
IASS DISCUSSION PAPER

Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS)

Potsdam, November 2019

Ohne Windenergie keine Energiewende

**Die 1000 Meter-Abstandsregelung macht
Windenergieausbau unmöglich und stellt damit
den Kohleausstieg in Deutschland in Frage**

**Analyse und Einschätzung der Konsequenzen für
die Ausbauziele der Bundesregierung**

Tim Tröndle, Diana Süsser, Johan Lilliestam



Zusammenfassung

Die Windenergie ist das Rückgrat der deutschen Energiewende. Im Gesetzesentwurf zum Kohleausstieg des Bundesministerium für Wirtschaft und Energie wird für den weiteren Ausbau der Windenergie ein pauschaler Mindestabstand von 1000 m von Windkraftanlagen zu Wohngebäuden vorgeschlagen. Mit Hilfe einer Datenanalyse haben wir untersucht, was eine Abstandsregelung für die Erreichung der Windenergieziele für 2030 und 2050 bedeuten und wie sich diese auf die regionalen Zubaumöglichkeiten auswirken. Im Einklang mit anderen aktuellen Studien zeigt unsere Analyse, dass ein pauschaler Mindestabstand von 1000 m den weiteren Ausbau von Windenergie praktisch komplett zum Erliegen bringen würde und de facto kein weiterer Zubau mehr möglich ist. Unsere Analyse zeigt auch, dass Bundesländer und Gemeinden von dem Mindestabstand dabei unterschiedlich stark betroffen sind. Die Ergebnisse unserer Untersuchung demonstrieren, dass sich das Windkraftpotential bei einem pauschalen Mindestabstand zwischen Windkraftanlagen und Wohngebäuden von 1000 m gegenüber 600 m deutschlandweit um 65% reduziert, auf 35-52 GW. Bei 800 m ist es vorstellbar, dass das deutsche Windkraftziel von bis zu 86 GW Windkraft bis 2030 zu erreichen ist. Bei 600 m Mindestabstand kann die Windkraft an Land zum tragenden Pfeiler der zukünftigen klimaneutralen Stromversorgung ausgebaut werden und somit auch die Ausbauziele für Windenergie bis 2050 erreicht werden. Wie bisher muss jedoch in jedem Einzelfall gemäß Immissionsschutzgesetz und der Technischen Anleitung zum Schutz vor Lärm geprüft werden, was ein verträglicher Mindestabstand ist. Die im Gesetzesentwurf verankerte Maßnahme zur Festlegung von 1000 m Mindestabstand zwischen Windkraftanlagen und Wohngebäuden gefährdet unserer Studie zufolge den weiteren Ausbau der Windenergie. Damit gefährdet diese Regelung die Energiewende - und insbesondere gefährdet sie den Kohleausstieg, da sich der durch Kohle erzeugte Strom so schwerer durch erneuerbaren Strom ersetzen lässt. Mit dieser Mindestabstandsregelung steht auch das 2030-Klimaziel der Bundesregierung auf der Kippe: der Windkraftausbau muss beschleunigt, nicht wie mit der 1000 m-Regelung verhindert werden. Denn nur mit Windkraft kann die Energiewende gelingen.

