Quadrat der Schubspannungsgeschwindigkeit, welche unter Annahme eines log-linear Windprofils nahe der Oberfläche berechnet wird. Des Weiteren werden jedem Gitterpunkt eine Geländehöhe und eine Landnutzungsklasse zugewiesen.

Die verschiedenen Landnutzungstypen werden auf Basis von langjährigen Erfahrungswerten und der Geländekenntnis durch eine Hindernishöhe, einen Durchlässigkeitsbeiwert und eine Rauigkeitslänge gekennzeichnet. Die Genauigkeit dieser Eingangsdaten orientiert sich dabei am Rechengitter. Gerade die Effekte größerer, meist geschlossener Hindernisse, wie z.B. von Gebäudekomplexen oder Waldbeständen auf die Verteilung der meteorologischen Variablen, müssen auf eine realistische Art und Weise in der Windfeldsimulation Berücksichtigung finden. Die Einführung einer erhöhten Bodenrauigkeit liefert in der Regel keine zufriedenstellenden Ergebnisse. Erst bei der Berücksichtigung von z.B. Baumhöhen und Bestandsdichten sowie von Gebäudehöhen und Bebauungsdichten gelingt es dem dreidimensionalen nichthydrostatischen Mesoskalenmodell FITNAH-3D, die typischen starken Verzögerungen der mittleren Strömung sowie die deutliche Verstärkung der Umgebungsturbulenz im Einflussbereich von Wäldern und Siedlungen zu berechnen. Die Landnutzungsstrukturen werden dabei standardmäßig in die folgenden Klassen untergliedert: Wald, Gehölz, Siedlung, Gewässer und Freifläche. Die verschiedenen Nutzungsklassen werden im Strömungsmodell durch mehrere Variablen (Rauigkeitslänge, Bestandshöhe, Porosität etc.) parametrisiert. Die Landnutzungsklassen Wald und Gehölz werden durch das in FITNAH-3D implementierte Waldmodell (Groß, 1993) behandelt. Wald wird mit einer mittleren Bestandshöhe berücksichtigt. Verschiedene Waldtypen (Laub-, Nadelwald) können entsprechend ihrer Eigenschaften differenziert modelliert werden. Die Nutzungsklasse Siedlung wird in FITNAH-3D mit einem Porositätsansatz (Groß G., 2014) modelliert. Für unterschiedliche Bebauungstypen (Wohnbebauung, Industriegebiete etc.) können die verwendeten Parameter variiert werden.

Die einzelnen Realisierungen der Modellrechnung werden in den Parametern Anströmrichtung und Windgeschwindigkeit am Modelloberrand (Antrieb) sowie atmosphärische Stabilität variiert. Die entsprechenden Ergebnisse werden anhand ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit, die durch die Referenz-Windstatistik determiniert ist, gewichtet. Informationen zur atmosphärischen Stabilität können aus verschiedenen Quellen wie lokalen Messungen, Wetterprognosemodellen oder Reanalysedaten entnommen werden. Reanalyse bedeutet Nutzung Meteorologische Daten, die aus einer Kombination aus assimilierten Beobachtungsdaten und Modellrechnungen abgeleitet werden und das Wetter der Vergangenheit ohne zeitliche und räumliche Datenlücken wiedergeben

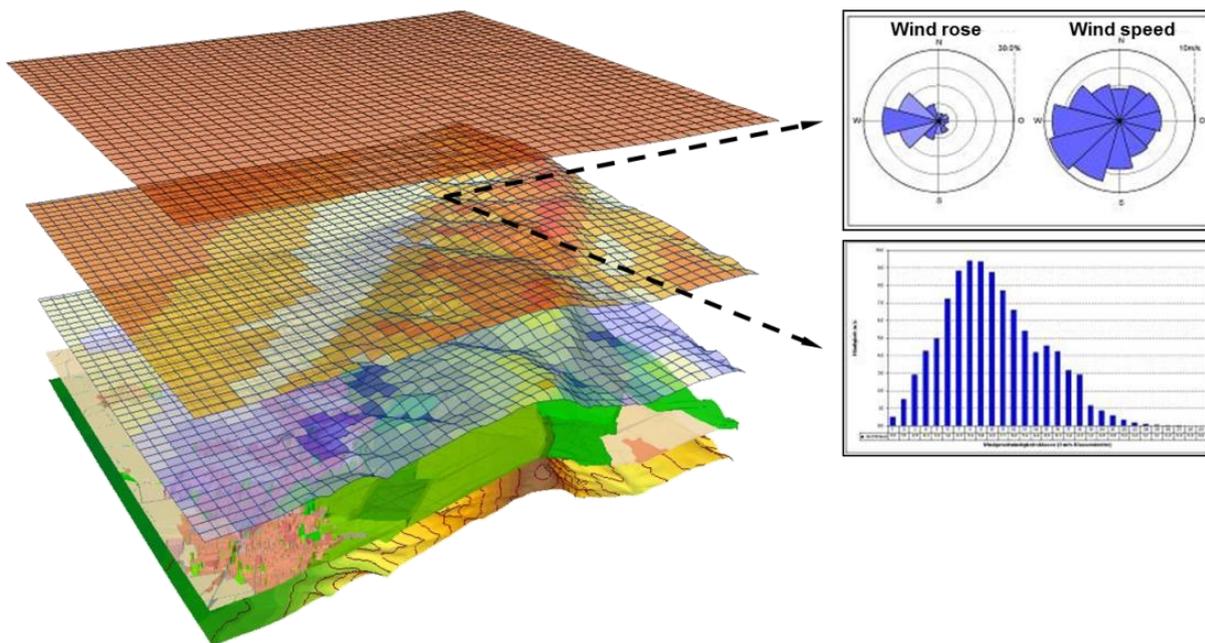


Abbildung 17: Zusammenfügen von Orographie, Landnutzung, Windfeldern und Reanalysedaten (Antrieb) für die FITNAH-Modellierung

Eingangsdaten für die FITNAH-Modellierung des Windfeldes der Metropolregion

Die Landnutzungs- und Reliefstrukturen der Metropolregion für das Rechengitter des FITNAH-Modells wurden aus ATKIS-DLM bzw. ATKIS-DGM25 des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie gewonnen. Die zur Modellsimulation genutzten Höhen- und Nutzungsinformationen sind im Folgenden dargestellt (Abb. 18 und Abb. 19)

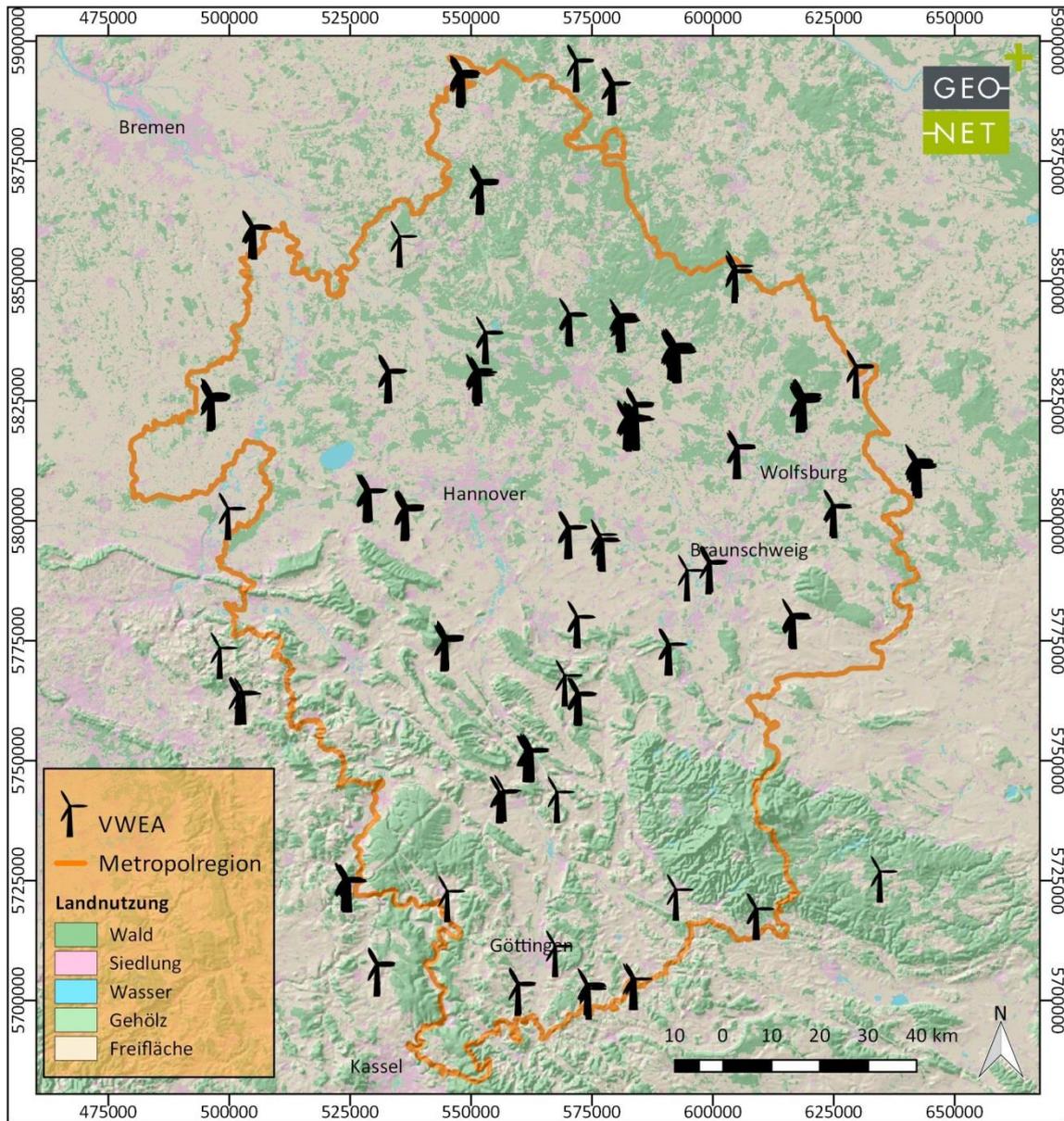


Abbildung 18: Landnutzung (horizontale Rasterauflösung 100 m x 100 m) im Bereich der Metropolregion

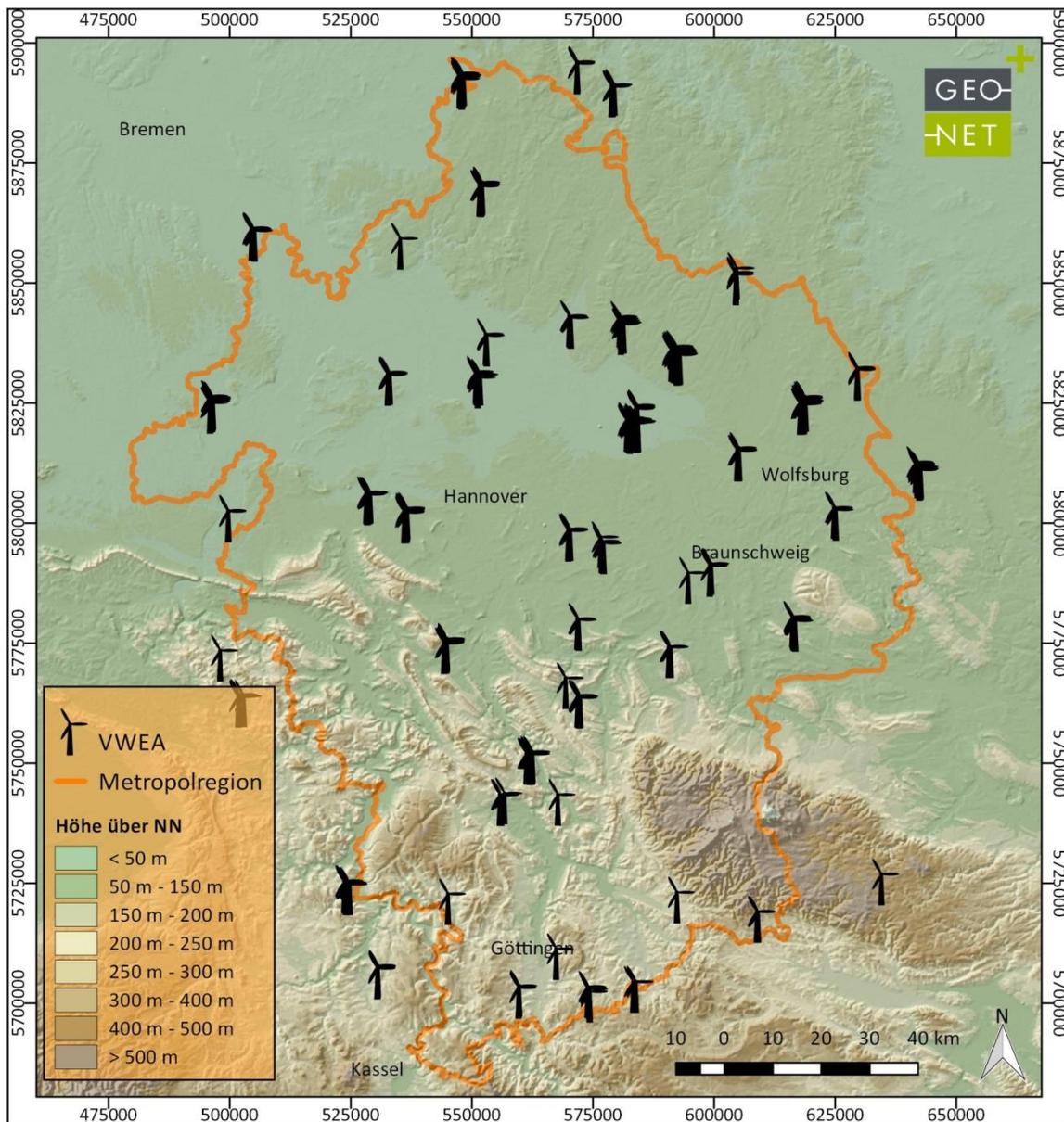


Abbildung 19: Orographische Situation (horizontale Rasterauflösung 100 m x 100 m) im Bereich der Metropolregion

Zur Festlegung der langzeitrepräsentativen meteorologischen Situation, die für den Antrieb des Modells FITNAH benötigt wird, wurden ConWx-Daten verwendet, welche von EMD in Kooperation mit ConWx ApS entwickelt worden sind (EMD, 2017b und CONWX, 2017). Dabei handelt es sich um stündliche Windgeschwindigkeitsdaten aus einem Klimamodell für West- und Zentraleuropa, das durch die ERA-Interim Re-Analysedaten des European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) angetrieben wird. Die Auflösung des Modells beträgt $0,03^\circ \times 0,03^\circ$ Breitengrad/Längengrad, was für Deutschland im Mittel einer Auflösung von etwa $3,3 \text{ km} \times 2,1 \text{ km}$ Süd-Nord/West-Ost entspricht. Die Daten geben die Windverhältnisse am Standort auf mehreren Höhenniveaus (10 m, 25 m, 50 m, 75 m, 100 m, 150 m und 200 m) mit den Parametern Windgeschwindigkeit und -richtung nach einer entsprechenden Korrektur gut wieder. Aus den gemessenen Bodenwindverteilungen wurden mittels geeigneter Algorithmen Höhenwindpunkte bzw. die mittleren Häufigkeitsverteilungen (der Windgeschwindigkeit und der Windrichtung) des Höhenwindes generiert, da dem FITNAH-Modell als Antrieb Winddaten aus der freien Atmosphäre vorgegeben werden müssen.

Die für einen Gitterpunkt repräsentative Häufigkeitsverteilung wurde durch eine entfernungsabhängige Gewichtung der umliegenden Höhenwindpunkte bestimmt. Die Antriebsdaten wurden vorab stichpunktartig hinsichtlich ihrer Windrichtungsverteilung verifiziert. Zu diesem Zweck konnten Daten von bodennahen Wetterstationen, Reanalysedaten, im Umfeld stattgefundenen Windmessungen und Gondelpositionen von WEA geprüft werden. Während der Verifizierung des Modells wurde dieses den vorliegenden Landschaftsräumen entsprechend adaptiert, um die gefilterten und langzeitbezogenen Erträge der ausgewählten Vergleichs-WEA mittels der modellierten Windverhältnisse bestmöglich nachzurechnen. Ziel war insgesamt eine großflächige, stimmige Reproduktion der Langzeiterträge der Vergleichs-WEA, die als repräsentativ und in ihrer Güte als ausreichend für die Fragestellung des räumlichen Windpotenzials eingestuft wurden. Während der Nachberechnung wurden auch die Abschattungsverluste der Vergleichs-WEA untereinander berücksichtigt.

Die Adaption erfolgte dabei durch eine Skalierung der Höhenwindgitterpunkte sowie durch die Ergänzung des gleichmäßigen, feinmaschigen Höhenwindrasters (Abb. 20) durch weitere Höhenwindpunkte an den Standorten der repräsentativen Vergleichs-WEA um auch lokale Effekte, wie beispielsweise den südlichen Wind im Leine Tal, die von den globalen Reanalysen normalerweise nicht aufgelöst werden, realistisch zu simulieren.

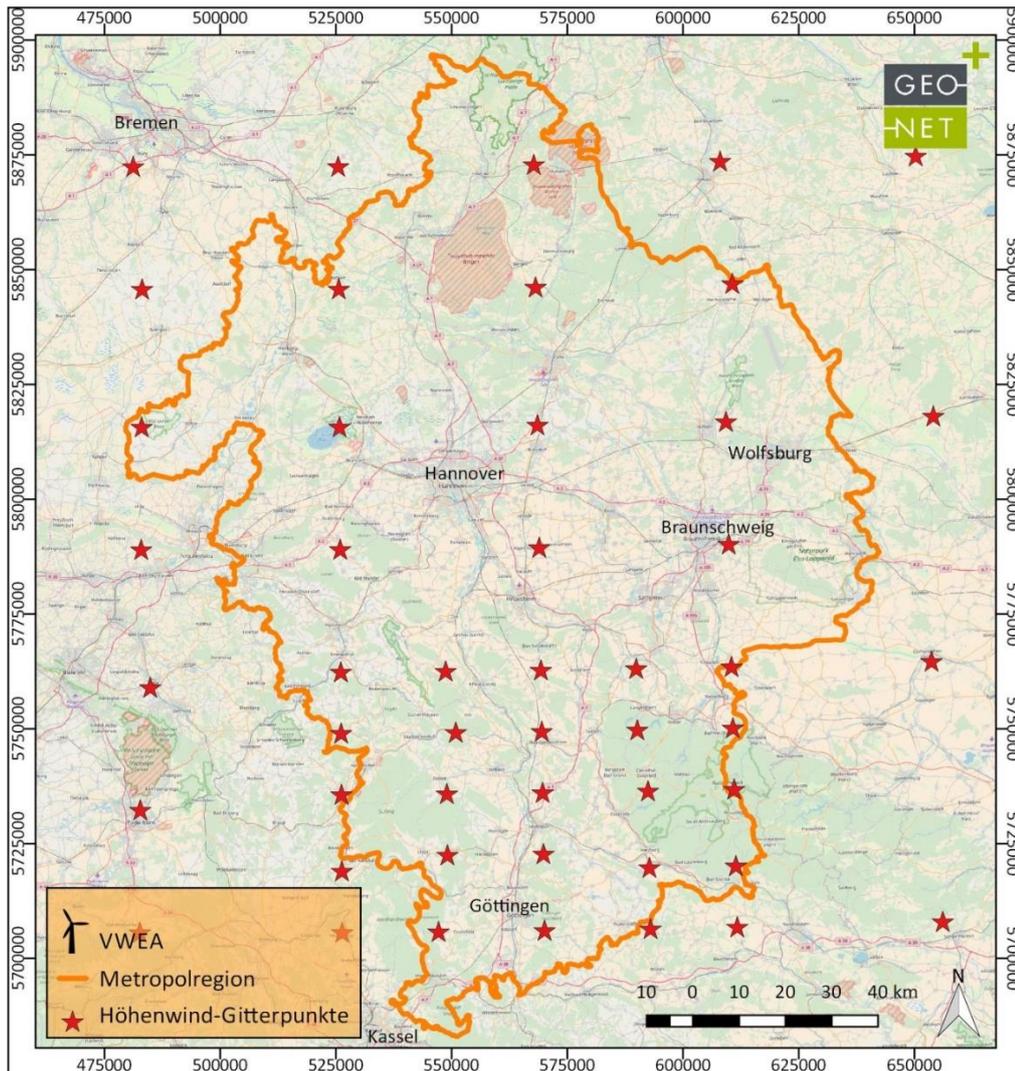


Abbildung 20 Übersicht über die zur Auswertung der Windfeldmodellierung der Metropolregion verwendeten Höhenwind-Gitterpunkte

Die monatlichen Energieerträge der Vergleichs-WEA wurden zur Bewertung und Verifizierung der Simulationsergebnisse bereinigt verwendet. Hierfür wurden die vorliegenden monatlichen Ertragsangaben mit den angegebenen technischen Verfügbarkeiten korrigiert und auf Basis von Korrelationsuntersuchungen hinsichtlich ihrer Plausibilität überprüft. Unplausible Daten (meist Monate mit geringer technischer Verfügbarkeit) wurden nicht für den Langzeitbezug eingesetzt. Der Langzeitbezug von Energieproduktionsdaten wurde nach aktuellem Stand der Technik mit zwei unabhängigen, für den untersuchten Standort repräsentativen Langzeitdaten durchgeführt. Es wurde der Langzeitbezug mit dem regionalen BDB-Index (Version 2011) der Betreiber-Datenbasis (BDB, 2017) und einem aus dem nächstgelegenen Gitterpunkt der MERRA-2-Reanalyse (MOLOD et.al, 2015 und EMD, 2017c) mithilfe des unter Verwendung der Leistungskennlinie einer modernen WEA ermittelten Ertragsindex vorgenommen.

Bei der Betreiber-Datenbasis handelt es sich um einen statistischen, monatlichen Mittelwert, der das Verhältnis zwischen gemeldeten Monatsenergieerträgen von WEA zu langjährigen, mittleren Erträgen beschreibt. Deutschland ist dazu in 25 unterschiedliche Regionen eingeteilt, die über möglichst einheitliche Windverhältnisse verfügen und von möglichst vielen WEA repräsentiert werden. In einem Verfahren wird jeden Monat bestimmt, welche WEA in die Berechnung des Indexwertes einfließen, sodass die Anzahl ge-

meldeter Monaterträge von Monat zu Monat variiert. Die aktuell gültige Version 2011 bezieht sich auf einen Bezugszeitraum von 1996 - 2009. Im Vergleich zum Bezugszeitraum der letzten 20 Jahre (1997-2016) ergäben sich für die später ermittelten Windfelder um ca. 1-2 % reduzierte Windgeschwindigkeiten.

MERRA-2 (Modern Era-Retrospective analysis for Research and Applications) (MOLOD et.al, 2015 und EMD, 2017c) ist das Nachfolgeprodukt der nicht mehr fortgeführten Reanalyse MERRA (Rienecker et.al, 2011) vom NASA GSFC Global Modeling and Assimilation Office (GMAO). Es handelt sich dabei um eine globale Reanalyse, die auf einem Gitter mit $0,5^\circ \times 0,625^\circ$ Breitengrad/Längengrad vorliegt und damit eine Auflösung von etwa 50 km aufweist. MERRA-2 basiert auf einer breiten Beobachtungsbasis und berücksichtigt Satellitenmessungen in großem Umfang. Auf zwei Höhenniveaus (10 m und 50 m) liegen die Parameter Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Temperatur und Luftdichte vor. Durch das im Gegensatz zu operationellen Wettermodellen unveränderliche Modellsystem und die qualitätsgeprüfte, breite Beobachtungsdatenbasis ist die MERRA-2-Windgeschwindigkeitszeitreihe über den gesamten Zeitraum weitgehend konsistent und homogen. Die stündliche MERRA-2 Windgeschwindigkeitszeitreihe wird mit einer anlagenspezifischen Leistungskennlinie in einen Ertragsindex umgerechnet und auf einen festen Referenzzeitraum (1996 - 2009) bezogen.