Summary

Wind energy is the backbone of the German energy transition (German: Energiewende). The draft legislation for the phase-out of coal-fired power generation recently published by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy proposes a general minimum distance of 1000 m between wind turbines and residential buildings. We have performed a data analysis to investigate the impact of such a regulation for the fulfilment of the German wind energy expansion targets for 2030 and 2050, and what it would imply for regional expansion options. In line with other current studies, our analysis shows that a general minimum distance of 1000 m would stop efforts to expand wind energy completely. Furthermore, we show how the German federal states and municipalities would be differently affected by a minimum distance. The results of our investigation demonstrate that an increase of the distance between wind turbines and residential houses from 600 m to 1000 m would reduce the national wind energy potential by 65% to 35-52 GW. The German wind energy target for 2030 – a wind energy expansion of up to 86 GW – could be met with a distance of 800 m. A minimum distance of 600 m would allow onshore wind energy generation to become an essential pillar of a future climate-neutral power supply. This would enable Germany to achieve its 2050 target for wind energy expansion. As was previously the case, a tolerable distance between wind turbines and residential buildings must be assessed in every single case in line with the German Immission Control Law and the Technical Guide for the Protection from Noises. According to our study, the introduction of a minimum distance of 1000 m between wind turbines and residential buildings, as established in the draft legislation, puts the further expansion of wind energy at risk. Consequently, the regulation threatens to undermine the German energy transition and, especially, the German coal phase-out, because it would become much harder to replace the current coal power with renewable electricity. The minimum distance regulation proposed here would effectively put the 2030 climate target out of reach. The expansion of wind energy must be accelerated as the energy transition can only be achieved with this vital component.

Inhaltsverzeichnis

1.	Das Klimapaket und die Windenergie	5
1.1	Das Klimapaket der Bundesregierung	5
1.2	Windenergie - das Rückgrat der Energiewende	6
2.	Abstandsregelung zwischen Windkraftanlagen und Wohngebäuden	7
2.1	Der Gesetzesentwurf zum Kohleausstieg - die 1000 Meter Abstandsregelung	7
2.2	Bisherige Regelungen des Abstands zwischen Windkraftanlagen und Wohngebäuden	7
3.	Ergebnisse: Mit 1000 m Mindestabstand können die Ausbauziele nicht erreicht werden	9
3.1	Methode	9
3.2	Ergebnisse unserer Datenanalyse	10
4.	Schlussfolgerungen	13
5.	Literatur	14
6.	Zu der Autorin, den Autoren und der Finanzierung	17

1. Das Klimapaket und die Windenergie

1.1 Das Klimapaket der Bundesregierung

Derzeit herrscht große Aufregung um das deutsche Klimapaket. Mit diesem Bündel an Politikmaßnahmen will die Bundesregierung die Weichen für die Klimaziele 2030 stellen, die durchaus ambitioniert sind: 55% Emissionsminderung, verglichen mit 1990, und 65% Anteil der erneuerbaren Energien am Strommix (Bundesregierung, 2019a). Um dies zu erreichen, beinhaltet das Paket unter anderem Maßnahmen für einen CO₂-Preis für die Transport- und Wärmesektoren, den Ausstieg aus der Kohleverstromung bis 2038, sowie Maßnahmen, um die Akzeptanz für neue Windparks zu steigern (Bundesregierung, 2019b).

Seit das Klimapaket nach nächtlichen Verhandlungen im September 2019 öffentlich wurde, hat die Kritik daran zugenommen. Vor allem fokussiert sich die Kritik an den – in den Augen vieler Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern sowie Expertinnen und Experten – zu niedrigen CO₂-Preis von 10 (2021) bis 35 €/Tonne (2025), der deutlich niedriger ist als von diversen Expertengremien vorgeschlagen (Edenhofer et al., 2019; Feld et al., 2019). Mit diesem niedrigen CO₂-Preis, so die Kritikerinnen und Kritiker, können keine Steuerungswirkungen entfaltet werden (Scientists for Future, 2019): Verbraucherinnen und Verbraucher werden so nicht auf klimafreundliche Mobilitätsformen oder klimaschonende Heizungen umstellen. Die Sektoren Verkehr und Gebäude werden so auch weiterhin hinterherhinken, was die Reduktion von Treibhausgasemission betrifft und somit die Zielerreichung 2030 gefährden.

In diesem Diskussionspapier beleuchten wir einen weiteren Aspekt, der unserer Einschätzung nach deutlich Folgeschwerer ist, als der tiefe CO₂-Preis: die Auswirkungen der vorgeschlagenen 1000 m-Abstandsregelung für neue Windkraftanlagen.

Zwei aktuelle Studien (Umweltbundesamt, 2019; Navigant und Fraunhofer ISE, 2019) kommen zu dem Ergebnis, dass eine pauschale Mindestabstandsregelung von 1000 m die Flächenverfügbarkeit um bis zu 50% reduzieren würde. Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie beauftragte Gutachten von Navigant und Fraunhofer IEE (2019) zeigt für verschiedene Hauptvarianten eine Reduktion der Flächenverfügbarkeit um 10% bis 40% mit großen regionalen Unterschieden. Auch das Umweltbundesamt (UBA, 2019) legt in seiner Position zu Auswirkungen von Mindestabständen zwischen Windkraftanlagen und Siedlungen auf die aktuelle Flächenkulisse dar, dass ein Mindestabstand von 1000 m die aktuelle Flächenverfügbarkeit um 20% bis 50% reduziert und sich der Anteil von Flächen mit repoweringfähigen Windkraftanlagen auf unter 35% verringern würde. Beide Studien kommen daher zu dem Ergebnis, dass eine solche 1000 m Mindestabstandsregelung einem vorläufigen Ende des Windenergieausbaus gleich zu setzen ist.

Wenn es durch die geplante Abstandsregelung in Deutschland kaum noch ungenutztes Potential für neue Windkraft an Land gäbe, so stellt dies aus unserer Sicht die wichtigste Klimapolitikmaßnahme aus dem Klimapaket – den Kohleausstieg – in Frage: wenn der Kohlestrom nicht durch erneuerbaren Strom ersetzt wird, ist fraglich, ob die letzten Kohlekraftwerke überhaupt abgeschaltet werden können. Damit wäre dann die Sinnhaftigkeit von Maßnahmen, wie einem -Preis für Emissionen in den Verkehrs- und Wärmesektoren, in Frage zu stellen. Denn nur wenn der Strom erneuerbar ist, ist beispielsweise Elektromobilität auch klimaneutral. Somit steht und fällt das Klimapaket mit dem weite-

ren Ausbau der erneuerbaren Energien im Stromsektor und vor allem mit der wichtigsten einheimischen Energiequelle in Deutschland: der Windkraft.

Im Folgenden analysieren wir die vorgeschlagene Mindestabstandsregelung von 1000 m sowie andere mögliche Abstandsregelungen zwischen Windkraftanlagen und Siedlungen und deren Auswirkungen auf das Potential der Windkraft an Land in Deutschland.

1.2 Windenergie - das Rückgrat der Energiewende

Der Ausbau der erneuerbaren Energien ist ein zentrales Element der Energiewende und einer klimaschonenden und sicheren Energieversorgung in Deutschland. Bereits heute trägt die Windenergie mit rund 16% die Hälfte des durch erneuerbare Energien produzierten Bruttostroms bei (BMWi, 2019a).

Die Bundesregierung hat das Ziel gesetzt, bis 2030 den Anteil von erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch auf 65% zu steigern (Bundesregierung, 2019b). Für die Windenergie an Land bedeutet dies, je nach dem Szenario für die energiewirtschaftlichen Entwicklung, ein Zubau von 74-86 GW installierte Leistung bis 2030 (BNA, 2018), von etwa 53 GW heute (Statistika, 2018). Auch für die Zeit nach 2030 wird die Windkraft eine zentrale Säule einer klimaschonenden und irgendwann klimaneutralen Stromversorgung in Deutschland sein (Matthes et al., 2018; IRENA, 2018; Henning und Palzer, 2013). Ohne Windenergie ist der Kohleausstieg und damit die Energiewende als Ganzes kaum realisierbar.

Der Ausbau der Windenergie an Land ist jedoch eingebrochen (Abb. 1). Als Hauptgründe gelten lange Genehmigungsverfahren, zu wenig ausgewiesene Flächen und viele Klageverfahren gegen Windkraftanlagen (Handelsblatt, 2019; Bundesverband WindEnergie, 2018). Schon heute sind die Flächen für Windkraftanlagen an Land eine knappe Ressource.