Für die Prüfung der Konsistenz oder Inhomogenität der Langzeitdaten wurden die Indices miteinander verglichen und die Abweichungen im Rahmen der Unsicherheitsbetrachtung berücksichtigt. MERRA-2 und BDB-Index wurden jeweils zu 50 % gewichtet.

Windleistungsdichte

Aufbauend auf den modellierten mittleren Häufigkeitsverteilungen der Windgeschwindigkeit wurde zudem das technische Potenzial in Form der spezifischen Windleistungsdichte für eine Luftdichte von $1,225 \text{ kg/m}^3$ berechnet. Bei gleicher mittlerer Windgeschwindigkeit können die dazugehörigen langjährigen Windstärkeverteilungen deutlich voneinander abweichende Energieerträge liefern. Dies kann dazu führen, dass mittlere Windgeschwindigkeiten und Energieerträge nicht zwangsläufig miteinander korrelieren. Folgendes Beispiel soll dies verdeutlichen: Eine mittlere Jahreswindgeschwindigkeit von 6 m/s kann bedeuten, dass der Wind das ganze Jahr konstant mit 6 m/s weht oder aber es tritt ein halbes Jahr eine Windgeschwindigkeit von 12 m/s und ein halbes Jahr Windstille auf. Im zweiten Fall würde eine Windenergieanlage aber viermal mehr Energie produzieren, bei gleicher mittlerer Windgeschwindigkeit. Aufgrund des kubischen Zusammenhangs zwischen Windgeschwindigkeit und Energiegehalt sind abhängig von der Häufigkeit des Auftretens der verschiedenen Geschwindigkeiten bei gleicher mittlerer Windgeschwindigkeit durchaus unterschiedliche Windleistungen möglich, die die Windstärkeverteilung berücksichtigen. Der Windgutachterbeirat des Bundesverbands WindEnergie (BWE) empfiehlt daher, sowohl zur Beurteilung von Standorten im Zuge von Windgutachten als auch bei der Ausweisung von Potenzialflächen neben der mittleren Windgeschwindigkeit grundsätzlich auch die mittlere Windleistungsdichte als Beurteilungsgröße anzugeben und heranzuziehen (BWE-WGB, 2014).

Die Windleistungsdichte E berechnet sich nach:

$$\begin{aligned}
 E &= 0,5\rho A^3 \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right) \\
 &= \int 0,5\rho u^3 f(u) du .
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

In der oberen Formel erfolgt die Berechnung über die Weibull-Parameter A und k mithilfe der Gamma-Funktion Γ . Des Weiteren kann die Windleistungsdichte auch durch eine Integration über die Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit bestimmt werden, wobei $f(u)$ die Häufigkeit des Auftretens der Windgeschwindigkeit u beschreibt.

ERGEBNISSE

In dem mit FITNAH-3D modellierten Windfeld zeichnen sich für die Metropolregion relativ unabhängig von der jeweiligen Höhe \ddot{u} . Grund vier großräumige Bereiche ab, die unterschiedliche Windhöffigkeiten aufweisen und z.T. mit der naturräumlichen Gliederung des Untersuchungsraumes in Beziehung gebracht werden können. Zum einen sind dies die Höhenlagen des Harzes, die nach der Modellierung sehr gute Windverhältnisse zeigen. Das westlich angrenzende Weser- und Leinebergland ist dagegen durch eine überwiegend geringe Windhöffigkeit geprägt, höhere Windgeschwindigkeiten treten nur sehr lokal in exponierten Lagen auf. Die nördlich an Harz und Weser- und Leinebergland angrenzende Niedersächsische Börde ist mit einer guten Windhöffigkeit ausgestattet. Die Weser-Aller-Flachland Region sowie die Region Lüneburger Heide werden nur in den höher gelegenen Bereichen durch eine gute Windhöffigkeit charakterisiert, in den Niederungen ist das Windpotenzial eher als mäßig einzuschätzen.

Liegt die modellierte mittlere Windgeschwindigkeit in 100 m \ddot{u} . G. mit einem Flächenanteil von rund 10 % der Fläche der Metropolregion unter 5,5 m/s, liegen in 160 m bzw. 200 m \ddot{u} . G. nur noch etwa 1 % der Fläche bei Windgeschwindigkeiten kleiner 5,5 m/s. In einer gängigen Nabhöhe von etwa 140 m \ddot{u} . G. weisen so gut wie alle Bereiche der Metropolregion höhere Windgeschwindigkeiten als 5,5 m/s auf (97 %) und sollten somit aus der Sicht des Windpotenzials für eine Windkraftnutzung geeignet sein. Ausnahmen bilden hier nur geringe Flächenanteile der tief eingeschnittenen Täler südwestlich des Harzes im Weser- Leinebergland (Abb. 21).

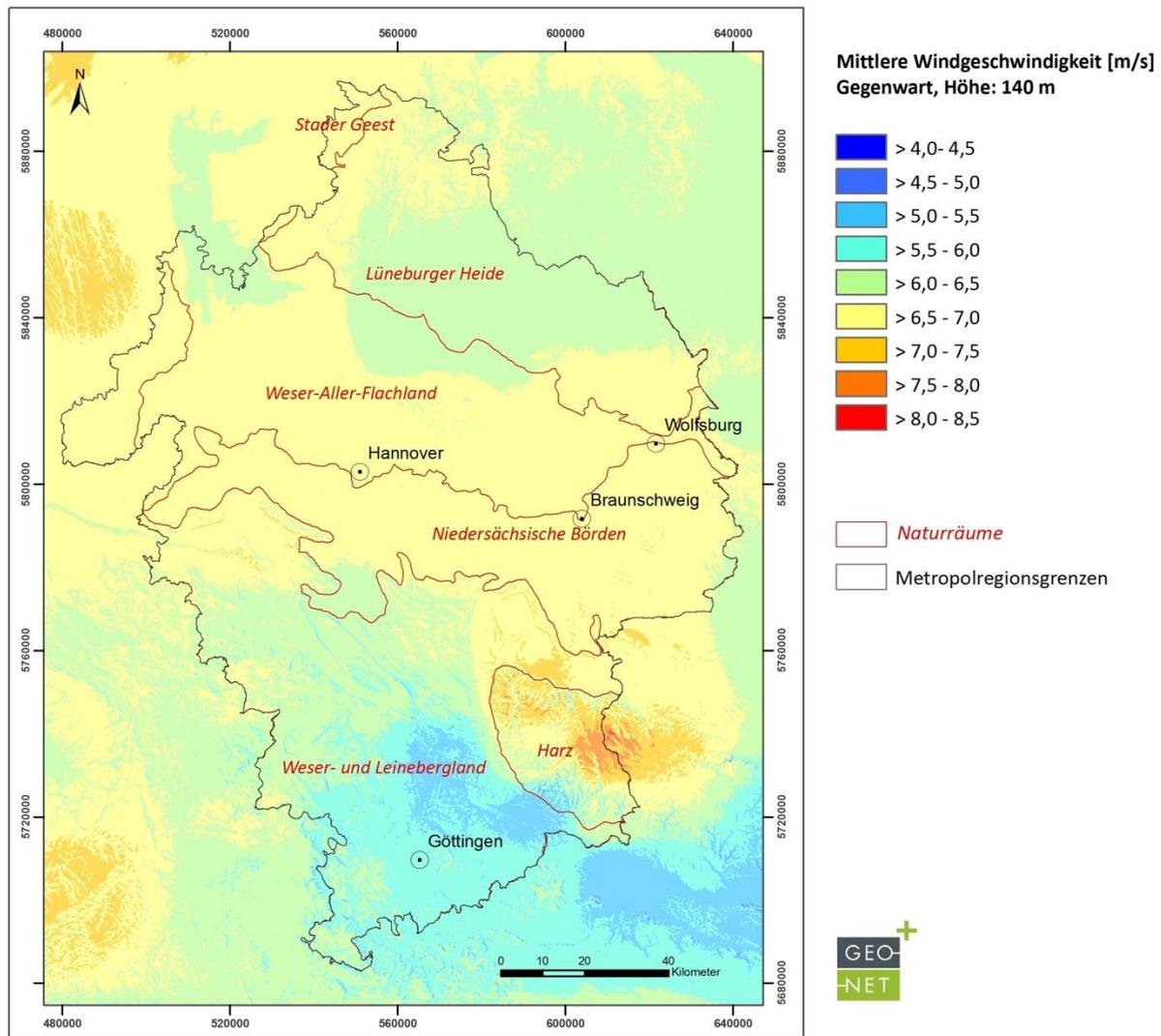


Abbildung 21: Mittlere Windgeschwindigkeit für die Gegenwart und die Höhe 140 m ü. G., Modellierung mit FITNAH-3D, horizontale Auflösung 100 m x 100 m

Aufbauend auf den modellierten mittleren Häufigkeitsverteilungen der Windgeschwindigkeit wurde zudem das technische Potenzial in Form der spezifischen Windleistungsdichte für eine Luftdichte von $1,225 \text{ kg/m}^3$ berechnet. Die räumliche Verteilung der spezifischen ist der Verteilung der Windgeschwindigkeit ähnlich (Abb. 22).

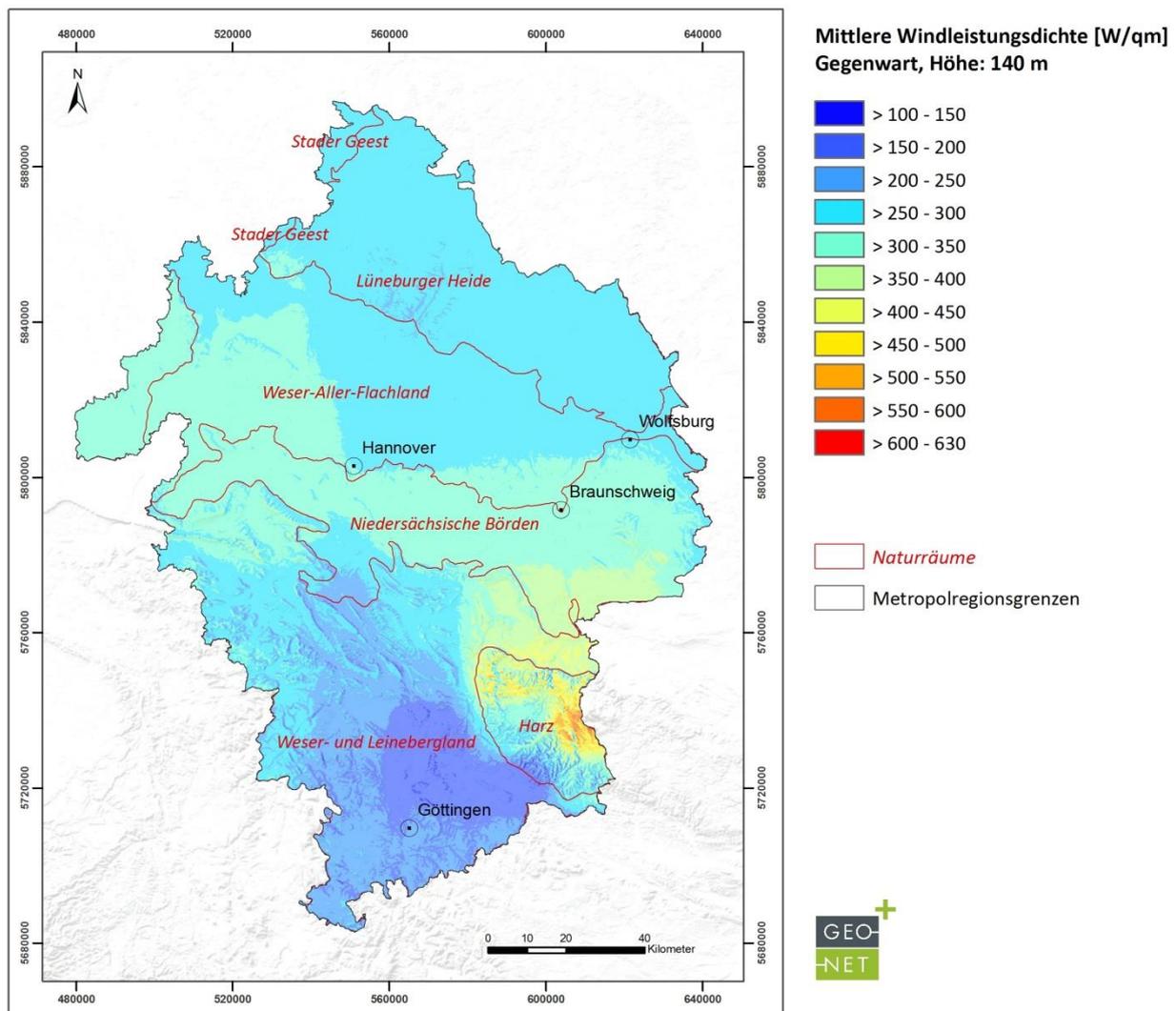


Abbildung 22: Mittlere Windleistungsdichte für die Gegenwart und die Höhe 140 m ü. G., Modellierung mit FITNAH-3D, horizontale Auflösung 100 m x 100 m

REPRODUKTION, AUSSAGEKRAFT UND UNSICHERHEITEN

Zur Verifikation des modellierten Windfeldes wurden die Vergleichs-WEA mit dem Windfeld abgeglichen. Dafür wurden die langzeitkorrigierten Energieertragsdaten dem Ergebnis der Energieertragsberechnungen auf Grundlage der 3D-Windfeldsimulationen mit FITNAH-3D für die Vergleichs-WEA-Standorte gegenübergestellt und in Abbildung 23 dargestellt. Bei den dargestellten Vergleichs-WEA-Standorten mit Über- oder Unterreproduktionen von mehr als 15 % wurden die entsprechenden WEA als nicht bzw. eingeschränkt repräsentativ angesehen und deshalb den umliegenden Referenzdaten mehr vertraut. Obwohl die betroffenen Standorte folgerichtig nicht oder nur geringfügig zur Adaptierung der Modellläufe verwendet wurden erfolgte dennoch eine kartographische Darstellung. Die Energieertragsberechnung wurde mit dem Programm windPRO 3.1 (EMD, 2017a) durchgeführt. Basis dafür waren die mit FITNAH-3D standort- und nabhöhenspezifisch modellierten Windstatistiken und die aus repräsentativen Messdaten der Temperatur an benachbarten Wetterstationen mittels windPRO standort- und nabhöhenspezifisch berechnete Luftdichte. Die Windstatistiken wurden in Form diskreter Häufigkeitsverteilungen in windPRO eingegeben,

sodass keine Anpassung an eine Weibull-Verteilung stattfinden musste. Außerdem waren die modellierten Windstatistiken standort- und nabenhöhenspezifisch, sodass durch windPRO keine horizontale und vertikale Extrapolation vorgenommen wurde. Damit wird die Software windPRO ausschließlich zur Energieertragsberechnung (über Beziehung Windstatistik zur Leistungskurve und Schubbeiwertkurve), zur Berechnung des Parkwirkungsgrades, zur Berechnung der Luftdichte und zur Anpassung der typspezifischen Leistungskurve an die simulierte Luftdichte verwendet. Als Korrekturmethode wird die von EMD entwickelte „New WindPRO correction (improved IEC method)“ genutzt (Svennigsen, 2010).

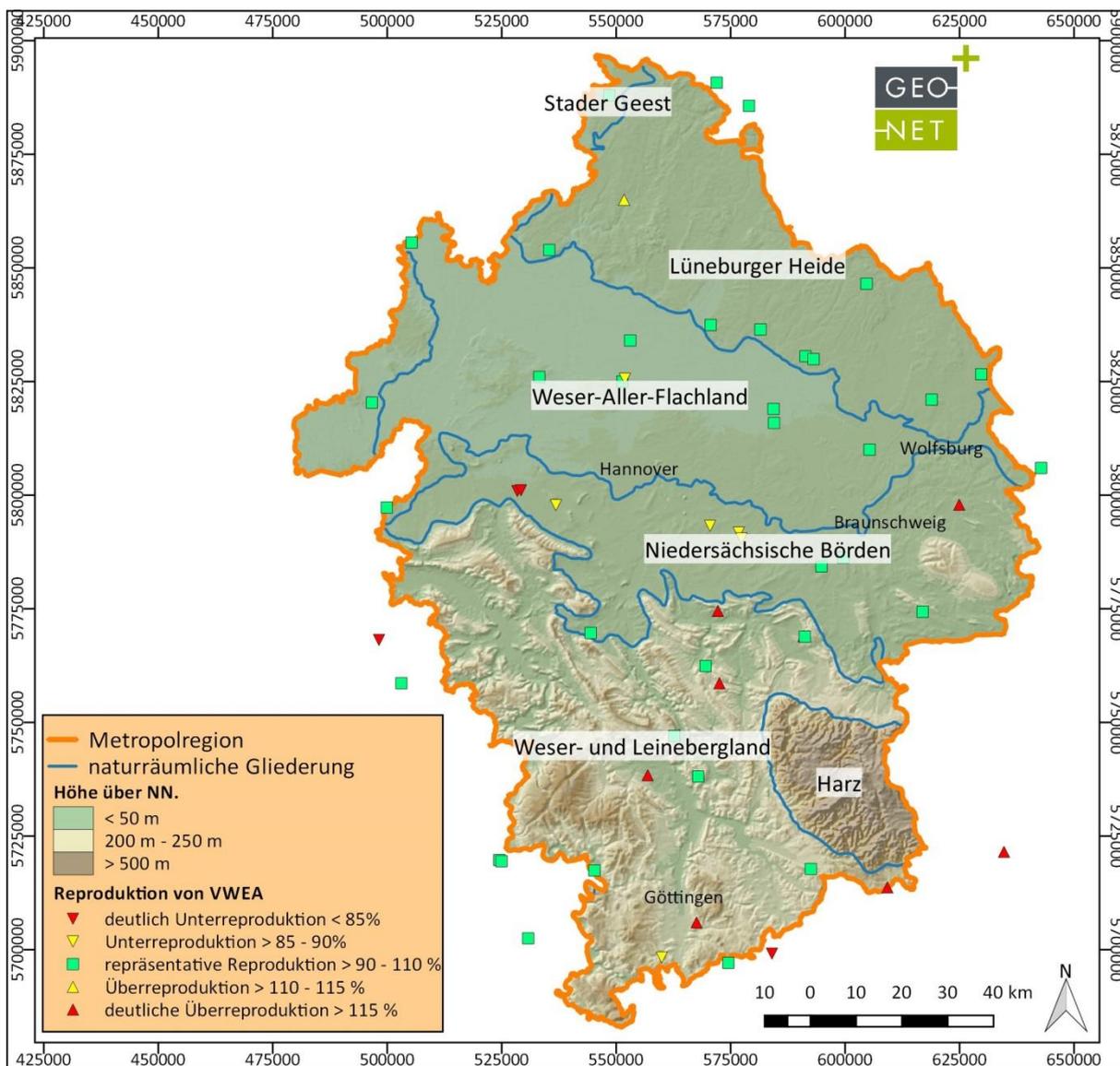


Abbildung 23: Reproduktion der Vergleichs-Windparks durch die Ergebnisse der Modellrechnung

Trotz der hohen Qualität der Eingangsdaten und des verwendeten Modells, welches in den letzten Jahre umfangreiche Optimierungen erfahren hat, der verwendeten Rechenaufösung und der gewissenhaft durchgeführten Validierung des Modells kann der vorliegende, großräumige Anwendungsfall nicht die Erstellung von standortspezifischen Windgutachten von akkreditierten Windgutachterbüros ersetzen, welche als wesentliche Finanzierungsgrundlage von Windenergieprojekten höhere Anforderungen an die Genauigkeit und Abschätzung der maßgeblichen Unsicherheitsquellen stellen. Bei der im Rahmen dieser Untersuchungen durchgeführten Unsicherheitsbetrachtung wurde aber darauf geachtet, möglichst nahe an der

Unsicherheitsbetrachtung der TR 6 zu agieren. Dennoch wurde generell vieles auf der Grundlage von Erfahrungswerten abgeschätzt. Die Umwandlung von Unsicherheitswerten bezogen auf Erträge zu Unsicherheiten bezogen auf mittlere Windverhältnisse erfolgte mit einem abgeschätzten Sensitivitätsfaktor von 2,5.

Die Standardunsicherheit des prognostizierten Windpotenzials bestimmt sich maßgeblich aus den zwei Unsicherheitsbereichen, die in Anlehnung an die TR 6 in Betracht gezogen werden müssen: die Unsicherheit der Winddatenbasis und die Unsicherheit der Modellierung des Windpotenzials.

Die Bewertung der Unsicherheit der Reproduktion der ausgewerteten Referenzanlagen nach den Kriterien: Detaillierungsgrad, Informationsgüte, Verfahren der Ausreißereliminierung bzw. Verfügbarkeitskorrektur, Parkabschattung, Unsicherheit „Eingangsdaten“ WEA wie z.B. die Unsicherheit der verwendeten Leistungskennlinie, die Konsistenz der Langzeitdatenquellen, der Abbildungsalgorithmus, die Länge des Abgleichszeitraums, die Repräsentativität der Langzeitdaten am Standort sowie die Projektion des Bezugszeitraums auf den zukünftigen WEA-Betriebszeitraum.

Für die Ausweisung der Unsicherheiten der Windfeldmodellierung in den einzelnen Berechnungshöhen erfolgte eine Bewertung der Unsicherheiten auf der Ebene der abgeleiteten Windregionen auf Grundlage von Terrain und Landnutzung. Weiterhin gingen die vertikale Extrapolation der Windgeschwindigkeit, die Anzahl der in dem jeweiligen Raum vorhandenen Vergleichs-WEA, deren mittlere Nabenhöhe und die Güte bzw. die Streuung der Reproduktion der Langzeiterträge der Vergleichs-WEA in die Betrachtung der Gesamtunsicherheit ein.

Dabei wurden die beschriebenen Unsicherheitskomponenten als voneinander unabhängig betrachtet und es wurde die kombinierte (Gesamt-) Standardunsicherheit berechnet als Wurzel der Summe der Quadrate der Unsicherheitskomponenten:

$$u_{\text{ges}} = \sqrt{u_a^2 + u_b^2 + \dots + u_n^2} \quad (12)$$

Im Vergleich zu einer spezifischen Windparkplanung fehlten vor allem die horizontale Extrapolation von den gewählten Referenzanlagen in Kombination mit der durchgeführten Komplexitätsprüfung, die Gewichtung der Referenzstandorte und die detaillierte Überprüfung, inwieweit eine Repräsentativität überhaupt gegeben ist. Diese Repräsentativität wurde neben den Anströmbedingungen vor allem durch die Forderung nach einer minimalen Nabenhöhe der Referenzanlage von 2/3 der geplanten Nabenhöhe, Höhenunterschiede von maximal 50 m zum Vergleichsstandort sowie einem Abstand von 10 km bei nicht-komplexen Standorten und 2 km bei komplexen Standorten bestimmt.

Allgemein weisen die Regionen mit der geringsten Dichte an Vergleichs-WEA die höchsten Unsicherheiten auf (Harz, Weser- und Leinebergland). Daneben wird die Unsicherheit stark durch die Orographie beeinflusst, so dass eine Unsicherheitszunahme vom Weser-Aller-Flachland, Lüneburger Heide, Niedersächsische Börde zum Weser- und Leinebergland und Harz vorhanden ist. Des Weiteren steigt die Unsicherheit der Berechnungsergebnisse mit der dargestellten Höhe über Grund, da die verwendeten Vergleichs-WEA zum größten Teil nur eine Nabenhöhe von bis zu 100 m aufweisen.

Die TR 6 Rev.9 erfordert sowohl für geplante Windenergieprojekte als auch für alle Vergleichsstandorte Komplexitätsprüfungen gemäß IEC 61400-1 (IEC, 2010). Je nach Einstufung der geplanten WEA-Standorte

sowie der Vergleichsstandorte in Komplexität / Nichtkomplexität sollen diese nur bis zu einer bestimmten Entfernung ausgehend vom jeweiligen Standort als repräsentativ angenommen werden.