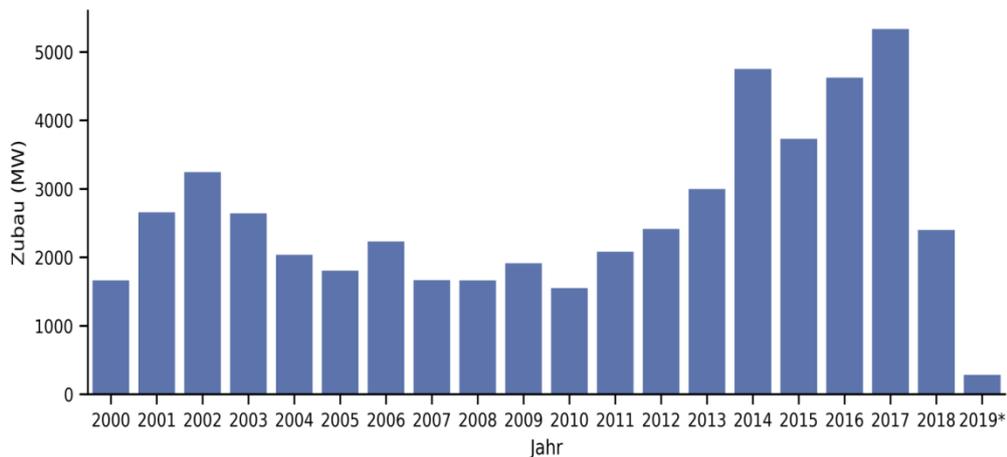


Abbildung 1: Jährlicher Brutto-Zubau von Windkraftanlagen.*1. Halbjahr 2019.
Quelle: Bundesverband WindEnergie

2. Abstandsregelung zwischen Windkraftanlagen und Wohngebäuden

2.1 Der Gesetzesentwurf zum Kohleausstieg - die 1000 Meter Abstandsregelung

Der aktuelle Referentenentwurf des BMWI für das Gesetz zur Reduzierung und zur Beendigung der Kohleverstromung und zur Änderung weiterer Gesetze (BMWI, 2019b) (kurz: Kohleausstiegsgesetz) sieht vor, dass künftig für neu zu errichtende und repowerte Windkraftanlagen ein Mindestabstand von 1000 m gelten soll. Diese Abstandsregelung betreffe sowohl reine und allgemeine Wohngebiete, als auch dörfliche Strukturen mit signifikanter Wohnbebauung, auch wenn sie nicht als solche ausgewiesen sind; Medienberichten zufolge soll die Regelung auch dann gelten, wenn fünf oder mehr Gebäude zusammenstehen.

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie begründet die Maßnahme zur Umsetzung der Abstandsregelung zwischen Windkraftanlagen und Wohnbebauung mit dem Ziel, die Akzeptanz beim Windausbau stärken zu wollen (BMWI, 2019c). Bisher lässt sich aber kein bedeutsamer Zusammenhang zwischen Abstand und Akzeptanz sowie Stresswirkungen von Windkraftanlagen nachweisen, wenn der geltende Immissionsschutz eingehalten wird (Hübner und Pohl, 2015). Auch laut Deutschem Bundestag (2018) ist nicht belegt, dass die Akzeptanz mit zunehmendem Abstand zu Windparks zunimmt. Vielmehr wird Akzeptanz durch verschiedene Formen von Beteiligung gebildet (Fachagentur Windenergie an Land, 2019a), die mögliche vielseitige Nutzen für die Menschen und Gemeinden kreieren können (Süsser und Kannen, 2017).