Zur Bestimmung der Komplexität eines Standortes müssen die Neigung des Terrains und die Abweichungen der Topographie des Geländes von einer angenäherten Ebene berechnet werden. Die notwendigen Ebenen laufen durch den Fußpunkt des zu betrachtenden WEA-Standortes und nähern innerhalb von bestimmten Abständen für Windrichtungssektoren das Gelände an. Der genannte Grenzwert für die Geländeabweichung darf nur auf einer Fläche von $5 \times \text{NH}^2$ überschritten werden (NH = Nabenhöhe). In Summe ist ein Standort dann komplex, wenn mehr als 15 % der Windenergie aus Sektoren kommt, die die Kriterien in der Tabelle 6 nicht erfüllen. Als nicht komplex wird ein Standort dann betrachtet, wenn weniger als 5 % der Windenergie aus Sektoren kommt, die die Kriterien in der Tabelle 6 nicht erfüllen. Dazwischen liegt ein Übergangsbereich. Die Komplexitätsprüfung wird mit einem hausinternen Verfahren durchgeführt und ist in Abbildung 24 exemplarische dargestellt. Insgesamt sollten die Bereiche, die als komplex eingestuft werden, bei einer Bewertung besondere Beachtung erfahren.

Tabelle 6: Darstellung der Geländekomplexität nach IEC 61400-1 für die Metropolregion

Abstand von WEA	Sektoramplitude	Größte Steigung der angenäherten Ebene	Größte Geländeabweichung
< 5 NH	1 Sektor a 360°	< 10°	< 0,3 NH
< 10 NH	12 Sektoren a 30°	< 10°	< 0,6 NH
< 20 NH	12 Sektoren a 30°	< 10°	< 1,2 NH

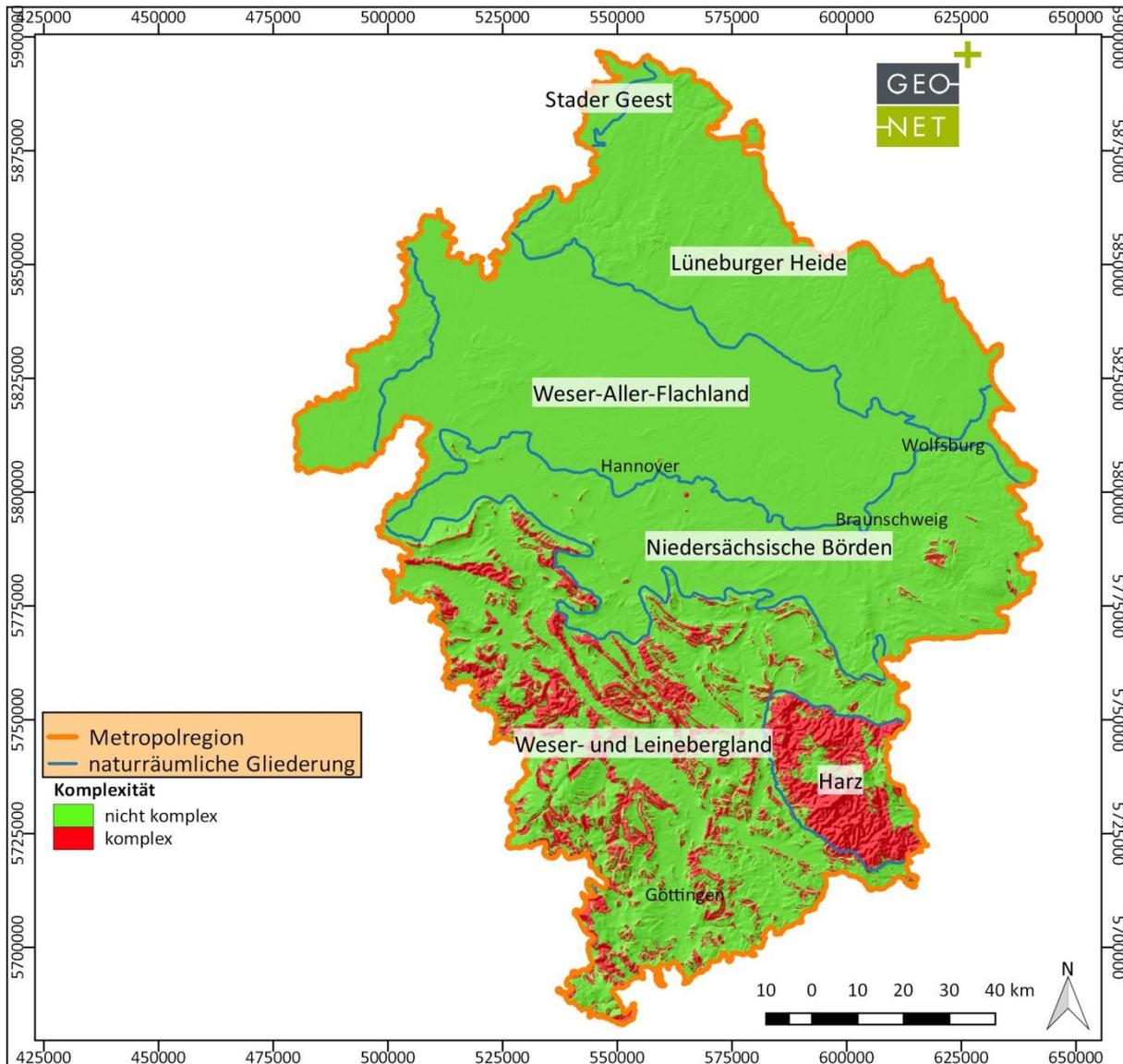


Abbildung 24: Darstellung der Geländekomplexität nach IEC 61400-1 für die Metropolregion

7.2 WINDENERGIEPOTENZIAL 2050

METHODE

Für die Betrachtung des Zukunftszustandes des Windenergiepotentials in der Metropolregion waren zwei Arbeitsschritte notwendig. In einem ersten Schritt wurde die Änderung des Höhenwindes betrachtet um eine statistische Verteilung des Auftretens verschiedener Windrichtungen und -geschwindigkeiten im Jahr 2050 zu erhalten. In einem weiteren Schritt wurden die zuvor bestimmten Häufigkeitsverteilungen verwendet um die Ergebnisse des Modells FITNAH-3D auszuwerten.

Für die Bestimmung der Änderung des Höhenwindes wurden die modellierten täglichen Windgeschwindigkeiten in Höhe des 850 hPa Druckniveaus (ca. 1500 m) genutzt. Die Daten stammen aus Regionalmodellen, die durch Globalmodelldaten angetrieben wurden. Die Modelldaten mit einer räumlichen Auflösung von 0.11° (ca. 12,5 km) wurden durch die europäische Abteilung des Projektes COordinated Regional climate Downscaling EXperiment (EURO-CORDEX) unter verschiedenen Klimaszenarien erzeugt. Die europäische Abteilung von EURO-CORDEX nahm eine dynamische Regionalisierung vor (EURO-CORDEX, 2018). Die Auswirkungen des menschengemachten Klimawandels spiegeln sich in den Wechselwirkungen innerhalb und zwischen den Komponenten des Klimasystems wieder, zu denen die Atmosphäre, die Vegetation, der Boden, das Wasser und Eis gehört. Etwaige menschengemachte Effekte, die sich aus den Ergebnissen globaler Klimamodelle ergeben, werden durch eine Regionalisierung der globalen Klimadaten verfeinert auf kleinere Gebiete projiziert. Klimasystemänderungen können zu einer Veränderung in den großskaligen Zirkulationsmustern führen (Lu J. et al., 2007), die das bodennahe Windklima beeinflussen können (Azorin-Molina C. et al., 2014). Der bodennahe Wind und der Wind in 850 hPa weisen eine hohe Konnektivität auf (Vautard R. et al., 2010), wobei das Windklima bei letzterem nur von Änderungen in den großskaligen Zirkulationsformen abhängt. Der bodennahe Wind, aus dem wir die Windenergie gewinnen, befindet sich in der atmosphärischen Grenzschicht. Die atmosphärische Grenzschicht ist nicht reibungsfrei, sodass dort Luftbewegungen gebremst und dadurch Impuls an die Erdoberfläche abgeben wird. Da das 850 hPa-Niveau oberhalb dieser von der Erdoberfläche beeinflussten Schicht liegt, kann dort die zukünftige Art der Unterlage ignoriert und trotzdem Aussagen über den zukünftigen Zustand des bodennahen Windes unter verschiedenen Klimaszenarien getätigt werden.

Bei den verwendeten Klimaszenarien handelt es sich um das rcp2.6-, rcp4.5- und rcp8.5-Szenario, welche jeweils die treibhausgasbedingte Zunahme des Strahlungsantriebs um $2,6 \text{ W/m}^2$, $4,5 \text{ W/m}^2$ und $8,5 \text{ W/m}^2$ im Jahr 2100 in Relation zu vorindustriellen Verhältnissen beschreiben (DWD, 2018). Die antreibenden Globalmodelldaten wurden unter diesen RCP-Szenarien erzeugt. Insgesamt lagen 31 Regionalisierungen als Modellensemble vor, wobei 5 Modellkombinationen dem rcp2.6-Szenario und jeweils 13 Modellkombinationen dem rcp4.5-Szenario und rcp8.5-Szenario zuzuordnen sind. Die verwendeten Modellkombinationen zur Beschreibung des Windenergiepotenzials im Jahr 2050 werden in Tabelle 7 vorgestellt.

Tabelle 7 Modellkombinationen aus globalen und regionalen Klimamodellen, mit denen tägliche 850 hPa-Windgeschwindigkeiten für verschiedene RCP-Szenarien (rcp2.6, rcp4.5, rcp8.5) berechnet wurden. Die Institute bzw. wissenschaftlichen Gemeinschaften, die die jeweiligen Klimamodelle zur Verfügung stellen, sind links von diesen aufgeführt.

Institut (GCM)	Antreibendes globales Klimamodell	Institut (RCM)	Regionales Klimamodell
CNRM	CNRM-CM5 (r1i1p1)	CLMCOM	CCLM
CNRM	CNRM-CM5 (r1i1p1)	SMHI	RCA4
ICHEC	EC-EARTH (r12i1p1)	CLMCOM	CCLM
ICHEC	EC-EARTH (r12i1p1)	SMHI	RCA4
ICHEC	EC-EARTH (r1i1p1)	KNMI	RACMO22E
MPI-M	MPI-ESM-LR (r1i1p1)	CLMCOM	CCLM
MPI-M	MPI-ESM-LR (r1i1p1)	MPI-CSC	REMO2009
MPI-M	MPI-ESM-LR (r1i1p1)	SMHI	RCA4
MPI-M	MPI-ESM-LR (r2i1p1)	MPI-CSC	REMO2009
IPSL	IPSL-CM5A-MR (r1i1p1)	SMHI	RCA4
MOHC	HadGEM2-ES (r1i1p1)	CLMCOM	CCLM
MOHC	HadGEM2-ES (r1i1p1)	KNMI	RACMO22E
MOHC	HadGEM2-ES (r1i1p1)	SMHI	RCA4

Für jede Modellkombination liegt ein historischer Referenzlauf für den Zeitraum von 1971 bis 2000 vor. Zur Beschreibung des Windpotenzials für das Jahr 2050 wurde der Zeitraum von 2041 bis 2070 genutzt. Für jede Modellkombination bzw. Modellkette, d.h. sowohl für die Zukunftsperiode als auch für die Referenzperiode, wurden 30jährige Mittel gebildet. Aus diesen 30jährigen Mitteln wurden die prozentualen Änderungen zwischen der Zukunftsperiode, für die jeweilige selektierte Modellkombination unter einem ausgewählten RCP-Szenario, und dem dazugehörigen historischen Referenzlauf bestimmt.

Die Auswertung der prozentualen Änderungen wurde sowohl für die vier naturräumlichen Teilregionen als auch für die gesamte Metropolregion durchgeführt. Um für jede Kombination aus Modellkette und RCP-Szenario eine prozentuale Änderung für die betrachtete Region zu erhalten, wurde über alle Modelldatenpunkte in der jeweiligen Region gemittelt. Der in Abbildung 25 dargestellten Boxplots zeigen die prozentualen Änderungen zwischen 30-jährigen Mitteln berechnet aus den täglichen Regionalmitteln für die gesamte Metropolregion. Die prozentualen Änderungen für die einzelnen Teilregionen zeigen nur geringfügige Abweichungen zur dargestellten Verteilung.

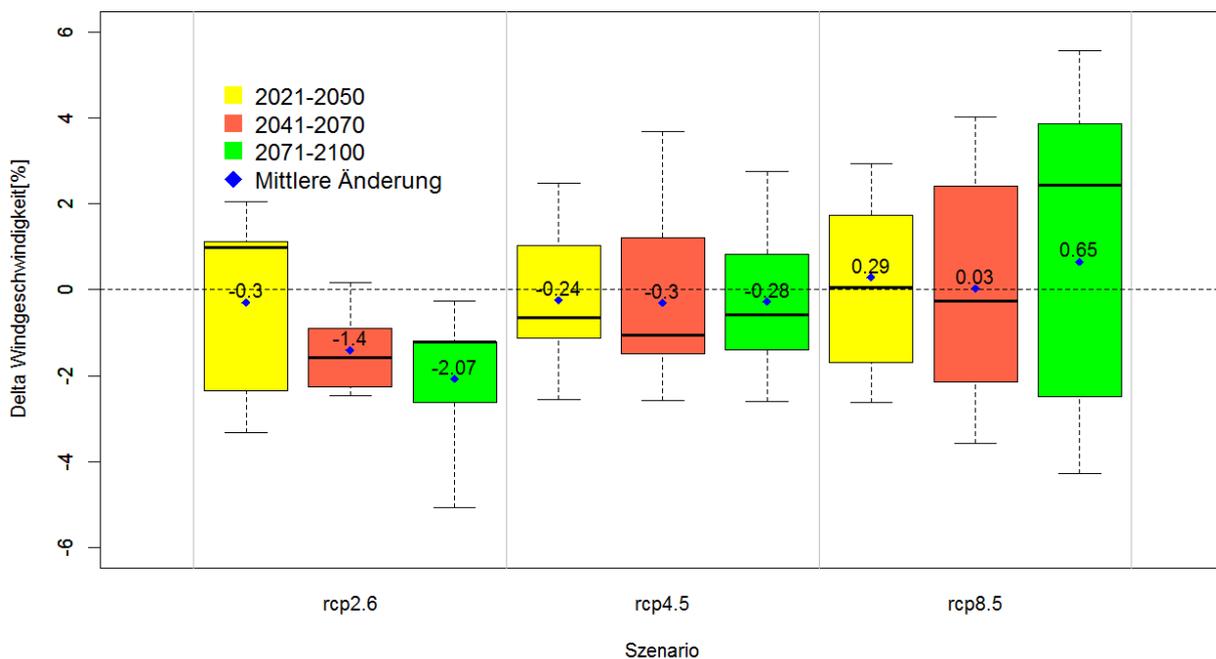


Abbildung 25: Prozentuale Änderungen zwischen Zukunftsperioden und historischer Referenzperiode (1971-2000) bestimmt anhand 30jähriger Regionalmittel aus Tagesdaten für die Windgeschwindigkeit in 850 hPa unter verschiedenen RCP-Szenarien (rcp2.6, rcp4.5, rcp8.5) für den Raum der Metropolregion. Die Whisker zeigen die maximalen und minimalen prozentualen Änderungen. Die Datengrundlage (insg. 31 Modellläufe) wird durch die Modellkombinationen aus Tab. 7 zur Verfügung gestellt.

Abbildung 25 weist darauf hin, dass sich im Mittel für den Zeitraum zwischen 2041 und 2070 nur geringfügige negative Windgeschwindigkeitsänderungen in 850 hPa für die Metropolregion ergeben. Die regionale mittlere prozentuale Änderung der 850 hPa-Windgeschwindigkeit aus den 31 prozentualen Änderungen für die Metropolregion beträgt -0,34 % für den Zeitraum 2041 bis 2070. Die einzelnen Teilregionen weisen für den gleichen Zeitraum ebenfalls im Mittel eine negative prozentuale Windgeschwindigkeitsänderung auf: die Niedersächsische Börde -0,3 %, die Lüneburger Heide ~ -0,27 %, das Weser-Aller-Flachland ~ -0,33 % und das Weser- und Leinebergland ~ -0,46 %.

Im Folgenden wurden der Median sowie das 15 %- und das 85 %-Perzentil aller prozentualen Änderungen zwischen der Zukunftsperiode (2041-2070) und der Referenzperiode (1971-2000) genauer betrachtet. Zusätzlich zu den mittleren Änderungen, die für die Metropolregion und deren Teilregionen ermittelt wurden, wurden die Perzentile für jeden Modell-Gitterpunkt, der in der Metropolregion liegt, aus je 31 Modellläufen dargestellt (Abb. 26). Die 15 % und 50 %-Perzentile weisen auf eine zukünftige Zunahme windschwächerer Tage in 850 hPa im Modellensemble hin. Für die gesamte Region weisen mindestens 16 von 31 prozentualen Änderungen negative Änderungen hinsichtlich der Windgeschwindigkeit in 850 hPa bezogen auf den Referenzzeitraum auf (siehe Abb. 26 b). 35 % der Änderungen für die Metropolregion liegen zwischen 0 % und -3 % (vgl. Abb. 26 a und 26 b), weitere 15 % der Änderungen fallen größtenteils unter die -2 %-Marke (siehe Abb. 26 a). Abbildung 26 c weist darauf hin, dass mindestens 15 % der bestimmten 31 Änderungen positive Windgeschwindigkeitsänderungen in 850 hPa für die Region zeigen. Diese positiven Änderungen liegen größtenteils bei mindestens 2 %.

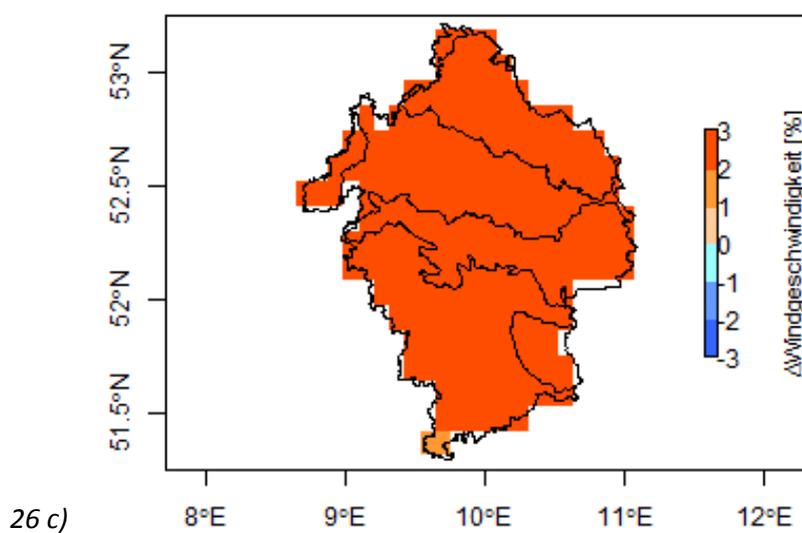
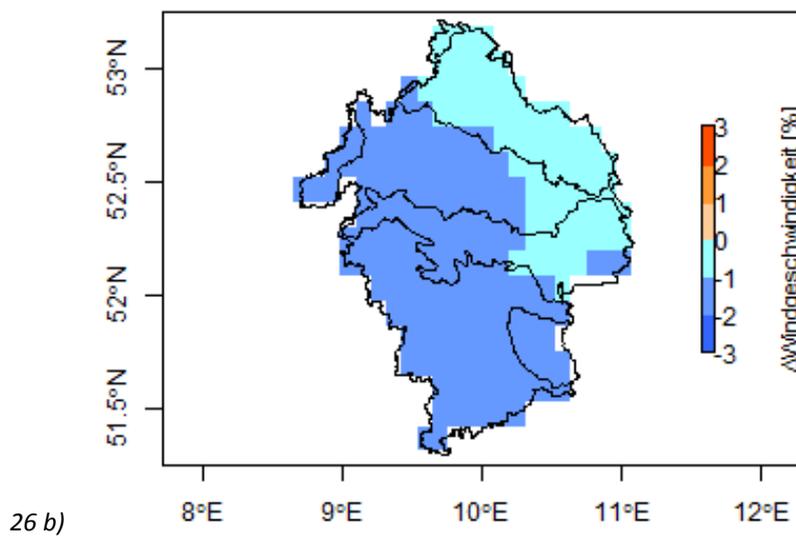
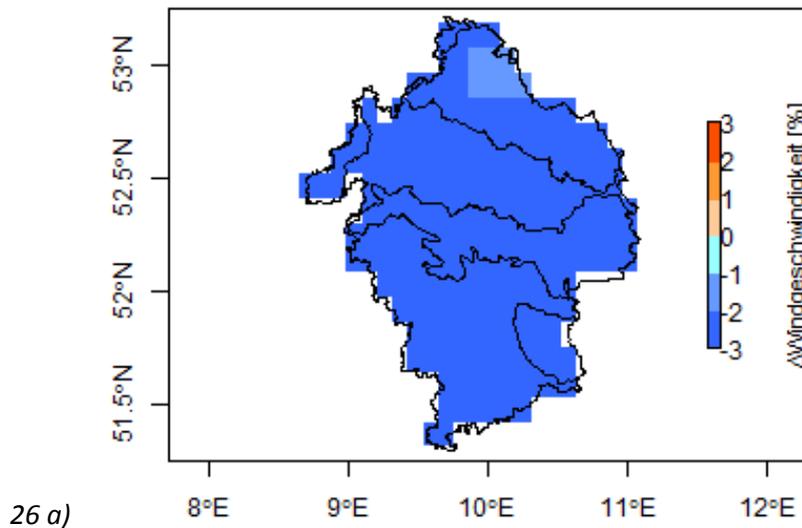


Abbildung 26 Von a bis c: 15 %-, 50 %- und 85 %- Perzentile für jede Gitterbox bzw. Pixel bestimmt aus den gegebenen prozentualen Änderungen für 31 Modellkombinationen (5 Modellkombinationen unter rcp2.6-Szenario, 13 unter rcp4.5-Szenario sowie 13 unter rcp8.5-Szenario). Prozentuale Änderung zwischen 30-jährigem 850 hPa-Windgeschwindigkeitsmittel des Zeitraums 2041-2070 und des Referenzzeitraums 1971-2000

Um aus den 850 hPa-Windgeschwindigkeitsänderungen zwischen dem Zeitraum 2041 bis 2070 und dem Referenzzeitraum das Windenergiepotenzial 2050 zu bestimmen, wurde das nicht-hydrostatische Mesoskalenmodell FITNAH-3D verwendet. Ausgehend von dem abgeglichenen Windenergiepotenzial heute (siehe Kap. 7.1), wurden die in das Modell eingehenden Daten des Höhenwindes (850 hPa) angepasst um mögliche Szenarien des Klimawandels bis zum Jahr 2050 widerzuspiegeln.

Zu diesem Zweck wurde aus den Änderungen des mittleren Windes für jede Gitterbox der EURO-CORDEX-Daten eine Änderung bis 2050 für jeden in die FITNAH-Auswertung eingehenden Höhenwindpunkt bestimmt. Für jeden betrachteten Höhenwindpunkt wurde die Änderung des mittleren Windes an diesem Punkt als Mittelwert aus den Änderungen an den umliegenden EURO-CORDEX Gitterpunkten gebildet. Betrachtet wurden der Median sowie die 15 %- und 85 %-Perzentile der Änderungen des mittleren Windes zwischen heute und dem Zeitraum 2041-2070.

Über die prozentualen Änderungen wurden die für die Bestimmung des gegenwärtigen Windenergiepotenzials verwendeten Häufigkeitsverteilungen des Höhenwindes angepasst, sodass sie die veränderte mittlere Windgeschwindigkeit in 850 hPa widerspiegeln. Mit dem bereits für die Bestimmung des Windenergiepotenzials heute verwendeten Verfahren wurden die angepassten Häufigkeitsverteilungen des Höhenwindes in geringere Höhen übertragen. Es konnten somit für den Zeitraum 2041 bis 2070 und die drei Szenarien (15 %, 50 % und 85 %-Perzentil der Änderung des mittleren Windes) sowohl die mittlere Windgeschwindigkeit als auch die Windleistungsdichte in beliebigen Höhen über Grund bestimmt werden. Für beide Größen ist besonders die Änderung zum heutigen Zustand von Interesse.

Für die Berechnung der Windleistungsdichte wurde sowohl für den heutigen Zustand als auch für das Zukunfts-Szenario eine konstante Luftdichte von $1,225 \text{ kg m}^{-3}$ angenommen, sodass Auswirkungen der Luftdichte in unterschiedlichen Höhenlagen sowie potenzielle Änderungen der Luftdichte durch den Klimawandel nicht berücksichtigt wurden.

Die Windleistungsdichte ist eine sehr fehleranfällige Größe. Große Häufigkeiten oder Ausreißer in den hohen Geschwindigkeitsklassen beeinflussen die Windleistungsdichte stark. Somit können auch kleine Änderungen zwischen heute und 2050 in der Häufigkeit der (evtl. fehlerbehafteten) hohen Geschwindigkeitsklassen große Auswirkungen auf die Differenz der Windleistungsdichte haben. Für die Bestimmung der Differenz der Windleistungsdichte zwischen 2050 und heute wurde daher ein anderes Verfahren zur Berechnung der jeweiligen Windleistungsdichte verwendet als bei der Berechnung im Ist-Zustand (über die Weibull-Parameter). Um weniger sensitiv auf Ausreißer zu reagieren, wurde die Windleistungsdichte aus der diskreten Häufigkeitsverteilung bestimmt, wobei alle Häufigkeiten für Geschwindigkeiten größer 12 m/s der 12 m/s-Geschwindigkeitsklasse zugeordnet wurden. Durch dieses Verfahren verringert sich die Windleistungsdichte. Besonders in windstarken Gebieten mit häufiger auftretenden hohen Geschwindigkeiten ist durch diese Kappung die Windleistungsdichte deutlich geringer als mit dem bisherigen Verfahren.

FEHLERBETRACHTUNG

Die geänderte Berechnung der Windleistungsdichte verringert zwar den Fehler, sie räumt ihn aber nicht vollständig aus, sodass weiterhin Fehler auftreten können, die zu ungewöhnlichen Strukturen führen und vor allem in der Differenz zwischen 2050 und heute sichtbar werden. Diese Fehler sind zum einen zurückzu-

führen auf die bereits erwähnte Fehleranfälligkeit der Windleistungsdichte. Zu stark besetzte hohe Geschwindigkeitsklassen haben zwar weniger Einfluss, wenn ihre Häufigkeit der 12 m/s-Klasse zugeordnet wird, ein großer Einfluss auf die Windleistungsdichte ist aber weiterhin vorhanden. Zum anderen führen die Interpolation zwischen den Höhenwindpunkten und die Betrachtung in 200 m Höhe zu Unsicherheiten in der Häufigkeitsverteilung. Dies hat neben der Windleistungsdichte auch Auswirkungen auf die Weibull-Parameter und die mittlere Geschwindigkeit. Besonders im Norden der Metropolregion ist das Gitter der skalierten Höhenwindpunkte sehr grob und wurde nur im komplexeren Süden verdichtet. Für den Abgleich des gegenwärtigen Zustandes wurden nur deutlich niedrigere Höhen als 200 m betrachtet. Durch die Extrapolation dieses Abgleichs bis in die betrachtete Höhe könnte es zu verschobenen Häufigkeitsverteilungen gekommen sein.

ERGEBNISSE

Als Ergebnisse werden beispielhaft die Änderungen der Windgeschwindigkeit und der Windleistungsdichte in einer Höhe von 200 m über Grund für eines der berechneten Szenarien dargestellt. Eine Höhe von 200 m entspricht der erwarteten Nabenhöhe zukünftiger Windenergieanlagen. Zu sehen ist die zwischen dem Zeitraum 2041 bis 2070 und heute zu erwartende mittlere Änderung (50 %-Perzentil).

Bei Annahme der mittleren zu erwartenden Änderung des Windes in 850 hPa (50 %-Perzentil der prozentualen Änderungen zwischen 2041-2070 und der Referenzperiode) ergibt sich in 200 m eine Abnahme der mittleren Windgeschwindigkeit von knapp unter 0,04 bis 0,07 m/s (siehe Abb. 27). Diese Änderungen entsprechen einer Abnahme um etwa 0,5 bis 1 % (siehe Abb. 28), womit die zu erwartenden prozentualen Änderungen etwas geringer ausfallen als in 850 hPa. Im nordöstlichen Bereich der Metropolregion mit der Lüneburger Heide und Teilen des Weser-Aller-Flachlandes und der Niedersächsischen Börden sowie in Teilen des Weser- und Leineberglandes, wo die verhältnismäßig geringsten mittleren Windgeschwindigkeiten auftreten, sind auch die Änderungen bis 2050 am geringsten. Die größten absoluten Änderungen werden für die Region Harz prognostiziert, wo aufgrund der Höhenlage die höchsten Windgeschwindigkeiten anzutreffen sind.

Die prozentualen Abnahmen sind ebenfalls im Nordosten der Metropolregion am geringsten. Werden zusätzlich die 15 % und 85 %-Perzentile der möglichen Änderungen bis 2050 betrachtet, so liegen die Änderungen der mittleren Windgeschwindigkeit bis zum Zeitraum 2041-2070 zwischen -0,15 bis +0,15 m/s (etwa -/+ 2 %).

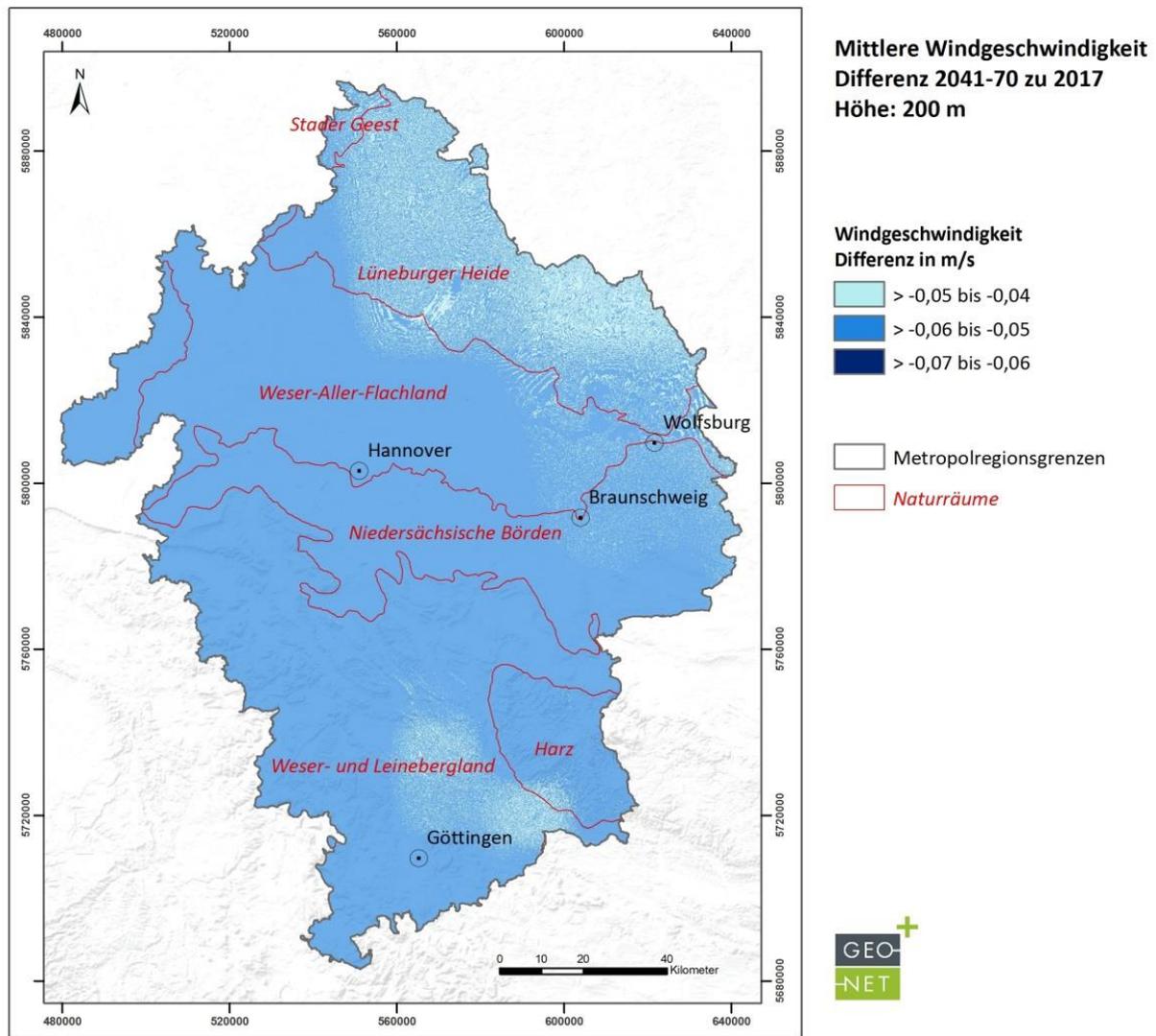


Abbildung 27: Absolute Abnahme der mittleren Windgeschwindigkeit in 200 m ü. G, zwischen den Zeiträumen 2041-70 und 2017

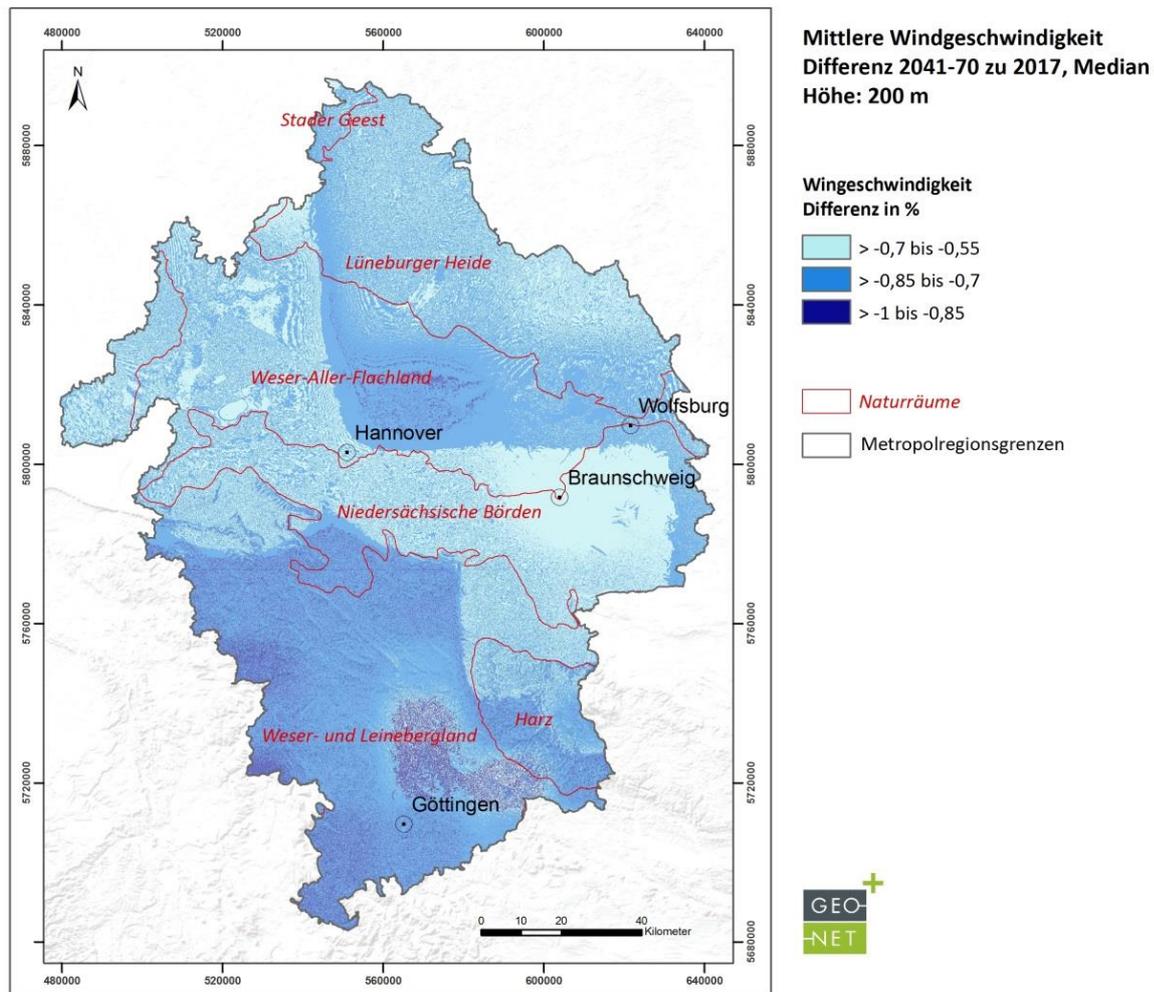


Abbildung 28: Abnahme der mittleren Windgeschwindigkeit in 200 m Höhe ü. G. zwischen den Zeiträumen 2041-70 und 2017

Die Auswirkungen der mittleren zu erwartenden Änderung der 850 hPa-Windgeschwindigkeit auf die Windleistungsdichte in 200 m liegen bei -0,9 bis -2,5 % (siehe Abb. 29), was Differenzen zum heutigen Zustand von 2,5 bis 7 W/m² entspricht (siehe Abb. 30). Die größten Unterschiede zum Zustand heute finden sich im westlichen Weser-Aller-Flachland, also in einem Gebiet mit relativ hohen Windgeschwindigkeiten. Die Änderung der Windleistungsdichte im Bereich des Harzes fällt weniger stark aus, als die Änderung der Windgeschwindigkeit, da hier die hohen Windgeschwindigkeiten bei der Windleistungsdichte-Berechnung gekappt wurden.

Für die 15 % und 85 %-Perzentile der möglichen Änderungen bis zum Zeitraum 2041-2070 liegen die Änderungen bei der Windleistungsdichte zwischen -16 und +18 W/m² (etwa +/- 5,5 %).

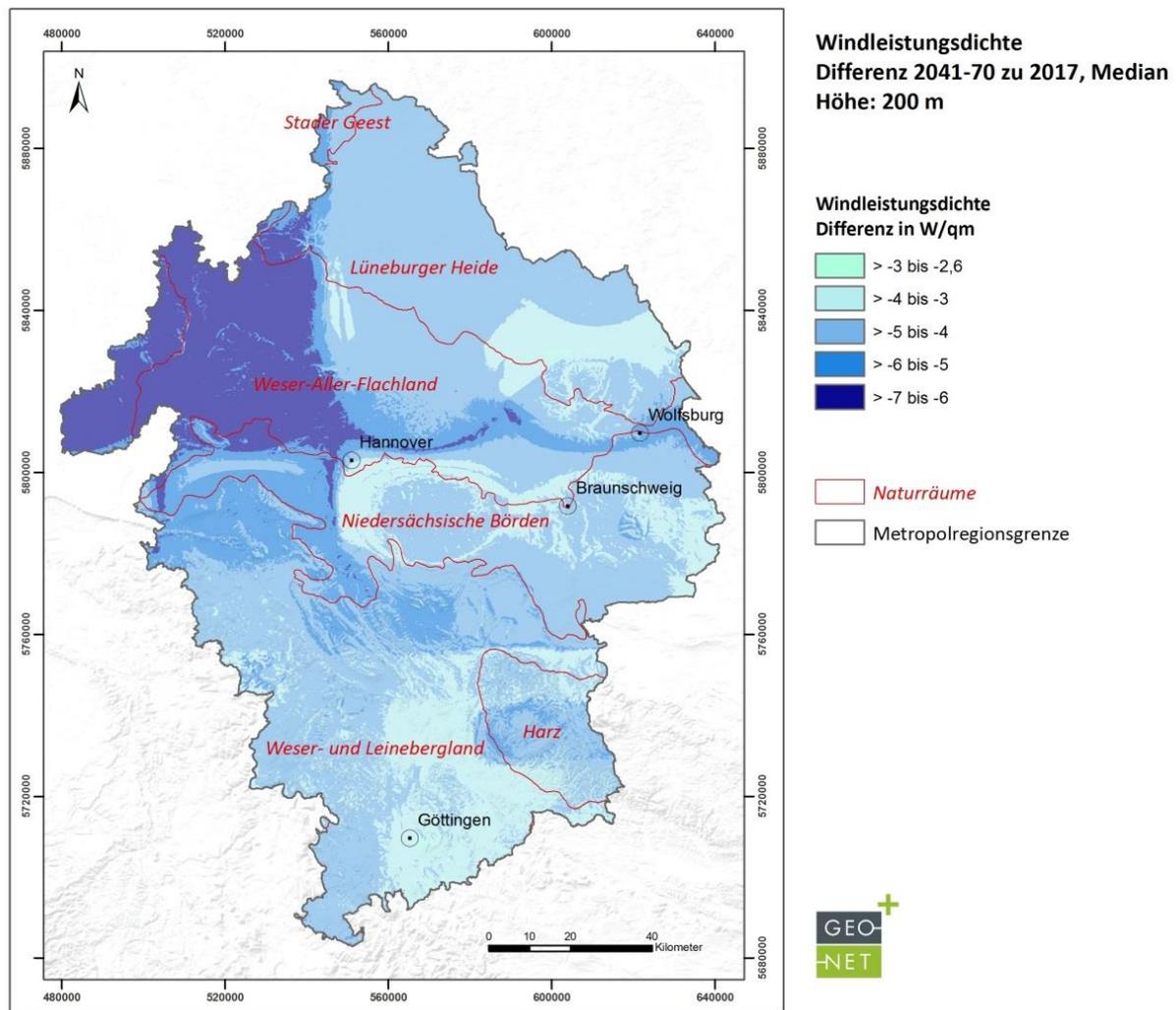


Abbildung 29: Absolute Abnahme der Windleistungsdichte in 200 m ü. G. Höhe zwischen den Zeiträumen 2041-70 und 2017

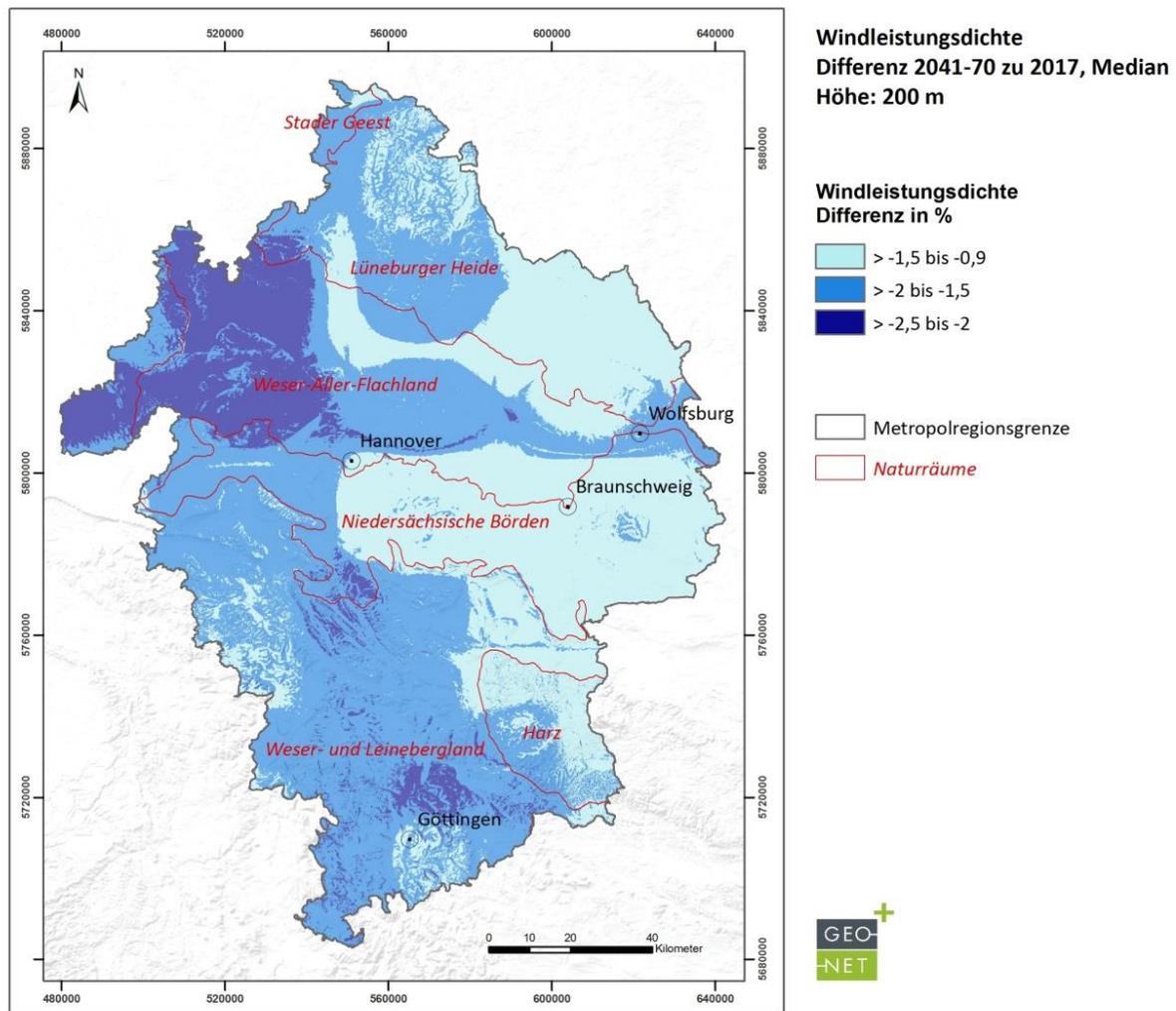


Abbildung 30: Prozentuale Abnahme der Windleistungsdichte in 200 m ü. G. Höhe zwischen den Zeiträumen 2041-70 und 2017

7.3 BEITRAG DER WINDENERGIE ZUM 100 % EE-ZIEL

Ausgehend von den Ergebnissen der FITNAH-Windmodellierung für 2050 wurde geprüft, wieviel Energie aus Wind zukünftig theoretisch produziert werden könnte und inwiefern das theoretische Strom-Angebot den zukünftigen Bedarf decken kann.

METHODE

Im ersten Schritt wurde die Flächenkulisse für die Windenergieproduktion im GIS aufbereitet und anschließend mithilfe theoretischer Anlagen der Energieertrag errechnet.

Die potenziell zur Verfügung stehenden Flächen ergaben sich nach Abzug von Ausschlussflächen, die u.a. aus Naturschutz-, Wasserschutz- und immissionsschutzrechtlichen Gründen für Anlagenstandorte nicht geeignet erschienen. Hauptsächlich wurden dabei die im Gutachten des Runden Tisches (MU, 2016a) und im Niedersächsischen Windenergieerlass (MU, 2016b) genannten Ausschlusskriterien berücksichtigt. Zur Festlegung der Pufferabstände wurden zusätzlich die Annahmen aus ausgewählten Klimaschutzkonzepten zur Rate gezogen. Teilweise wurden eigene Annahmen getroffen (Tab. 8).