Insgesamt fußt die Abstandsregelung also eher auf Annahmen als auf empirisch nachweisbaren Zusammenhängen, weswegen wir in dieser Studie auch die Auswirkungen von kürzeren Mindestabständen untersuchen – Abstände, die als vertretbar gelten und in verschiedenen Bundesländern Anwendung fanden, wie nachfolgend dargelegt.

2.2 Bisherige Regelungen des Abstands zwischen Windkraftanlagen und Wohngebäuden

Bisher werden Abstandbestimmungen zwischen Windkraftanlagen und Siedlungsgebieten durch das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) geregelt und durch die Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) konkretisiert. Anwohnerinnen und Anwohnern sollen somit vor schädlichen Umwelteinwirkungen und unzumutbaren Beeinträchtigungen, wie Schall oder Schattenschurf, geschützt werden. Die Immissionsrichtwerte und optisch bedrängende Wirkung auf Anwohnerinnen und Anwohner werden im Rahmen des Genehmigungsverfahrens für Windkraftanlagen für den jeweiligen Einzelfall geprüft.

Basierend auf wissenschaftlichen Studien hat das Umweltbundesamt (UBA, 2016) ein Positionspapier zu möglichen gesundheitlichen Effekten von Windkraftanlagen veröffentlicht. Die Infraschallbelastung durch Windkraftanlagen ist nach heutigem Stand der Forschung im Vergleich mit anderen

(natürlichen und anthropogenen) Quellen gering. Bereits ab einem Abstand von 150 m liegt der Infraschall unterhalb der Wahrnehmungsgrenze des Menschen (LUWB, 2019). Gemäß aktueller Rechtsprechung liegt in der Regel keine optische Störung vor, wenn der Abstand zwischen Windkraftanlage und Wohnbebauung mindestens dem Dreifachen der Gesamthöhe der Windkraftanlage entspricht. Bei einer Windkraftanlage von 200 m entspricht dies einem Abstand von 600 m; aus diesem Grund nehmen wir 600 m als den kürzesten akzeptablen Mindestabstand in unserer Analyse an.

Bundesweit gibt es mittlerweile nahezu flächendeckend eine planungsrechtliche Steuerung des Ausbaus der Windenergie durch Ausweisung entsprechender Flächen. Bei Abständen wird in der Regel zwischen Wohngebieten im Innenbereich und Einzelwohngebäuden sowie Splittersiedlungen im Außenbereich differenziert. Die Abstände zur Wohnbebauung im Innenbereich betragen üblicherweise zwischen 800 und 1000 m und im Außenbereich zwischen 500 und 800 m (UBA, 2019), wobei die einzelnen Bundesländer unterschiedliche Regelungen haben. So betragen die Abstände zwischen Windkraftanlagen und allgemeinen oder reinen Wohngebäuden je nach Region 400-1100 m, ausgenommen Bayern, wo ein Mindestabstand von ca. 2000 m gilt. Für Einzelwohngebäude und Splittersiedlungen variieren die Abstände zwischen 300 und 1000 m (Fachagentur Windenergie, 2019b).

3. Ergebnisse: Mit 1000 m Mindestabstand können die Ausbauziele nicht erreicht werden

3.1 Methode

In dieser Studie untersuchen wir, wie der Mindestabstand von Windkraftanlagen zu Siedlungsgebieten das Windpotenzial einschränkt. Um dies zu zeigen, und auch zu belegen, welcher Mindestabstand einen weiteren Ausbau hin zur Zielerreichung 2030 und 2050 ermöglichen könnte, untersuchen wir das Potential mit Mindestabständen 600-1200 m, in 200 m-Schritten. In unserer Untersuchung bestimmen wir das technische Potenzial, also das Potenzial, das ausschließlich durch technisch-geografische Bedingungen und durch die Mindestabstandsregel eingeschränkt ist. Da wir explizit keine gegebenen Flächennutzungspläne verwenden, zeigen wir mit unserer Methode das maximal mögliche Windenergiepotential. Das gleiche Modell wurde für weitere Potentialstudien verwendet und veröffentlicht (siehe Tröndle et al., 2019¹).