Tabelle 8: Ausschlussflächen für die Berechnung des Windpotenzial auf Basis von Literatur-, Gesetzesvorgaben und eigener Annahmen (ATKIS-Daten, LROP, Schutzgebiete), Datenquellen: BKG, 2016; ML, 2017; MU, 2017b; NLWKN, 2017

Übergeordnete Gebietskategorie	Gebietskategorie	Abstand zum Rotorblatt der WEA
Siedlung	Wohngebiete (innerhalb der Ortslage nach ATKIS)	900 m
	Wohngebiete innerhalb Splittersiedlung (Annahme: keine Ortslage nach ATKIS)	600 m
	Campingplätze und Wochenendhäuser	900 m bzw. 600 m bei Splittersiedlung
	Flächen gemischter Nutzung	900 m bzw. 600 m bei Splittersiedlung
	Flächen besonderer funktioneller Prägung	900 m bzw. 600 m bei Splittersiedlung
	Sport- und Freizeitflächen und –Bauwerke	600 m
	Friedhöfe	-
Industrie und Gewerbe	Industrie- und Gewerbegebiete Rohstoffgewinnung (LROP)	600 m
Natur und Landschaft / Umwelt	Naturschutzgebiet	200 m
	Nationalpark	200 m
	Naturdenkmal	200 m
	Natura 2000	200 m
	FFH Gebiete	-
	Vogelschutzgebiete	-
	Moore	-
	Wald	-
	Naturparke	-

Übergeordnete Gebietskategorie	Gebietskategorie	Abstand zum Rotorblatt der WEA
	Landschaftsschutzgebiet	-
	geschützter Landschaftsbestandteil	200 m
	Gewässer 1. Ordnung	50 m
	Gewässer > 50 ha	50 m
	Bundeswasserstraßen	-
	Wasser- und Heilquellenschutzgebiete (Zonen 1 und 2)	-
	Trinkwassergewinnungsgebiete (Zone 1)	-
	Hochwasserschutz (Deiche) (angenommene Breite: 20 m)	-
	Überschwemmungsgebiete (inkl. die vorläufig zu schützenden ÜSG)	50 m
Infrastruktur	Bundesautobahn	40 m
	Bundesstraßen, Bundeskreisstraßen und Landeskreisstraßen	20 m
	Bahnstrecken und Bahnverkehrsflächen	-
	Freileitungen (angenommene Breite: 20 m)	-
	Flugverkehrsanlagen	-
	Truppenübungsplätze	-
	Bergbaubetrieb	-
	Sonstige Bauwerke	-

Nach Abzug der Ausschlussflächen, die 6,5 % der Metropolregionsfläche einnahmen, wurde die verbleibende Fläche nach weiteren Kriterien verringert. Es wurden sog. windschwache Flächen rausgenommen und anschließend nur solche in Betracht gezogen, wo mindestens eine Windkraftanlage (Szenario A) bzw. mindestens drei Anlagen (Szenario B) platziert werden konnten. Zur Berechnung wurde eine theoretisch gängige Anlage für das Jahr 2050 angenommen, deren Leistung 6 MW, die Höhe 200 m und der Rotordurchmesser 200 m betragen. Als windschwach wurden für diesen Anlagentyp Flächen mit Windleistungsdichte < 263 W/m² festgelegt.

Mithilfe eines GIS-gestützten Berechnungsverfahrens der IDU IT+Umwelt GmbH wurden die theoretischen Anlagen auf den zur Verfügung stehenden Flächen, unter Beachtung folgender Abstände der Anlagen zueinander, verortet: 5-facher Rotordurchmesser in Hauptwindrichtung und 3-facher Rotordurchmesser in Nebenwindrichtung. Die gegenwärtig bestehenden Anlagen wurden dabei außer Acht gelassen.

Zur Berechnung wurden die FITNAH-Windfelder der Periode 2041-70 (Median, 15 %- und 85 %- Perzentile) für die Höhe 200 m genommen (vgl. Kap. 7.2). Unter Berücksichtigung der Leistungskennlinie der angenommenen Anlage (festgelegt nach Referenzertrag der TR 5) und der mittleren standort- und nabhöhen-spezifisch berechneten Weibull-Parameter konnten anschließend die Erträge berechnet werden.

Der errechnete Gesamtertrag wurde pauschal um 15 % aufgrund technischer Verluste und zusätzlich um 20 % aufgrund weiterer möglicher Restriktionen verringert.

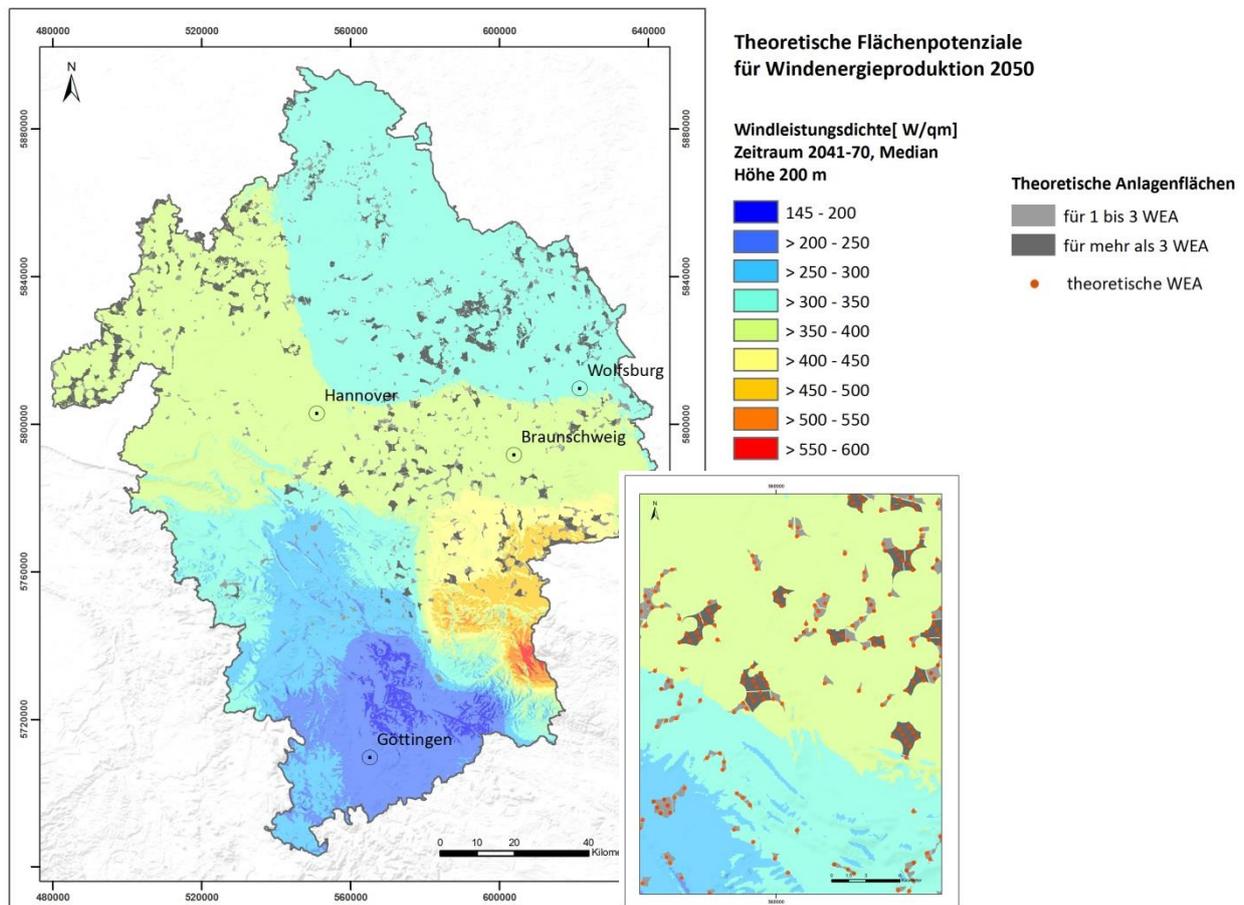


Abbildung 31: Veranschaulichung der WEA-Verteilung auf theoretisch zur Verfügung stehenden Flächen nach Abzug von Ausschlussflächen und windschwachen Flächen zur Berechnung des Windenergiepotenzials 2050

FEHLERBETRACHTUNG

Die Windleistungsdichte als auch die Erträge wurden über die Weibull-Parameter berechnet. Die Berechnung der Windleistungsdichte weicht von dem Berechnungsverfahren ab, das für die Zwecke der Differenzbildung zwischen den Windleistungsdichten 2041-70 und 2017 verwendet wurde (Ausreißer-Kappung in der Häufigkeitsverteilung) (vgl. Kap. 7.2 Methode). Durch das Beibehalten der Ausreißer-Werte in der Häufigkeitsverteilung (die nicht per se falsch sind) ergibt sich hier in manchen Regionen eine etwas höhere Windleistungsdichte, als mit der anderen Methode. Die Flächenunterschiede der Windleistungsdichte $> 263 \text{ W/m}^2$ zwischen Ergebnissen beider Berechnungsmethoden liegen im Median bei 7 % zu Gunsten der bei der Potenzialrechnung angewendeten Methode.

Das Ergebnis ist abhängig von der Reihenfolge der systematischen Belegung der Flächen mit WEA. Der Ertrag könnte unterschiedlich ausfallen je nachdem, ob mit der Verteilung im Westen oder im Osten angefangen wäre. Im Rahmen des Projektes wurden die Anlagen nur in einer Art und Weise verteilt und somit kann ein potenzieller Unterschied nicht beziffert werden.

ERGEBNISSE

Die Ergebnisse des Strompotenzials 2050 für die Metropolregion liegen für beide Flächenszenarien (vgl. Kap. 7.3 Methodik) und jeweils drei Perzentil-Ansätze aus den Modellkombinationen zur Windleistungsdichte (vgl. Kap. 7.2) vor. Es wird deutlich, dass die zur Verfügung angenommene Fläche (und somit auch die WEA-Anzahl) einen viel größeren Einfluss auf den Gesamtertrag hat als die mögliche Ausprägung des Klimawandels (die durch drei Perzentil-Ansätze der Windmodelldaten beschrieben wird) (Tab. 9).

Im Median wurde bei der Belegung aller potenziellen Flächen mit mind. einer WEA ein Stromertrag von rund 70.908 GWh/a berechnet, während bei Belegung von nur größeren zusammenhängenden Flächen (mind. drei WEA) ein um ca. 40 % geringerer Ertrag zu erwarten wäre. Das bedeutet eine Deckung des solidarischen Strombedarfs der Metropolregion, ausgenommen die Großindustrie, von 133 % im Flächenszenario A bzw. 80 % im Flächenszenario B, die allein durch die Windkraft realisierbar wäre. Das Potenzial im Flächenszenario A reicht sogar noch knapp für die Mitversorgung der Großindustrie aus, aber es deckt den Bedarf nur zu etwa 60 % im Flächenszenario B. Beim Vergleich der Erträge aus den beiden Flächenansätzen ist zu beachten, dass eine vollständige Belegung der potenziell zur Verfügung stehenden Flächen recht optimistisch sei und somit als das maximale Potenzial betrachtet werden kann.

Die klimawandelbedingten Unterschiede aus dem Vergleich der Bedarfsdeckung zwischen den Perzentil-Ansätzen belaufen sich auf 3 bis 8 %.

Tabelle 9: Stromerträge aus Windkraft im Jahr 2050 für zwei Flächenszenarien und drei Perzentil-Ansätze der Klimawandelrechnung (Zeitraum 2041-70)

Flächenszenario	Szenario A (Parkgröße ab 1 WEA)			Szenario B (Parkgröße ab 3 WEA)		
	15 %	Median	85 %	15 %	Median	85 %
Gesamtertrag [GWh/a]	69.727	70.908	74.191	41.999	42.502	44.336
Ertrag abzgl. technische Verluste (15%), weiterer Restriktionen (20%) [GWh/a]	45.322	46.090	48.244	27.299	27.626	28.819
Deckung des Bedarfs	131 %	133 %	139 %	79 %	80 %	83 %
Deckung des Bedarfs inkl. GI-Bedarf	94 %	96 %	100 %	57 %	57 %	60 %

8. Regionale Entscheidungs- und Planungshilfe (Leitfaden)

Das Kapitel ist als Leitfaden zur Berücksichtigung des Klimawandels in der Regionalen Energiewende zu verstehen. Er besteht aus der Darstellung der Entscheidungsprozesse, Empfehlungen zur Implementierung des Web-GIS in die Entscheidungsprozesse, der Beschreibung des Web-Gis und Hinweisen zur Übertragbarkeit auf andere Metropolregionen.

8.1 IMPLEMENTIERUNG: ENTSCHEIDUNGSPROZESSE ZUR REGIONALEN ENERGIEWENDE IM KLIMAWANDEL

Grundlage des Kapitels ist die Analyse von Entscheidungsprozessen in der Metropolregion und die Rückkopplung im Rahmen der KlimaTreffe (siehe Kap. 3).

RELEVANTE ENTSCHEIDUNGSPROZESSE UND FORMELLE INSTRUMENTE

Für die Metropolregion werden auf zahlreichen Ebenen Entscheidungen zum Ausbau erneuerbarer Energien getroffen:

- Landesplanung: das Niedersächsische Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz ist für die Raumordnung und Landesplanung zuständig. Als Instrument stellt es das Landes-Raumordnungsprogramm (LROP) Niedersachsen auf und schreibt es regelmäßig fort. Es gibt außerdem eine gemeinsame Arbeitshilfe des Niedersächsischen Landkreistages und des Niedersächsischen Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz zum Thema „Regionalplanung und Windenergie“. Das LROP hat den raumverträglichen Ausbau aller erneuerbaren Energien zum Ziel, setzt konkrete Ausbauziele in Megawatt für die nördlichen Landkreise, verzichtet auf Höhenbegrenzungen von Windenergieanlagen und schränkt die Nutzung von Wald als Standorte für Windenergieanlagen ein. Das LROP gibt den Rahmen für die Festlegungen der Regionalplanung vor (MU, 2017c).
- Regionalplanung: Zuständig sind die Landkreise, die Region Hannover und der Regionalverband Großraum Braunschweig für seine drei kreisfreien Städte und fünf Landkreise. Als Träger der Regionalplanung stellen sie Regionale Raumordnungsprogramme (RROP) auf und treffen Festlegungen unter anderem zum Ausbau von Windenergie. Das RROP übernimmt Festlegungen des LROP oder konkretisiert diese zum Beispiel mit der Ausweisung von Vorrang- und Eignungsgebieten, die bei konkreten Planungen zu berücksichtigen sind.
- Hersteller stellen Anlagen und Anlagenteile her und treffen unter anderem Entscheidungen zur Dimensionierung und Leistung von Anlagen, wozu auch die Widerstandskraft und Standfestigkeit gegen die Auswirkungen des Klimawandels gehört.
- Projektentwickler entscheiden über die Standortwahl und Eigenschaften der Anlagen bei Neubau und Repowering (Anlagentyp und -technik, bei Biogasanlagen auch die Substratauswahl). Hierzu nutzen sie zum Beispiel die Festlegungen in RROP für die Standortermittlung und Windhöflichkeitsanalysen für die Dimensionierung der Anlagen, die Globalstrahlung bei Photovoltaik oder die lokale/regionale Verfügbarkeit von Biomasse, um die Wirtschaftlichkeit der geplanten Anlagen zu berechnen.

- Eigentümer (ggf. identisch mit Projektentwickler) und Betreiber von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energie sind in der Regel Firmen, Einzeleigentümer oder Genossenschaften, die über Repowering, technische Umrüstung und bei Biogasanlagen über verwendete Substrate entscheiden.
- Kommunen sind Genehmigungsbehörden (siehe unten) und Träger informeller Instrumente wie Klimaschutz- und Klimafolgenanpassungskonzepte. Sie stellen Flächennutzungspläne auf, worüber sie Standorte von erneuerbaren Energie-Anlagen konkretisieren können.
- Genehmigungsbehörden sind das Land, die Träger der Regionalplanung und die Kommunen, abhängig davon, ob es sich um die Genehmigung übergeordneter Planungen oder konkreter Vorhaben zum Bau oder Repowering von Anlagen handelt. Bei der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) prüfen sie die Anfälligkeit des Vorhabens gegenüber den Folgen des Klimawandels (zum Beispiel durch erhöhte Hochwassergefahr am Standort).

Die nachfolgende Abbildung zeigt die relevanten formellen Entscheidungsebenen und ihre vereinfachten Zusammenhänge im Überblick. Die gestrichelten Linien stellen die Zusammenhänge für das Repowering dar.



Abbildung 32: Entscheidungsebenen im Überblick

Die Anlagenhersteller sind hierbei nicht berücksichtigt, da sie ihre Produkte unabhängig von den andern Entscheidungsebenen entwickeln und deren Anlagen vor der Marktreife andere Genehmigungsprozesse durchlaufen, die nicht Gegenstand der Untersuchung waren.

Weitere grundsätzlich relevante Entscheidungsprozesse erfolgen im Bereich Forschung und Entwicklung, zum Beispiel bei der Untersuchung regionaler Auswirkungen des Klimawandels oder bei der Weiterentwicklung der Technologien zur Energiegewinnung, -speicherung und -verteilung.

INFORMELLE INSTRUMENTE

Informelle Instrumente (vgl. auch Kap. 4) kommen zum Einsatz, um zum Beispiel für das Handeln aller Beteiligten einen Rahmen und Ziele abzustimmen. Bezug zu EnerKlim haben vor allem Klimaschutz- und Klimaanpassungskonzepte, die zwar die Themen Klimawandel und erneuerbare Energie bearbeiten, aber nicht zueinander in Bezug setzen:

- Land Niedersachsen: Der Runde Tisch Energiewende Niedersachsen war das zentrale Kommunikationsprojekt zur Energie- und Klimapolitik der Landesregierung der vergangenen Wahlperiode. Ihm gehörten rund 50 Persönlichkeiten aus der niedersächsischen Wirtschaft und Energiewirtschaft, aus Wissenschaft, Gewerkschaften, Kommunen, Kirchen, Kammern, öffentlichen Einrichtungen sowie Umwelt- und sonstigen Fachverbänden an (MU 2017d). Im Fokus stand die Energiewende in Niedersachsen, ein wichtiges Produkt sind die „Energieszenarien 2050“ (MU, 2016a) (siehe Kap. 5).
- Klimaschutzkonzepte: Für die Metropolregion liegen fast flächendeckend vor allem integrierte Klimaschutzkonzepte vor und darüber hinaus einzelne Teilkonzepte zu erneuerbaren Energien (siehe Kap. 4).
- Klimaanpassungskonzepte: In der Metropolregion gibt es einzelne Konzepte, die sich jedoch nicht mit den Folgen für erneuerbare Energien auseinandersetzen (siehe Kap. 4).
- Strategien von Unternehmen und Verbänden: Keiner der Beteiligten der Veranstaltungen im Rahmen von EnerKlim setzt sich bisher mit den Auswirkungen des Klimawandels auf die erneuerbaren Energien und andere Bereiche des Energiesektors auseinander.

VERWENDUNG VON KLIMADATEN UND -PROGNOSEN

Bei der Analyse vorhandener Pläne und Konzepte sowie in Gesprächen und Diskussionen im Beteiligungsprozess wurde festgestellt, dass die Entscheidungsebenen aktuelle Klimadaten für ausgewählte Planungen nutzen. So wird zum Beispiel in Regionalen Raumordnungsprogrammen die Windhöufigkeit teilweise als Begründung für Festlegungen verwendet, teilweise werden diese Informationen nur nachrichtlich dargestellt. Sie können damit als Hilfestellung für die Bauleitplanung und Projektentwickler dienen. Hersteller von Windkraftanlagen berücksichtigen Windgeschwindigkeiten bei der Konzeption ihrer Anlagen. Genehmigungsbehörden können neben der Windhöufigkeit auch Daten zum Hochwasserrisiko am jeweiligen Standort bei ihren Entscheidungen heranziehen. Klimaprognosen insbesondere mit Bezug zu erneuerbaren Energien kommen aber auf keiner der Ebenen zum Einsatz.

Entscheidend im Rahmen des Projekts EnerKlim ist die Bedeutung der Auswirkungen des Klimawandels für die Entscheidungsprozesse. Grundsätzlich ist festzuhalten, dass Informationen zum Klimawandel für alle Entscheidungsebenen wichtig sein können (vgl. Kap. 6 und 7). Da sie sich jedoch regional erheblich unterscheiden können (zum Beispiel durch das Relief bedingt), sind allgemeine Aussagen, zum Beispiel auf Landesebene, von sehr begrenztem Nutzen. Sie geben aber Hinweise, welche Auswirkungen regional detaillierter betrachtet werden sollten. Die Deutsche Anpassungsstrategie 2008 nennt als Beispiels für die Betrof-

fenheit der erneuerbaren Energien die Erträge der Biomassennutzung, die Verfügbarkeit von ausreichend Niederschlagsmengen auf Wasserkraftanlagen und die „Anforderungen an die Standfestigkeit von Solar- und Windenergieanlagen angesichts drohender Starkwinde“ (Bundesregierung, 2008, S. 34). Die Studie „Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel“ des Umweltbundesamtes von 2015 untersucht Auswirkungen im Energiesektor auf konventionelle thermische Kraftwerke, Leitungsnetze sowie Wasserkraft und Windkraft, für die sie geringe Anfälligkeiten attestiert (UBA, 2015, S. 518). Für die Windenergie geht die Studie für Norddeutschland je nach Ausprägung des Klimawandels von einer „leichten“ bis „stärkeren“ Steigerung des Windenergiepotenzials (ebd., S. 525), aber auch von einer mittleren Klimawirkung auf Windkraftanlagen durch Hochwasser, Starkwind, Blitzeinschlag oder Schneelast aus (ebd., S. 527). Sie benennt weiteren Forschungsbedarf unter anderem hinsichtlich der Auswirkungen auf die erneuerbaren Energien (ebd., S. 679).

Der „Climate Service Center Report 14“ fasst die Erkenntnisse zur möglichen Betroffenheit des deutschen Energiesektors durch den Klimawandel ohne räumliche Konkretisierung für Biomasse, Wasserkraft, Solarenergie und Windkraft zusammen: „Insgesamt werden die Erzeugungsanlagen in allen Studien als äußerst robust gegen klimatische Veränderungen eingeschätzt. Als anfällig gelten die Anlagen im Hinblick auf Wetterextreme. Die Erzeugung selbst ist durch den Klimawandel nicht nennenswert beeinträchtigt“ (Cortekar, Groth, 2013, S. 23). Die Niedersächsische Anpassungsstrategie 2012 benennt mögliche Folgen des Klimawandels für die Energiewirtschaft in Niedersachsen, bleibt aber räumlich unkonkret. Die Strategie benennt die grundsätzliche Anfälligkeit von Energiegewinnungsanlagen gegenüber Extremwettern, die Gefahr von Starkwinden für ältere Windenergieanlagen, Starkhagelereignisse und Tornados als Gefahr für Solaranlagen sowie die Zunahme von Ernteverlusten und verlängerte Vegetationsperioden als Faktor für den Biomasseanbau (MU 2012, S. 102).

EnerKlim ist damit der erste Ansatz, die Klimafolgen für die erneuerbaren Energien für eine konkrete Region zu untersuchen. Es gibt zwar bereits erste Klimaanpassungskonzepte bzw. Klimaschutzteilkonzepte zur Anpassung an den Klimawandel in einigen Regionen Niedersachsens, zum Beispiel in der Metropolregion Nordwest und in den Städten Göttingen und Osnabrück, aber keine setzt sich explizit mit erneuerbaren Energien auseinander. Lediglich indirekt lassen sich beispielsweise über die Folgen für die Landwirtschaft und die Bauwirtschaft Schlussfolgerungen für den Biomasseanbau und Energiegewinnungsanlagen ableiten.

Zurzeit erarbeitet die Region Hannover auf Basis der „Grundlagen und Empfehlungen für eine Klimaanpassungsstrategie der Region Hannover“ ein Klimaanpassungskonzept unter anderem mit dem Handlungsfeld Energiewirtschaft, das Konzept ist jedoch noch nicht veröffentlicht. Darüber hinaus gibt es verschiedene Online-Tools, die die Folgen des Klimawandels räumlich darstellen. Das Portal „Klimafolgen-Online“ des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) e. V. ist eines, das einen Bezug zum Energiesektor darstellt: Das Portal stellt die Entwicklung des Photovoltaikpotenzials und der Ertragspotenziale einzelner Kulturpflanzen bis 2100 dar.

Die Analyse der Entscheidungsprozesse und Planungen in der Metropolregion, ergänzt um den Austausch mit den Fachleuten im Rahmen des Beteiligungsprozesses, ergab, dass zwar aktuelle Klimadaten für Planungen herangezogen werden, jedoch keine Prognosen, die über die Extrapolation der Entwicklung der Vergangenheit auf die Zukunft hinaus gehen. Die nachfolgende Tabelle fasst die Verwendung von Klimadaten für die Entscheidungsprozesse zusammen. Darüber hinaus werden insbesondere bei Wasserkraft und

bei Genehmigungsbehörden indirekte Klimadaten herangezogen (Beispiel Hochwasser, Pegelstände und Abflussmengen), sie sind in der Tabelle daher in Klammern gesetzt.

Tabelle 10: Aktuelle Berücksichtigung von Klimadaten bei Entscheidungsprozessen

Akteur/Ebene	Energie	Verwendung aktueller Klimadaten	Verwendung Klimaprognosen
Landesplanung	Alle	-	-
Regionalplanung	Windenergie	Windhöffigkeit	-
Bauleitplanung	Windenergie	Windhöffigkeit	-
Anlagenhersteller	Windenergie	Windgeschwindigkeit, Wetterextreme	-
	Solarenergie	Wetterextreme, Globalstrahlung und direkte Einstrahlung	-
Projektentwickler, Anlagenbetreiber	Windenergie	Windhöffigkeit	-
	Solarenergie	Globalstrahlung und direkte Einstrahlung	-
	Biomasse	Länge der thermischen Wachstumsperiode, Ertragspotenziale nach Pflanzenarten	-
	Wasserkraft	(Pegelstände und Abflussmengen)	-
Genehmigungsbehörden	Alle	(Hochwasser)	(Hochwasser)

Um den Klimawandel angemessen beim Ausbau erneuerbarer Energien berücksichtigen zu können, fehlen geeignete Prognosedaten. Wie eingangs des Kapitels erläutert, stehen diese nicht in ausreichendem Umfang zur Verfügung oder fehlen ganz. Dabei könnten die Daten die Qualität von Planungen deutlich erhöhen. Die nachfolgende Tabelle zeigt für die Entscheidungsprozesse im Zusammenhang mit der Nutzung erneuerbarer Energien die Daten, die für die Entscheidungsträger interessant sein könnten. Sie sind aufgeteilt in die Daten, die im EnerKlim-Web-GIS (siehe Kap. 8.2) verfügbar sind (Spalte „Prognosedaten im Web-GIS“), und weitere Daten, die sich bei entsprechender Datenverfügbarkeit in das Web-GIS integrieren ließen und die zu einer weiteren Verbesserung der Entscheidungen beitragen würden.

Tabelle 11: Klimadaten zur Optimierung von Entscheidungsprozessen zum Ausbau erneuerbarer Energien

Akteur/Ebene	EE	Prognosedaten im Web-GIS	Weitere für das Web-GIS geeignete Informationen	Chancen von Prognosen/ Erhoffte Wirkungen des Web-GIS
Landesplanung	Wind	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mittlere Windgeschwindigkeit ■ Mittlere Windleistungsdichte 		<ul style="list-style-type: none"> ■ Belastbarere Aussagen der Landespolitik zu Ausbaupotenzialen und -zielen ■ Berücksichtigung des Klimawandels im gesamten LROP
Regionalplanung, Bauleitplanung	Wind	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mittlere Windgeschwindigkeit ■ Mittlere Windleistungsdichte 		<ul style="list-style-type: none"> ■ Prognosedaten zur Verbesserung der Festlegungsqualität ■ Künftige Windgeschwindigkeit als Abwägungskriterium
	alle		<ul style="list-style-type: none"> ■ Entwicklung künftiges Hochwassers 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Zukunfts- und rechtssichere Aussagen zur Standorteignung

Akteur/Ebene	EE	Prognosedaten im Web-GIS	Weitere für das Web-GIS geeignete Informationen	Chancen von Prognosen/ Erhoffte Wirkungen des Web-GIS
Anlagenhersteller	Wind	<ul style="list-style-type: none"> ■ Maximale Windgeschwindigkeit ■ Mittlere Windleistungsdichte 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Stärke und Häufigkeit von Starkwinden ■ Extremereignisse 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Leistungsfähigere Anlagen ■ Höhere Ausfallsicherheit ■ Geringere Abschaltzeiten
	Sonne		<ul style="list-style-type: none"> ■ Extremereignisse 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mehr Stabilität und Sicherheit
Projektentwickler, Anlagenbetreiber	Wind	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mittlere Windgeschwindigkeit ■ Mittlere Windleistungsdichte 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Stärke und Häufigkeit von Starkwinden ■ Extremereignisse ■ Entwicklung künftiger Hochwasser 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bessere Ertragsprognosen ■ Höhere Wirtschaftlichkeit ■ Sicherer Betrieb
	Sonne	<ul style="list-style-type: none"> ■ Sonnenscheindauer ■ Globalstrahlung und direkte Einstrahlung 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Solardachkataster ■ Für Freiflächenanlagen: Hochwasser ■ Extremereignisse 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bessere Ertragsprognosen ■ Höhere Wirtschaftlichkeit ■ Sicherer Betrieb
	Biomasse	<ul style="list-style-type: none"> ■ Klimatische Wasserbilanz ■ Länge der thermischen Wachstumsperiode ■ Ertragspotenziale nach Pflanzenarten 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Extremereignisse ■ Entwicklung künftiger Hochwasser ■ Potenzielle Wärmeabnehmer in der Nähe 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bessere Ertragsprognosen ■ Höhere Wirtschaftlichkeit ■ Sicherer Betrieb ■ Ermittlung von Einzugsgebieten zur Eingrenzung von Standorten ■ Auswahl geeigneter Pflanzenarten und Lieferanten
	Wasserkraft	<ul style="list-style-type: none"> ■ Klimatische Wasserbilanz ■ Niederschlag und Verdunstung 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Pegelstände und Abflussmengen ■ Mehr und extremere Ereignisse ■ Flusspezifische Wasserverfügbarkeit 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Präzisere Analyse von Standorten ■ Nachhaltigere Auswahl der Anlagentechnik und Schutzmaßnahmen ■ Bessere Ertragsprognosen ■ Höhere Wirtschaftlichkeit ■ Sicherer Betrieb
Genehmigungsbehörden	Wind		<ul style="list-style-type: none"> ■ Stärke und Häufigkeit von Starkwinden ■ Extremereignisse 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Höhere Standortsicherheit
	alle		<ul style="list-style-type: none"> ■ Entwicklung künftiger Hochwasser 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Nutzung für UVP

Die Tabelle zeigt deutlich, dass die Relevanz von Prognosedaten und weiteren GIS-Informationen für die einzelnen erneuerbaren Energien sehr unterschiedlich ausgeprägt ist. Das hängt auch mit der Zuständigkeit der verschiedenen Ebenen bei der Genehmigung der Anlagen zusammen. Während die Raumordnung des Landes und der Träger der Regionalplanung überwiegend die Windenergie steuert, liegen die Zuständigkeiten bei den anderen erneuerbaren Energien bei anderen Genehmigungsbehörden. Über die Windenergie hinaus könnte die Regionalplanung auch für andere erneuerbare Energien Festlegungen treffen, zum Beispiel durch Eignungsgebiete für Freiflächen-Solaranlagen oder Biogasanlagen. Die Anlagenhersteller sind vor allem bei Windenergie- und Photovoltaikanlagen gefragt, ihre Produkte unter Berücksichtigung der Folgen des Klimawandels mit hoher Standfestigkeit und Ausfallsicherheit auszustatten. Projektentwickler

und Betreiber von Anlagen sind vor allem an einer hohen Wirtschaftlichkeit ihrer Anlagen interessiert. Zusammengefasst ergibt sich folgende Relevanz von Klimaprognosen bei Entscheidungsprozessen:

Tabelle 12: Bedeutung von Klimadaten zur Optimierung von Entscheidungsprozessen zum Ausbau erneuerbarer Energien

Akteur/Ebene	Wind	Solar	Biomasse	Wasserkraft
Landesplanung	!	-	-	-
Regionalplanung, Bauleitplanung	!!	!	!	!
Anlagenhersteller	!	!	-	-
Projektentwickler, Anlagenbetreiber	!!	!	!!	!
Genehmigungsbehörden	!	!	!	!

- Keine/geringe Relevanz ! Mittlere Relevanz !! Hohe Relevanz

Wie in Tabelle 13 dargestellt, kann das informelle Planungsinstrument (EnerKlim-Web-GIS) (siehe Kap. 8.2) für alle Entscheidungsebenen in unterschiedlicher Ausprägung einen Mehrwert bringen. Die nachfolgende Tabelle ist auf diese Information reduziert.

Tabelle 13: Chancen zur Optimierung von Entscheidungsprozessen zum Ausbau erneuerbarer Energien

Akteur/Ebene	EE	Chancen von Prognosen/Erhoffte Wirkungen des Web-GIS
Landesplanung	Wind	<ul style="list-style-type: none"> ■ Belastbarere Aussagen der Landespolitik zu Ausbaupotenzialen und -zielen ■ Berücksichtigung des Klimawandels im gesamten LROP
	alle	<ul style="list-style-type: none"> ■ Zukunfts- und rechtssichere Aussagen zur Standorteignung
Regionalplanung, Bauleitplanung	Wind	<ul style="list-style-type: none"> ■ Prognosedaten zur Verbesserung der Festlegungsqualität ■ Künftige Windgeschwindigkeit als Abwägungskriterium
	alle	<ul style="list-style-type: none"> ■ Zukunfts- und rechtssichere Aussagen zur Standorteignung
Anlagenhersteller	Wind	<ul style="list-style-type: none"> ■ Leistungsfähigere Anlagen ■ Höhere Ausfallsicherheit ■ Geringere Abschaltzeiten
	Sonne	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mehr Stabilität und Sicherheit
Projektentwickler, Anlagenbetreiber	alle	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bessere Ertragsprognosen ■ Höhere Wirtschaftlichkeit ■ Sicherer Betrieb
	Biomasse	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ermittlung von Einzugsgebieten zur Eingrenzung von Standorten ■ Auswahl geeigneter Pflanzenarten und Lieferanten
	Wasserkraft	<ul style="list-style-type: none"> ■ Präzisere Analyse von Standorten ■ Nachhaltigere Auswahl der Anlagentechnik und Schutzmaßnahmen
Genehmigungsbehörden	Wind	<ul style="list-style-type: none"> ■ Höhere Standortsicherheit
	alle	<ul style="list-style-type: none"> ■ Nutzung für UVP

Das im Rahmen des Projektes erstellte Web-GIS bietet eine Entscheidungshilfe für Planungsprozesse. Es stellt mit Karten zum Klimawandeleinfluss die für erneuerbare Energieerzeugung relevanten klimatologischen Parameter dar und eignet sich damit zur Unterstützung von Planungsprozessen. GEO-Net hat im Rahmen von EnerKlim festgestellt, dass die klimawandelbedingten Unsicherheiten im mittleren bis oberen einstelligen Prozentbereich liegen (siehe Kap. 7.2). Damit sind die Auswirkungen des Klimawandels auf die erneuerbaren Energien bei den Entscheidungsprozessen der betroffenen Akteure in der Metropolregion weniger relevant als andere Rahmenbedingungen (insb. bei der Windenergie), sie sollten jedoch nicht vollständig vernachlässigt werden.

Die Entscheidungsebenen sollten das Web-GIS in ihre Entscheidungsprozesse wie folgt implementieren (teilweise mit Einschränkung):

- Landesplanung: das Web-GIS kann die Belastbarkeit der Aussagen der Landespolitik zu Ausbaupotenzialen und -zielen erhöhen und auch für weitere klimarelevante Analysen genutzt werden, wenn es landesweit angewendet und mit entsprechenden Daten hinterlegt wird.
- Regionalplanung: Mit den Prognosedaten kann die Festlegungsqualität verbessert und damit die Rechtssicherheit erhöht werden, auch könnte die künftige Windgeschwindigkeit als Abwägungskriterium herangezogen werden. Das Web-GIS erleichtert die Identifikation von Eignungsgebieten. Allerdings gibt es eine Vielzahl anderer Parameter (Naturschutz, Wald, Siedlungen, Akzeptanz usw.), die bei der Abwägung mit einer womöglich zukünftig leichten Veränderung in der Windgeschwindigkeit größeres Gewicht haben.
- Hersteller: Durch die sehr geringen prognostizierten Veränderungen in der Metropolregion ergibt sich kein Anpassungsbedarf, zumal die Anlagen ohnehin auf deutlich extremere Windverhältnisse, die in vielen anderen Regionen vorherrschen ausgelegt werden. Der Klimawandel wird für die Hersteller dann relevant, wenn Schadensereignisse zunehmen und die Versicherungsbeiträge steigen.
- Projektentwickler, Eigentümer, Betreiber: Die Nutzung des Web-GIS kann bei allen erneuerbaren Energien die Ertragsprognosen verbessern und damit zu einer höheren Wirtschaftlichkeit beitragen. Es hilft auch bei der Auswahl der Technik und Dimensionierung der Anlage. Bei Biogasanlagen kann das Web-GIS bei der Standortsuche und Auswahl geeigneter Pflanzenarten unterstützen. Auch bei der Optimierung von bestehenden Anlagen kann das Web-GIS unterstützen.
- Kommunen: das Web-GIS kann die Kommunen bei der Planung interkommunaler Windparks und Aufstellung von Flächennutzungsplänen unterstützen. Kommunen in ihrer Funktion als Genehmigungsbehörde können ggf. die Angaben in den Bauanträgen prüfen. Kommunen als Träger informeller Instrumente wie Klimaschutz- und Klimafolgenanpassungskonzepte können das Web-GIS zur Analyse nutzen.

WEITERE ENTSCHEIDUNGSEBENEN

Über die oben dargestellten Entscheidungsebenen hinaus, die unmittelbar für den Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien relevant sind, gibt es weitere relevante Akteure in den Bereichen Forschung und Gesetzgebung.

Die Akteure im Bereich Forschung und Entwicklung sollten sich verstärkt mit der Entwicklung von Methoden zur Ermittlung regionaler Auswirkungen des Klimawandels befassen, um diese bei der Steuerung des Ausbaus erneuerbarer Energien besser berücksichtigen zu können. EnerKlim liefert für einen Teil der Daten entsprechende Ansätze (vergleiche Tab. 11). Ergänzend dazu sollten natürlich auch die Entwicklungsabteilungen der Hersteller die Anlagentechnik, Energiespeicher und Verteilnetze weiterentwickeln, um sie widerstandsfähiger gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels zu machen. Dies ist oben bei der Entscheidungsebene Hersteller bereits mitgedacht.

Die Gesetzgeber sind gefragt, die regionalen Entscheidungsebenen für die Umsetzung der Energiewende zumindest zur Überprüfung der Anfälligkeit des Energiesektors gegenüber dem Klimawandel auf regionaler Ebene zu verpflichten, soweit dies durch Studien auf übergeordneter Ebene (zum Beispiel Bundesland) noch nicht in ausreichender Detailschärfe erfolgt ist. Dies schließt neben den erneuerbaren Energien auch die bestehenden konventionellen Anlagen und die Verteilnetze ein. Insbesondere mit Blick auf die erforderliche Dezentralisierung der Energieversorgung ist dies ein wichtiger Schritt. Darüber hinaus sollten mindestens auf Landesebene konkretere Ausbauziele verbindlich festgelegt und mit entsprechenden Förderprogrammen hinterlegt werden.

WESENTLICHE ERKENNTNISSE

Die Folgen des Klimawandels spielen bei Entscheidungen zur Nutzung erneuerbarer Energien (noch) keine Rolle. Eine mögliche Erklärung ist, dass die Auswirkungen des Klimawandels entweder noch nicht groß genug sind, nicht schnell genug eintreten oder nicht bekannt genug sind, um ernst genommen zu werden. Ein wesentliches Ergebnis des Beteiligungsprozesses ist, dass auf allen beteiligten Entscheidungsebenen die Auswirkungen des Klimawandels auf die erneuerbaren Energien als noch nicht bedeutsam genug eingeschätzt werden, um Entscheidungsprozesse anzupassen.

Bundes- und landesweite Studien stellen Auswirkungen unter anderem auf Landwirtschaft, Stromleitungen und konventionelle Kraftwerke dar, aus denen sich lediglich indirekte Auswirkungen auf erneuerbare Energien ableiten lassen. Es fehlen regionale Untersuchungen zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die Nutzung erneuerbarer Energien, zu denen EnerKlim einen ersten wichtigen Beitrag leistet.

8.2 KOMMUNIKATION: ENERKLIM WEB-GIS

Die kartographischen Ergebnisse können in einem Web-GIS, der über die Internetseite der Metropolregion abzurufen ist, eingesehen werden. Die Adressaten dieses Kartentools sind Kommunen, Projektentwickler, Anlagenbetreiber und sonstige Stakeholder der Energiewende in der Metropolregion. Da das Instrument auf die Erschließung des Naturraumpotenzials ausgerichtet ist und von administrativen sowie sonstigen Restriktionen weitestgehend abstrahiert, fokussiert er aber insbesondere auf die interkommunale Zusammenarbeit (z.B. Planung interkommunaler Windparks).

Die Plattform beinhaltet ein paar allgemeine Daten, die Datenbank der Klimaschutzkonzepte und Masterpläne und die Daten zum Klimawandel. Die Klimawandelparameter wurden entsprechend Fragestellungen im Handlungsfeld „Energiewirtschaft“ verwendet und die Ergebnisse eigener Modellierung unter dem Me-

nüpunkt „Energiewirtschaft“ abgelegt (Abb. 33). Die Plattform ist über die Internetseite der Metropolregion unter <http://www.metropolregion.de/project/enerklim/> erreichbar. Zusätzlich vorübergehend auch unter <https://metro.idu.de/cardoMap/metro.aspx>.

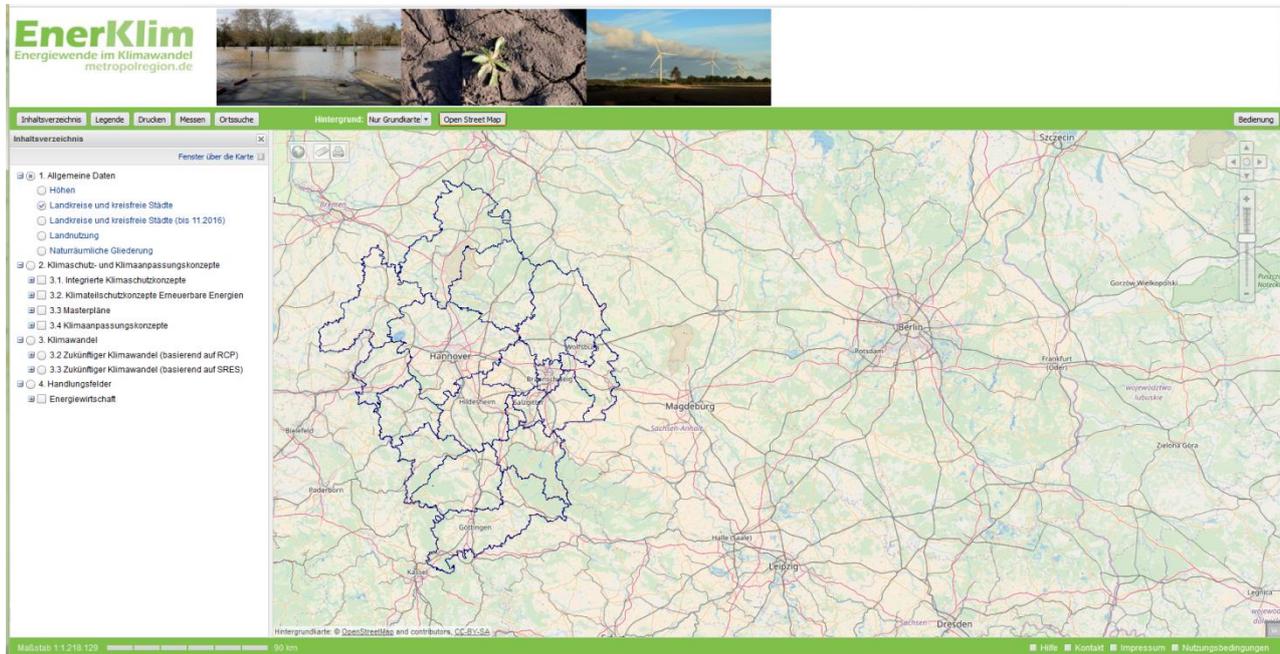


Abbildung 33: Übersicht des EnerKlim-Web-GIS, <https://metro.idu.de/cardoMap/metro.aspx>

Die Datenbank der Konzepte (zweiter Menüpunkt) stellt die Landkreise, Städte, Gemeinden und kommunale Zusammenschlüsse, die integrierten Klimaschutzkonzepte, Klimaschutzteilkonzepte mit den Themen erneuerbare Energien oder Mobilität sowie Masterpläne bis zum Ende 2015 erstellt haben. Je nach Art des Konzeptes und kommunale Ebene wurde verschiedene Farbgebung gewählt, damit alle Themen bei Bedarf gleichzeitig angezeigt werden konnten. Mit einem Klick in der Karte können über die sog. Maptip-Funktion weitere Informationen, wie Titel, Autoren, Erstellungsdatum und betrachtete Zeiträume abgerufen werden. Zusätzlich wurden Verlinkungen zur Veröffentlichungen der Konzepte bzw. der jeweiligen Kommunen eingepflegt (Abb. 34).

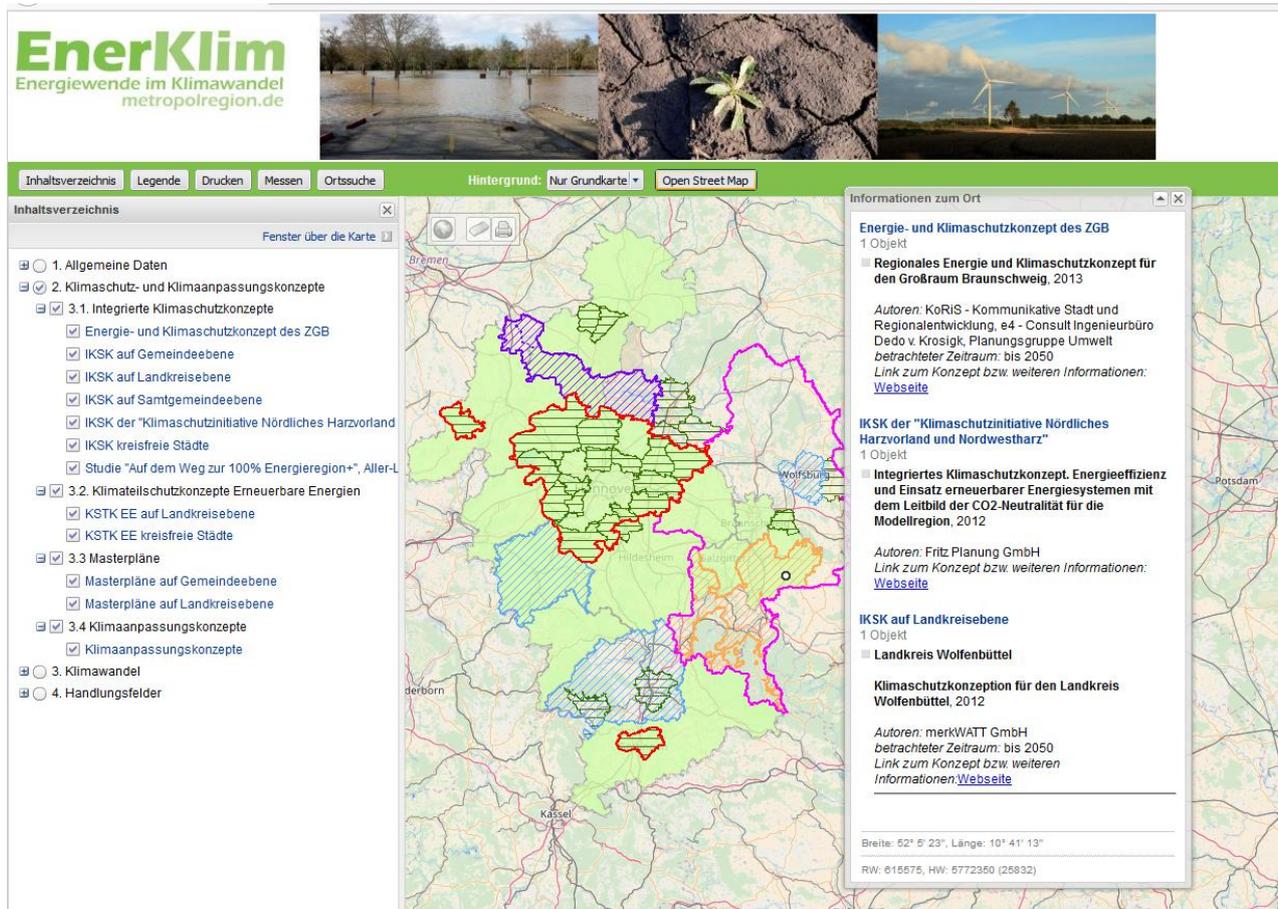


Abbildung 34: Klimaschutz- und Klimaanpassungskonzepte im EnerKlim-Web-GIS. Über die Maptip-Funktion können die der Karte zugrunde liegenden Informationen abgerufen werden (Hier am Beispiel des Landkreises Wolfenbüttel: ein weißer Punkt mit schwarzer Umrandung)

Die Daten zum Klimawandel betreffen zum einen die aufbereiteten Ergebnisse der Global- und Regionalmodelle basierend auf den RCP-Szenarien (vgl. Kap. 7.2), zum anderen Ergebnisse der FITNAH-Modellierung des Vorgängerprojektes „KFM“ (KFM, 2011 und LBEG, 2011), die auf dem Globalen ECHAM- und regionalen CLM-Modellen basieren. Die RCP-Szenarien stellen den aktuellsten Stand der Technik und des Wissens dar, jedoch enthält das Kartentool teilweise auch Ergebnisse aus dem KFM-Projekt, wie die zu den Bioenergiepotenzialen.

Neben den Höhenwinddaten, die im Kap. 7.2 beschrieben wurden, wurden auf ähnliche Art und Weise die Modell- und Szenarien-Ensembles zur Sonnenscheindauer und Globalstrahlung im Rahmen von EnerKlim aufbereitet und für drei Zeiträume 2021-50, 2041-70 und 2071-100 die prozentualen Differenzen zur Referenzperiode (1971-2000) für drei Perzentile (15 %, Median und 85 %) dargestellt. Eine farblich einheitliche Legende in allen Zeiträumen und Perzentilen erleichtert Vergleiche zwischen ihnen. Über Maptips können genaue Werte abgelesen werden. In der Abbildung 35 ist das Thema beispielhaft am Median der Änderung der Sonnenscheindauer der Periode 2071-100 gezeigt.

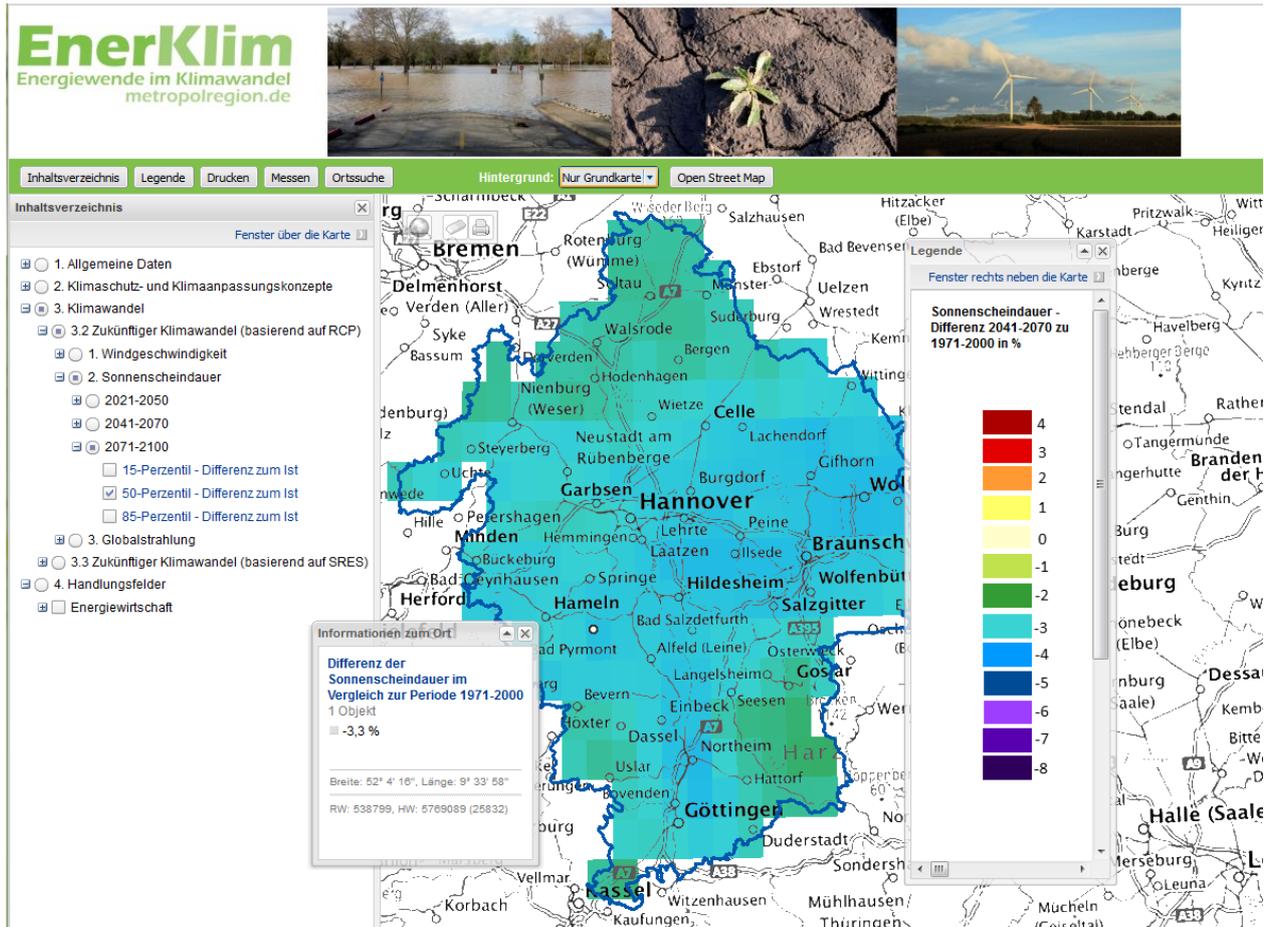


Abbildung 35: Prozentuale Differenz der Sonnenscheindauer zwischen 2071-2100 und der „Ist“-Referenzperiode 1971-2000, Median aus verschiedenen Modell- und Szenarien-Ensemble; Hintergrundkarte: © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2017 (BKG, 2017)

Unter dem Menüpunkt „Handlungsfelder“ ist derzeit lediglich der Unterpunkt „Energiewirtschaft“ als Schwerpunkt des EnerKlim-Projektes abgelegt. An der Stelle kann die Plattform um weitere Handlungsfelder aus der Deutschen Anpassungsstrategie erweitert werden.

Für die Windenregie sind die FITNAH-Modellergebnisse für die jährliche mittlere Windgeschwindigkeit sowie die Windleistungsdichte in einer horizontalen Auflösung von 100 m x 100 m abrufbar. Es können hier sowohl die gegenwärtigen Windfelder für vier Höhen über Grund (100 m, 140 m, 160 m und 200 m) als auch die sich für 2050 ergebende Änderung in den Parametern angesehen werden. Die Änderung bezieht sich rechnerisch auf den zukünftigen Zeitraum 2041-70 und wird für jede Höhe und jeden der drei gewählten Perzentile (vgl. Kap. 7.2) dargestellt (Beispiele in Abb. 36 bis 39). Dank einheitlicher Legenden innerhalb der Karten für 2017 sowie innerhalb der Karten zur Änderung, können die verschiedenen Höhen und Perzentile leicht miteinander verglichen werden.

Die Zoom-Funktion erlaubt es ein ausgewähltes Gebiet genauer zu betrachten (Abb. 37). Zusätzlich können die Daten zu den vorhandenen Wind- und Biogasanlagen sowie die Vorranggebiete für Windenergie angezeigt werden (ML, 2017) (Abb. 38). Bei fast allen Themen ist über das Klicken auf eine Ebene (Thema) die Erläuterung dafür abzurufen. Sie hilft den Inhalt der jeweiligen Karte zu verstehen bzw. informiert über die Methodik (Abb. 39)

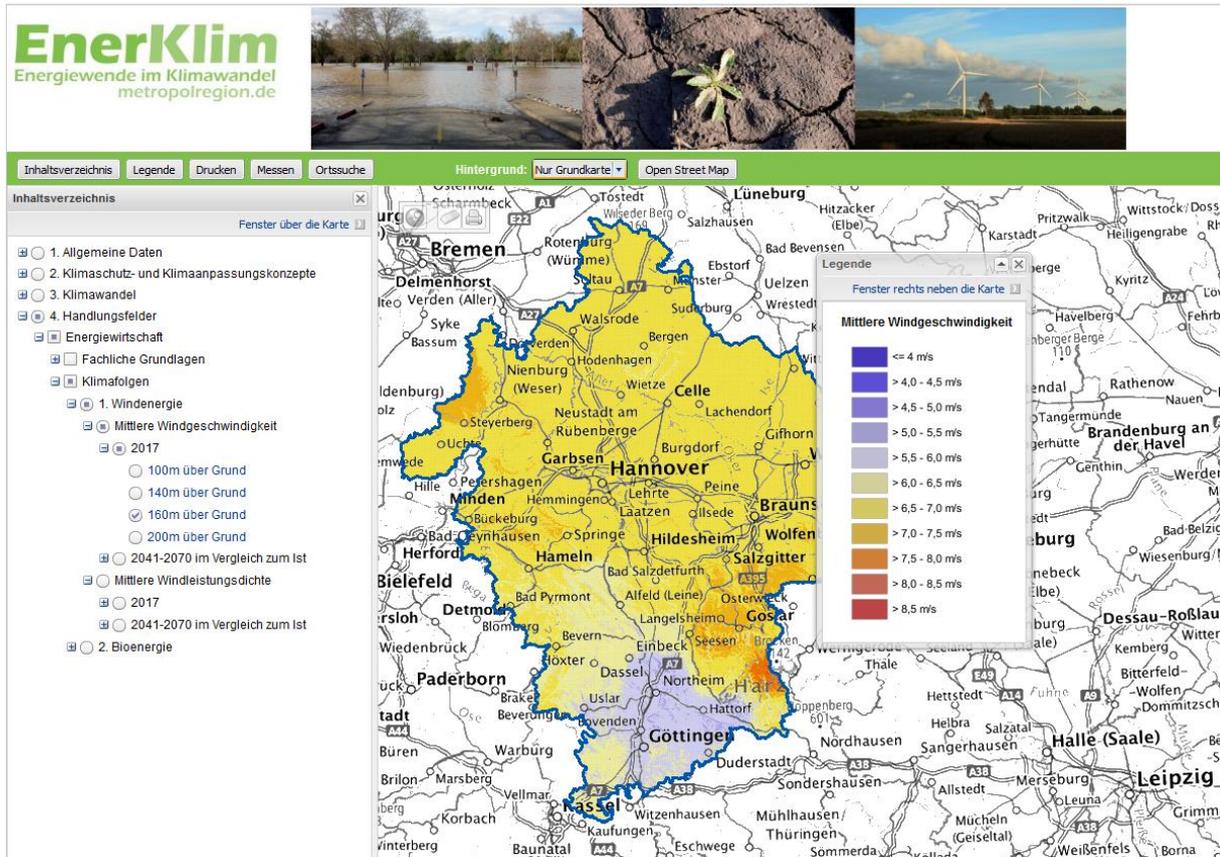


Abbildung 36: Mittlere Windgeschwindigkeit in 160 m ü. G. für 2017, Modellierung mit FITNAH, horizontale Auflösung: 100 x 100 m. Hintergrundkarte: © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2017 (BKG, 2017)

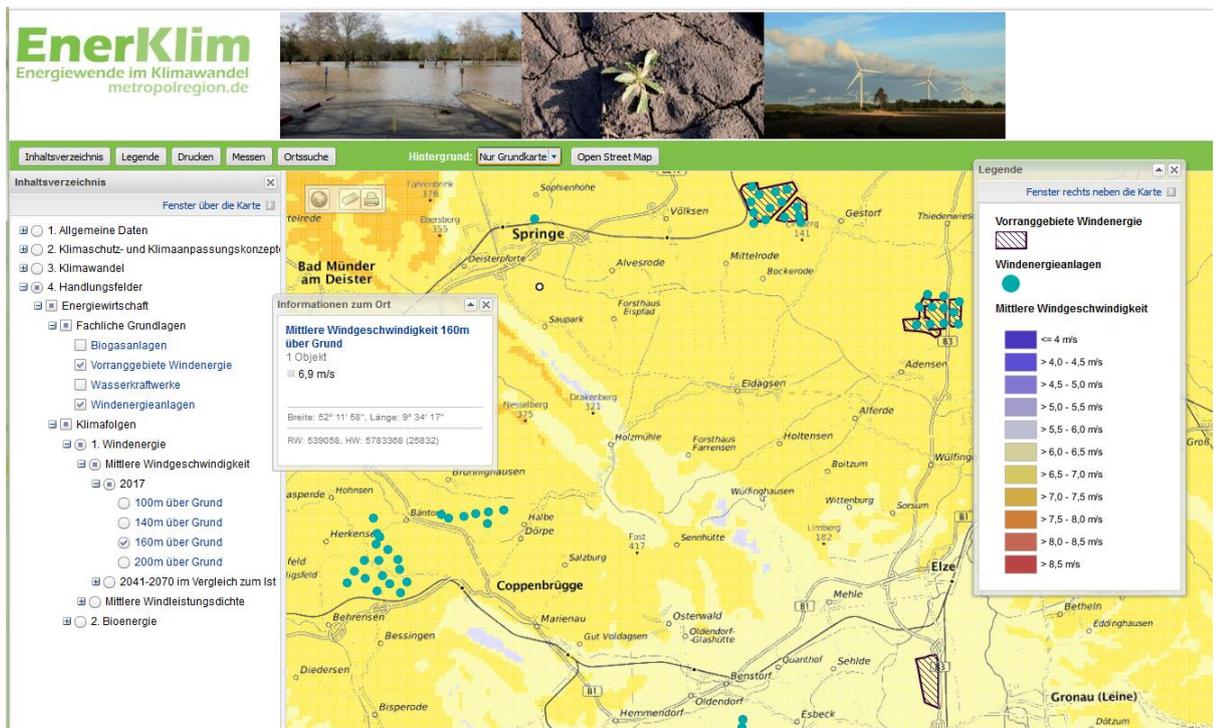


Abbildung 37: Auswahl eines Gebietes mit der Zoom-Funktion, Anzeige der Vorranggebiete Windenergie und der Windenergieanlagen, Maptip-Funktion zum Ablesen der genauen Windgeschwindigkeit eines konkreten Standorts; Daten WEA und Vorranggebiete: „Energieatlas Niedersachsen“ (ML, 2017); Hintergrundkarte: © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2017 (BKG, 2017)

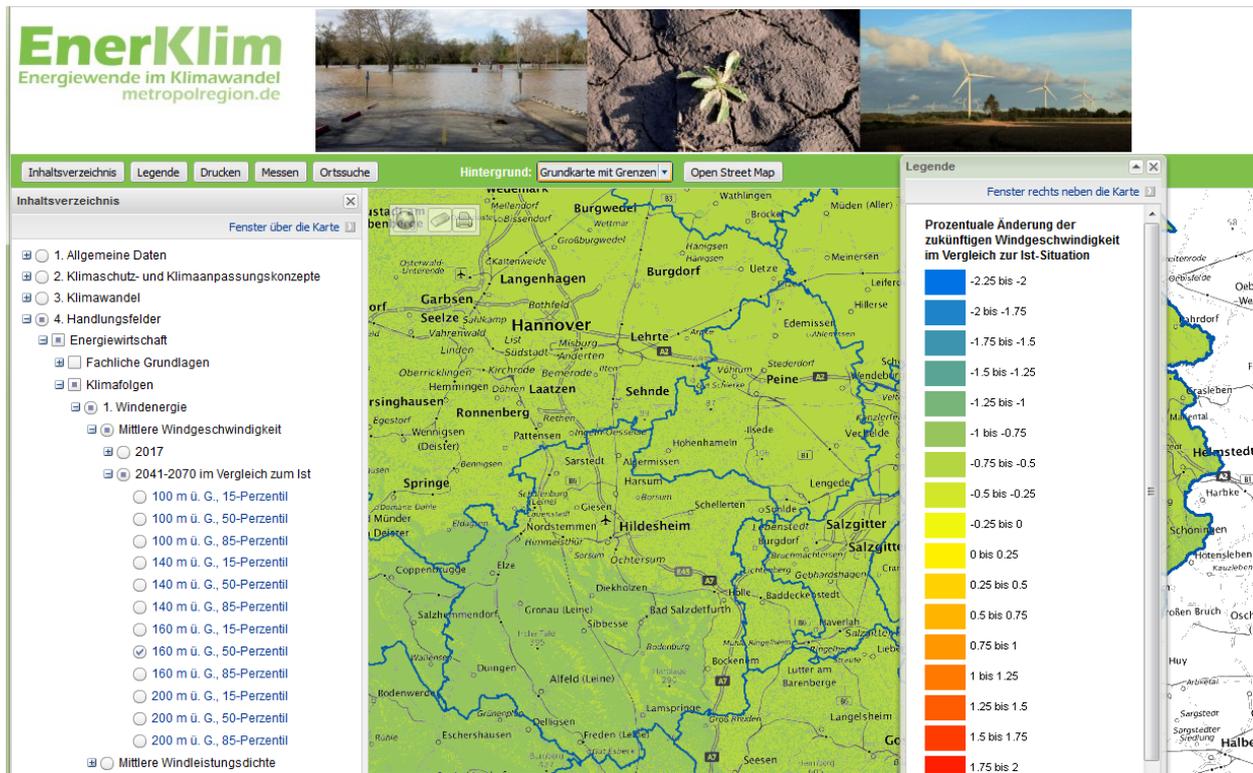


Abbildung 38: Prozentuale Änderung der mittleren Windgeschwindigkeit zwischen 2041-70 und 2017 in 160 m Höhe ü. G. in Landkreisen Hildesheim und Peine am Beispiel des Medians der Klimawandel-Ensembles; Hintergrundkarte: © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2017 (BKG, 2017)

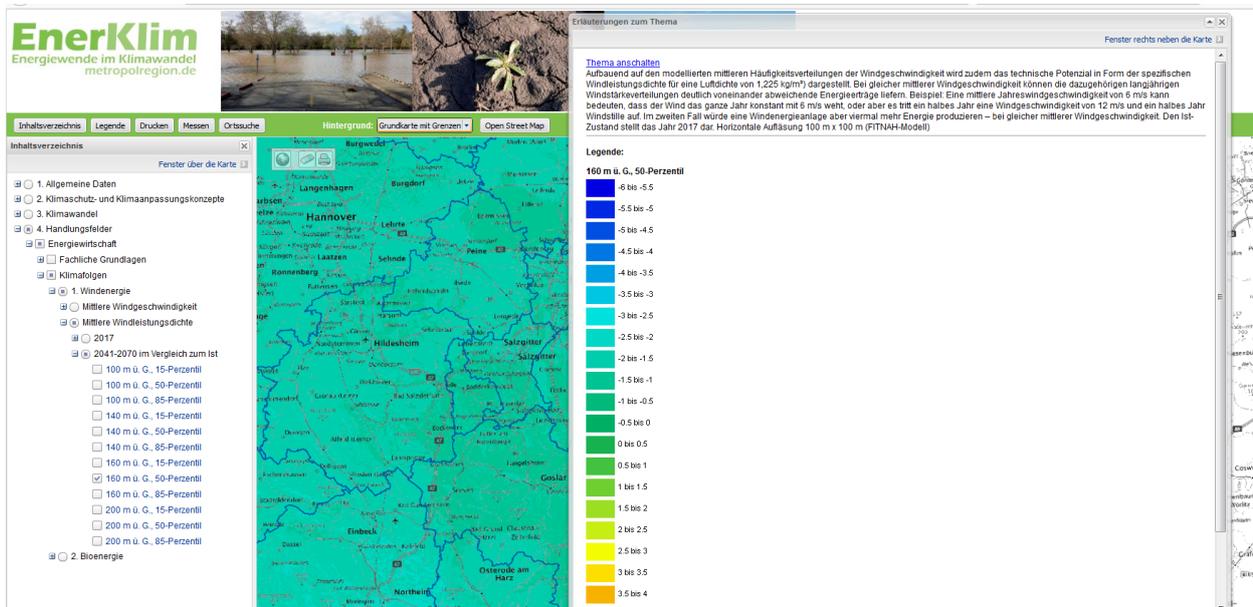


Abbildung 39: Prozentuale Änderung der mittleren Windleistungsdichte zwischen 2041-70 und 2017 in 160 m Höhe ü. G. in Landkreises Hildesheim und Peine am Beispiel des Medians der Klimawandel-Ensembles, Anzeige mit „Erläuterungen zum Thema“; Hintergrundkarte: © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2017 (BKG, 2017)

8.3 ÜBERTRAGBARKEIT AUF ANDERE METROPOLREGIONEN IN DEUTSCHLAND

Die Ministerkonferenz für Raumordnung (MKRO) hat elf europäische Metropolregionen für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland festgelegt (Abb. 40). Der Raumordnungspolitische Handlungsrahmen (HARA) definiert diese als „räumliche und funktionale Standorte, deren herausragende Funktionen im internationalen Maßstab über die nationalen Grenzen hinweg ausstrahlen“ (MKRO 1995, 27). In Ihrer Funktion „als Motoren der gesellschaftlichen, wirtschaftlichen, sozialen und kulturellen Entwicklung sollen sie die Leistungs- und Konkurrenzfähigkeit Deutschlands und Europas erhalten und dazu beitragen, den europäischen Integrationsprozess zu beschleunigen“ (MKRO 1995, 28). Zusätzlich dazu werden Metropolregionen auch Innovationsfunktionen über die Generierung von Wissen durch forschende und entwickelnde universitäre und privatwirtschaftliche Einrichtungen zugeschrieben (vgl. Blotevogel, 2002).



Abbildung 40 Metropolregionen in Deutschland

Die deutschen Metropolregionen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer strukturellen, politischen, strategischen, demographischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen z.T. erheblich voneinander (vgl. IKM 2012 oder BBSR, 2016). Trotz dieser immanenten Inhomogenitäten existiert mit der Förderung der territorialen Kohäsion in ihren Raumeinheiten eine Philosophie, die allen Metropolregionen als Leitbild gemein ist. Operationalisiert bedeutet dies, die auf Netzwerken basierende Kooperation und das Umsetzen von Projekten, die einen Mehrwert für alle regionalen Akteure generieren (Kawka, 2016). Von besonderem Interesse sind Themenbereiche, die über Kommunalgrenzen und wirtschaftliche Partialinteressen hinweg eine herausgehobene Relevanz besitzen. Hierbei handelt es sich zumeist um die „Megathemen“ unserer Zeit, zu der neben Urbanisierung, Demographischem Wandel, Digitalisierung oder Nachhaltigkeit auch und vor allem die Energiewende, der Klimaschutz sowie der Umgang mit den Auswirkungen des Klimawandels zählen. Metropolregionen kommt damit eine wichtige Rolle als Impulsgeber

für regionale und lokale Aktivitäten zu den verschiedensten gesellschaftspolitischen Nachhaltigkeitsthemen zu. Im Themenkomplex der Klimafolgenanpassung haben sich bisher insbesondere die beiden niedersächsischen Metropolregionen hervorgetan. Die Metropolregion Hannover Braunschweig Göttingen Wolfsburg hat als Vorreiter durch Ihr Vorhaben „Regionales Management von Klimafolgen in der Metropolregion“ bereits 2008 den Grundstein für den regionalen Anpassungsprozess gelegt (LBEG, 2011). Die Metropolregion Bremen-Oldenburg ist nur wenig später in die Erstellung eines „Fahrplan für eine klimaangepasste und resiliente Metropolregion“ (Metropolregion Bremen-Oldenburg, 2014) eingestiegen und hat darauf aufbauend eine „interkommunale Koordinierungsstelle Klimaanpassung“ (Metropolregion Bremen-Oldenburg, 2016) eingerichtet. In anderen Metropolregionen existieren darüber hinaus einige Aktivitäten, die zwar

ohne unmittelbare Beteiligung der Institution im eigentlichen Sinne aber dennoch mit direktem Bezug auf die Raumkategorie erfolgt sind. Hierzu zählen u.a. die Hauptstadtregion Berlin-Brandenburg im Zusammenhang mit dem Projekt INKA BB – Klimawandel und Innovation (ZALF, 2014), die Metropolregion Rhein-Neckar mit dem Vorhaben „Förderung von Bewusstsein und Handlungskompetenz zur betrieblichen Klimaanpassung“ (rgeo, 2016) sowie die Klimawandelvorsorgestrategie der Metropolregion Köln/Bonn als Teil der Metropolregion Rhein-Ruhr (Region Köln/Bonn, 2017).

Bei EnerKlim handelt es sich um ein regionales Leuchtturmvorhaben mit dem Charakter einer Fallstudie. Insofern sind die Ergebnisse zunächst einmal ausschließlich für den gewählten Untersuchungsraum der Metropolregion Hannover Braunschweig Göttingen verifiziert. Inwiefern der in EnerKlim gewählte Projektansatz inkl. des Beteiligungsformats sowie den erzielten Ergebnissen auf die anderen zehn Metropolregionen übertragen werden können, ist insbesondere von folgenden Faktoren abhängig:

- strukturelle, politische und strategische Rahmenbedingungen
- naturräumliche Ausstattung/Raumnutzungsstrukturen als Voraussetzung für die Produktionsbedingungen erneuerbarer Energie
- Ausmaß/Intensität des regionalen Klimawandels

Grundsätzlich gilt dabei, dass je ähnlicher die Regionen der Metropolregion in diesen Faktoren sind, desto eher sind die Ansätze und Ergebnisse auch als übertragbar einzustufen. Die größten Unterschiede zwischen den Metropolregionen bestehen in diesem Zusammenhang insbesondere hinsichtlich der strukturellen, politischen und strategischen Rahmenbedingungen. So gliedert sich die Metropolregion Hannover Braunschweig Göttingen Wolfsburg in eine GmbH sowie einen Verein Kommunen und ist damit grundsätzlich auf eine informelle Zusammenarbeit mit Ihren Mitgliedskommunen ausgerichtet (vgl. Kap. 1). Ähnliche Strukturen weisen auch die anderen beiden norddeutschen Metropolregionen Nordwest und Hamburg auf. Demgegenüber steht beispielsweise die verbandsmäßig organisierte Metropolregion Rhein-Neckar, der auch regionalplanerische Aufgaben zugeordnet sind und die in der Lage wäre, vergleichbare Ergebnisse in rechtsverbindliche Festsetzungen einfließen zu lassen.

Ähnlich heterogen ist die Situation mit Blick auf die Raumnutzungsstrukturen und den damit verbundenen für 2050 in den Metropolregionen anzustrebenden erneuerbaren Energiemix. Bei der Metropolregion Hannover Braunschweig Göttingen Wolfsburg handelt es sich um ein polyzentrisches Städtecluster mit einem hohen Anteil an ländlichen Räumen und Freiflächen in einem für die Nutzung der Windenergie begünstigen Raum. Insofern ist eine Übertragbarkeit am ehesten für die Metropolregion Bremen/Oldenburg, bedingt auch für Berlin/Brandenburg, Hamburg und Mitteldeutschland gegeben. Insbesondere für die urban geprägten Metropolregionen Rhein-Ruhr und Rhein-Main ist eine Vergleichbarkeit mit EnerKlim hingegen eher nicht gegeben. Hier treten die Potenziale für die Nutzung erneuerbarer Energien vermutlich deutlich gegenüber Fragen zum klimawandelbedingten Einfluss auf den Energiebedarf sowie Energieeffizienzfragen zurück.

Im Vergleich zu diesen sehr individuellen Charakteristika der einzelnen Metropolregionen muten die räumlich variierenden Klimasignale im Kontext einer Übertragbarkeitseinschätzung eher homogen an. Zwar existieren durchaus räumlich variable Muster in den zu erwartenden Klimaveränderungen (UBA, 2015), diese

sind aber - insbesondere mit Blick auf die hier relevanten Kenngrößen der Windgeschwindigkeit oder auch Sonnenscheindauer – in aller Regel zumindest gleichgerichtet.

Für die angewandten analytischen Methoden – insbesondere zur Quantifizierung der Auswirkungen des regionalen Klimawandels auf die Produktionsbedingungen erneuerbarer Energien – kann die Übertragbarkeit hingegen als durchgehend gegeben bewertet werden, da sie von den skizzierten Rahmenbedingungen weitgehend unabhängig sind. Allerdings gelten hier die Prämissen der Verfügbarkeit vergleichbarer Basisdaten u.a. zum Energieverbrauch, Strombedarf, Landnutzungsdaten sowie zu Daten zum Klimawandel. Während energetische Kennziffern häufig mit einem hohen Erhebungsaufwand verbunden sind und nicht in jeder Region dasselbe Qualitätsniveau aufweisen, existiert mit dem (weiterwachsenden) Datensatz aus der EuroCordex-Initiative ein deutschlandweiter Klimadatenpool, dessen Verwendung eine unmittelbare Vergleichbarkeit ermöglichen.

Tabelle 14 fasst die skizzierten Einschätzungen zur Übertragbarkeit von EnerKlim auf andere deutsche Metropolregionen zusammen. Zusammenfassend zeigt sich, dass ein Transfer am ehesten für die nord(ost)deutschen Metropolregionen möglich erscheint. Hierbei handelt es sich um eine qualitative Ersteinschätzung, die in einer größeren Vergleichsstudie verifiziert werden muss.

Tabelle 14 Einschätzung zur Übertragbarkeit der Ergebnisse von EnerKlim auf andere deutsche Metropolregionen; X= Übertragbarkeit gegeben, (X)= Übertragbarkeit eingeschränkt gegeben, 0 =eher keine Übertragbarkeit gegeben

Metropolregion	Übertragbarkeit der Ansätze und Ergebnisse von EnerKlim		
	Naturräumliche Ausstattung / Raumnutzungsstruktur	Art und Intensität des regionalen Klimawandels	strukturelle, politische und strategische Rahmenbedingungen
Rhein-Ruhr	0	(X)	0
Berlin/Brandenburg	X	(X)	(X)
Hamburg	X	(X)	X
München	(X)	(X)	(X)
Rhein-Main	0	(X)	(X)
Stuttgart	(X)	(X)	(X)
Nürnberg	(X)	(X)	(X)
Bremen/Oldenburg	X	(X)	X
Mitteldeutschland	(X)	(X)	0
Rhein-Neckar	0	(X)	0

9. Fazit

Mit Blick auf die großen Herausforderungen der Energiewende – Investitionsbedarf, Infrastrukturausbau, Ressourcenverfügbarkeit, politischer Wille und gesellschaftliche Akzeptanz – wurde die Frage nach den Auswirkungen des zukünftigen Klimawandels durch die im Rahmen von EnerKlim beteiligten regionalen Fachakteure als eher nachrangig eingestuft. Die Ergebnisse zum Ende des Projektes zeigen, dass die Stakeholder mit dieser Einschätzung grundsätzlich nicht falsch gelegen haben. Dennoch oder gerade deswegen hat EnerKlim einen wichtigen Beitrag zur Energiewende in der Metropolregion Hannover Braunschweig Göttingen Wolfsburg geleistet.

Zum einen, weil die qualitative Annahme der beteiligten Akteure im Rahmen des Projektes zu quantitativem Wissen etabliert worden ist: Die Metropolregion besitzt auch im Klimawandel das Potenzial, den prognostizierten stromseitigen Energiebedarf im Jahr 2050 zu 100 % mit in der Region produzierter erneuerbarer Energie zu decken. Alleine die Windenergie kann davon selbst unter pessimistischen Annahmen zu Flächenverfügbarkeit bis zu etwa 80 % des Strombedarfs abdecken (ohne die Berücksichtigung des Großindustrie-Bedarfs). Insbesondere dann, wenn die bisher aus der Betrachtung des Potenzials ausgeschlossenen Waldflächen als Anlagenstandorte infrage kämen, könnte die Metropolregion sogar einen deutlichen Nettoüberschuss an erneuerbarer Energie erzeugen und andere, naturräumlich weniger begünstigte Regionen mitversorgen. Die klimawandelbedingten Unsicherheiten liegen dabei im mittleren bis oberen einstelligen Prozentbereich, sodass sie in den Entscheidungsprozessen aller betroffenen Akteure der regionalen Energiewende vielleicht nicht im Zentrum der Aufmerksamkeit stehen aber auch nicht gänzlich vernachlässigt werden sollten. Eine Entscheidungshilfe für Planungsprozesse stellt dabei das im Rahmen des Projektes erstellte Web-GIS mit Karten zum Klimawandeleinfluss auf die für erneuerbare Energieerzeugung relevanten klimatologischen Parameter dar. Zum anderen kann EnerKlim auch deswegen als erfolgreiches „regionales Leuchtturmvorhaben“ bezeichnet werden, weil die regionale Energiewende eben aus vielen kleinen Aufgaben besteht, die zunächst einzeln gelöst und anschließend zu einem großen Ganzen zusammengesetzt werden müssen. EnerKlim mag sich mit einem Nischenthema der Energiewende beschäftigt haben, aber nur dann, wenn auch diese kleineren Fragestellungen bearbeitet werden, kann eine wirklich ganzheitliche Strategie mit Aussicht auf Erfolg entstehen.

Letztlich darf nicht vernachlässigt werden, dass der Klimawandel nicht nur die Energieproduktion beeinflussen wird, sondern auch Auswirkungen auf den Energiebedarf haben wird. Dieser Umstand wird in den bisherigen regionalen und kommunalen Klimaschutzkonzepten gänzlich unberücksichtigt gelassen. Entscheidend ist hierbei, dass es durch die allmähliche Temperaturerhöhung (in Verbindung mit einer weiteren Verbesserung des Dämmstatus sowie bei der Effizienz der Heiztechnik) zu einer Reduktion des Heizbedarfs im Winter kommen wird. Demgegenüber steht ein erhöhter Kühlbedarf in den Sommermonaten, z.T. auch in heute noch nicht klimatisierten Büro-/Verwaltungsgebäuden oder im produzierenden Gewerbe. Bei der Quantifizierung des klimawandelbedingten Einflusses auf das Heizen & Kühlen für die regionale/kommunale Energiewende existiert ähnlich wie zu Beginn von EnerKlim noch methodisch-strategischer Entwicklungs- und Diskussionsbedarf. Folglich sollte EnerKlim nicht das Ende, sondern den Ausgangspunkt für weitere Aktivitäten im Themenkomplex „Energiewirtschaft & Klimaanpassung“ in der Metropolregion Hannover Braunschweig Göttingen Wolfsburg und andernorts darstellen.

Quellen

- Azorin-Molina C., Vicente-Serrano S. M., McVicar T. R., Jerez S., Sanchez-Lorenzo A., López-Moreno J.-I., Revuelto J., Trigo R. M., Lopez-Bustins J. A., Espírito-Santo F. (2014): Homogenization and assessment of observed near-surface wind speed trends over Spain and Portugal, 1961–2011, *Journal of Climate*, 27 (10): 3692–3712, <https://journals.ametsoc.org/doi/10.1175/JCLI-D-13-00652.1>
- BBSR (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung) (2016): Metropolregionen – Kooperation und Wettbewerb in Deutschland und Europa. Informationen zur Raumentwicklung Heft 5.2016, Bonn: BBSR
- BDB (2017): BDB-Index Version 2011, Betreiber-Datenbasis (BtrDB), <http://www.btrdb.de>, schriftliche Mitteilung
- Bett et al. (2014): Using the Twentieth Century Reanalysis to assess climate variability for the European wind industry. In: *Theoretical and Applied Climatology*, 1-20
- BKG (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie) (2016): GEO-Daten: ATKIS-Basis DLM (Digitales Landschaftsmodell) und DGM (Digitales Geländemodell)
- BKG (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie) (2017): Hintergrundkarte im WebGIS, Open Data, TopPlusOpen:
http://www.geodatenzentrum.de/geodaten/gdz_rahmen.gdz_div?gdz_spr=deu&gdz_akt_zeile=5&gdz_anz_zeile=1&gdz_unt_zeile=41&gdz_user_id=0
- Datenquellen: http://sg.geodatenzentrum.de/web_public/Datenquellen_TopPlus_Open.pdf
- Blotevogel Hans H. (2002): Deutsche Metropolregionen in der Vernetzung. In: *Informationen zur Raumentwicklung*, 2002 (6/7), 345-351
- Bundesregierung (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Kabinettsbeschluss vom 17.12.2008, http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das_gesamt_bf.pdf
- Bundesregierung (2011): Aktionsplan Anpassung der deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel, Kabinettsbeschluss vom 31.08.2011, http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/aktionsplan_anpassung_klimawandel_bf.pdf
- Bundesverband Deutscher Wasserkraft (BDW) e.V. (o.J.): Genehmigungsverfahren für Wasserkraftwerke, online unter: www.wasserkraft-deutschland.de/wasserkraft/genuehmigungsverfahren.html, zuletzt abgerufen am 25.08.16
- Businger J. A., Wyngaard J. C., Izumi Y., Bradley E. F. (1971): Flux-profile relationships in the atmospheric surface layer. *J. Atmos. Sci.* 28, 181-189

- BWE-WGB (Bundesverband Windenergie – Windgutachterbeirat)(2014): Empfehlungen zur Bewertung und Anwendung von Windpotenzialkarten V. 1, 17.09.2014, Kassel
- CONWX (2017): The dynamic portal engine and content management system, ConWX ApS,
<http://www.conwx.com/>
- Cortekar, J., Groth, M. (2013): Der deutsche Energiesektor und seine mögliche Betroffenheit durch den Klimawandel. Synthese der bisherigen Aktivitäten und Erkenntnisse, CSC Report 14, Climate Service Center, Deutschland
- DWD (Deutscher Wetterdienst) (2018): RCP-Szenarien: Die neusten RCP-Szenarien für den 5. IPCC Sachstandsbericht, Internetpräsenz (Zugriff 10.04.2018):
<https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/klimaszenarien/rcp-szenarien.html>
- EnergieAgentur.NRW (2016): WindPlanung.Navi. Wegweiser durch den Planungs- und Genehmigungsprozess von Windenergieanlagen, online unter: www.windplanung-navi.de/WindPlanungNavi.pdf, zuletzt besucht am 24.08.16.
- EURO-CORDEX (2018): Internetpräsenz des europäischen Zweigs der CORDEX-Initiative (Zugriff 10.04.2018):
<http://www.euro-cordex.net/060378/index.php.en>, <http://www.euro-cordex.net/060376/index.php.en>
- EMD (2017a): Programmpaket windPRO Version 3.1, EMD International A/S
- EMD (2017b): ConWx-Reanalyse, Stundenmittel der Windgeschwindigkeit in 10 m – 200 m Höhe an verschiedenen Gitterpunkten, EMD International A/S
- EMD (2017c): MERRA-2-Reanalyse, Stundenmittel der Windgeschwindigkeit in 50 m Höhe an umliegenden Gitterpunkten, EMD International A/S
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (2014): Leitfaden Biogasaufbereitung und –einsparung, online unter:
https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/l/e/leitfaden_biogaseinspeisung-druckweb.pdf, zuletzt besucht am 25.08.16.
- Fachdienst Bau und Regionalentwicklung Heide (2009): Handlungsleitfaden für Planungen von Photovoltaik-Freiflächenanlagen. Heide, online unter:
www.dithmarschen.de/media/custom/647_5439_1.PDF, zuletzt besucht am 24.08.16.
- Groß Günter (1993): Numerical simulation of canopy flows, Springer, Berlin
- Groß Günter (2002): The exploration of boundary layer phenomena using a nonhydrostatic mesoscale model, Meteorologische Zeitschrift, 11, 295-302
- Günther R. (2010): Ein mikroskaliges Modell: Aufbau – Eingangsdaten – Anwendung. Bachelorarbeit Institut für Meteorologie und Klimatologie, Universität Hannover

- IKM (Initiativkreis Europäische Metropolregionen in Deutschland) (2012): Regionales Monitoring, <http://www.deutsche-metropolregionen.org/aktivitaeten/monitoring/>
- Karnauskas et al. (2017): Southward shift of the global wind energy resource under high carbon dioxide emissions. *Nature Geoscience* (11), pages38–43
- Kawka, Rupert (2016): Einführung. In: *Metropolregionen – Kooperation und Wettbewerb in Deutschland und Europa*. Informationen zur Raumentwicklung Heft 5.2016, Bonn: BBSR
- KFM (Klimafolgenmanagement) (2011): Internetplattform des BMBF-Forschungsvorhabens “Regionales Management von Klimafolgen in der Metropolregion Hannover Braunschweig Göttingen Wolfsburg”, www.klimafolgenmanagement.de, Zugriff: 01.06.2018
- Koch et al. (2015): The impact of climate change and variability on the generation of electrical power. In: *Meteorologische Zeitschrift*, 24 (2), 173-188
- Landkreis Hildesheim (2012): Klimaschutzprogramm Landkreis Hildesheim. Gutes Klima – gutes Leben! Klimaschutzprogramm für den Landkreis Hildesheim, seine Städte und Gemeinden, Autoren: mensch und region Böhm Kleine-Limberg GbR, GEO-NET Umweltconsulting GmbH, Siepe Energieberatung
- LBEG (Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie) (Hrsg.) (2011): *Klimafolgenmanagement in der Metropolregion Hannover-Braunschweig-Göttingen*. Hannover: Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (Geoberichte, 18)
- LSN (Landesamt für Statistik Niedersachsen) (2015 und 2013): Einwohnerzahlen Deutschland aus Portal Niedersachsen, www.niedersachsen.de, https://www.niedersachsen.de/land_leute/land/zahlen_fakten/bevoelkerung/statistische-informationen-ueber-die-bevoelkerung-des-landes-niedersachsen-19947.html und aus Wikipedia
- Lu J., Vecchi G. A., Reichler T. (2007): Expansion of the Hadley cell under global warming, *Geophysical Research Letters*, 34 (6), <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2006GL028443>
- Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten (2014): Fahrplan für eine klimaangepasste und resiliente Metropolregion Bremen-Oldenburg; nordwest2050 Abschlussdokument, http://www.nordwest2050.de/nw2050_IROC2014_web6df4.pdf?obj=file&aid=8&id=447&unid=781a0c76c08ea80ae4ebf15dffdeaba7
- Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten (2016): Leitfaden zur Klimaanpassung: das Nachschlagewerk für Kommunen der Metropolregion Nordwest, <http://www.metropolregion-nordwest.de/inkoka>
- MKRO (= Ministerkonferenz für Raumordnung) (1995): *Raumordnungspolitischer Handlungsrahmen: Beschluss der Ministerkonferenz für Raumordnung in Düsseldorf am 8. März 1995*, Bonn: Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau

- ML (Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz / Referat für Raumordnung und Landesplanung) (2017, 2018): GEO-DATEN zu den Wind- und Biogasanlagen sowie Vorranggebieten für Windenergie, Shapes und WMS-Dienst des „Energieatlas Niedersachsen“
- Molod A., Takacs L., Suarez M., Bacmeister J. (2015): Development of the GEOS-5 atmospheric general circulation model: Evolution from MERRA to MERRA-2, *Geosci. Model Dev.*, 8, 1339-1356, doi:10.5194/gmd-8-1339-2015, 2015
- MU (Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz) (2012): Empfehlungen für eine niedersächsische Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels. Hannover: Regierungskommission Klimaschutz.
- MU (Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz) (2014): Leitbild einer nachhaltigen Energie- und Klimaschutzpolitik
- MU (Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz) (2016a): Szenarien zur Energieversorgung in Niedersachsen im Jahr 2050 – Gutachten, Autoren: Clausthaler Umwelttechnik-Institut GmbH (CUTEC), Energie-Forschungszentrum Niedersachsen, Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften (Fakultät Versorgungstechnik), Leibniz Universität Hannover (Institut für Umweltplanung)
- MU (Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz) (2016b): Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen an Land (Windenergieerlass)
- MU (Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz) (2017a): Niedersächsisches Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes und zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels (Niedersächsisches Klimagesetz – Nds. KlimaG) – Entwurf
- MU (Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz) (2017b): GEO-Daten zu den Naturschutzgebieten u.ä. online abrufbar (Zugriff 11.2017):
https://www.umwelt.niedersachsen.de/service/umweltkarten/natur_landschaft/besonders_geschuetzte_teile_von_natur_und_landschaft/naturschutzrechtlich-besonders-geschuetzte-teile-von-natur-und-landschaft-9065.html
- MU (Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz) (2017c): Landes-Raumordnungsprogramm Niedersachsen 2017. Hannover. Online abrufbar (Zugriff 10.2017):
http://www.ml.niedersachsen.de/startseite/themen/raumordnung_landesplanung/landesraumordnungsprogramm/historie_lrop/aenderung-lrop-verordnung-2017-150456.html
- MU (Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz) (2017d): Der Runde Tisch Energiewende Niedersachsen: die wesentlichen Ergebnisse. Hannover. Online abrufbar (Zugriff 12.2017): www.umwelt.niedersachsen.de/themen/energie/rundertisch/runder_tisch/runder-tisch-131885.html

- NLWKN (Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz) (2017): GEO-Daten zu Wasserschutzgebieten u.ä. online abrufbar (Zugriff 11.2017): www.nlwkn.niedersachsen.de/wasserwirtschaft/daten_karten/wasserbuch/downloadseite_wsg/downloadseite-schutz--und-gewinnungsgebiete-fuer-trink--und-grundwasser-sggw-46101.html
- Orlanski I. (1975): A rational subdivision of scale for atmospheric processes. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 56, 527-530
- Region Köln/Bonn (2017): Regionale Klimawandelvorsorgestrategie, <http://www.region-koeln-bonn.de/de/themen/integrierte-raumentwicklung/klimawandelvorsorge/index.html>
- Rgeo (Research group for earth observation) (2016): Auszubildende begegnen dem Klimawandel - klimA-ZUBI - Förderung von Bewusstsein und Handlungskompetenz zur betrieblichen Klimaanpassung in der Metropolregion Rhein-Neckar
- Stull R. B. (1988): An introduction to boundary layer meteorology, Springer Netherlands
- Svennigsen L. (2010): Proposal of an Improved Power Curve Correction, Poster Presentation, European Wind Energy Conference & Exhibition 2010, Warsaw, Poland
- UBA (Umweltbundesamt) (Hrsg.) (2013): Methode einer integrierten und erweiterten Vulnerabilitätsbewertung: Konzeptionell-methodische Grundlagen und exemplarische Umsetzung für Wasserhaushalt, Stromerzeugung und energetische Nutzung von Holz unter Klimawandel, Dessau-Roßlau: UBA (Climate Change, 13/2013)
- UBA (Umweltbundesamt) (Hrsg.) (2015): Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel, Dessau-Roßlau: UBA (Climate Change, 24/2015)
- Vautard R., Cattiaux J., Yiou P., Thépaut J. N., Ciais, P. (2010): Northern Hemisphere atmospheric stilling partly attributed to an increase in surface roughness, *Nature Geoscience*, 3(11), 756
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) (1992): Regionale Ausbreitung von Luftverunreinigungen über komplexem Gelände. Modellierung von Windfeldern 1, VDI-Richtlinie VDI 3783, Blatt 6
- VDI (Verein Deutscher Ingenieure) (2017): Umweltmeteorologie. Prognostische mesoskalige Windfeldmodelle. Evaluierung für dynamisch und thermisch bedingte Strömungsfelder, VDI-Richtlinie VDI 3783, Blatt 7.
- WWF Deutschland (2009): Modell Deutschland. Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken, Autoren: Prognos AG, Öko-Institut e.V.
- ZALF (Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V.) (2014): INKA BB – Klimawandel und Innovation | Innovationsnetzwerk Klimaanpassung Berlin Brandenburg, <http://project2.zalf.de/inkabb/publikationen/abschlussbericht>

ZGB (Zweckverband Großraum Braunschweig) (2013): Regionales Energie und Klimaschutzkonzept für den Großraum Braunschweig – REEnKCO2. Band 2 – Abschlussbericht, Autoren: KoRiS - Kommunikative Stadt- und Regionalentwicklung, e4-Consult Ingenieurbüro, Planungsgruppe Umwelt