Wir bestimmen das verfügbare Flächenpotenzial anhand von Satellitendaten. Wir legen ein 10 Bogensekunden-Raster (~300 m) über Deutschland und bestimmen für jede Zelle, ob und zu welchem Teil sie für Windkraft nutzbar ist. Wir wenden dazu vier Ausschlusskriterien an: aktuelle Landnutzung und Bodenbedeckung (European Space Agency, 2010), Höhenprofil (Reuter et al., 2007), Naturschutz (UNEP-WCMC und IUCN, 2018) und Siedlungsflächen (Ferri et al., 2017). Für Siedlungsflächen nutzen wir einen Datensatz mit einer hohen räumlichen Auflösung von 2,5 m, die uns erlaubt, Mindestabstände zu Gebäuden akkurat abzubilden. Wir bestimmen damit den Anteil jeder 300x300 m-Zelle, der für Windkraft zur Verfügung steht. In der Analyse erlauben wir Windkraftenerzeugung auf allen Freiflächen, die nicht naturgeschützt sind und deren Steigung weniger als 20° beträgt, und nicht innerhalb vom Mindestabstand (600-1200 m) liegen.

Anhand des resultierenden Flächenpotenzials schätzen wir das Potenzial für installierbare Windkraft ab. Dabei gehen wir davon aus, dass alle Flächen gleichwertig sind und nutzen eine proportionale Konstante. Wir nehmen an, dass auf jedem Quadratkilometer 10 ± 2 MW Windkraft installiert werden können (McKenna et al., 2015). Die Unsicherheit in der Schätzung des installierbaren Potenzials ergibt sich aus der vereinfachenden Annahme der Gleichwertigkeit der Flächen und der Art der installierten Windturbinen. Darüber hinaus beeinträchtigen dicht stehende Windturbinen die gegenseitige Stromproduktion negativ (Adaramola and Krogstad, 2011), weswegen ein größerer Abstand zwischen den Turbinen durchaus sinnvoll sein kann.

¹ Die Ergebnisse als interaktive Karte zum Potential für erneuerbaren Strom auf nationaler, regionaler und kommunaler Ebene in Europa: <https://timtroendle.github.io/possibility-for-electricity-autarky-map/>.

3.2 Ergebnisse unserer Datenanalyse

Unsere Ergebnisse zeigen, dass ein Mindestabstand von 1000 m das Potential für Windkraft an Land in Deutschland sehr stark einschränkt (Abbildung 2). Von 600 m anfangend sinkt das Potential um etwa 40% mit jeder Erhöhung des Mindestabstandes um 200 m. Bei 1000 m Mindestabstand lassen sich 35-52 GW Windkraft Deutschlandweit installieren - weniger als die bereits installierte Leistung. Mit dieser Abstandsregelung lässt sich die Windkraft in Deutschland also nicht nennenswert steigern - sie würde eher über Zeit sinken, da die Regelung auch kein Repowering von alten Anlagen am gleichen Ort erlaubt, wenn sich diese näher als 1000 m zu Wohngebäuden befinden.

Bei geringeren Mindestabständen ist das vorhandene Potential erheblich höher. Bei 800 m lassen sich etwa 60-90 GW installieren, was die heutige installierte Leistung übersteigt und die Erfüllung des 2030-Ziels von bis zu 86 GW der Bundesregierung ermöglichen könnte. Dieses Ziel lässt sich bei einem 800 m-Mindestabstand aber nur dann erfüllen, wenn das Potential komplett ausgeschöpft wird und auch Standorte mit unterdurchschnittlicher oder sogar schlechter ökonomischer Eignung eingeschlossen werden. Ein Mindestabstand von 600 m erlaubt einen Ausbau von 100-150 GW und ermöglicht damit die Erreichung des 2030-Ziels aber auch einen weiteren starken Ausbau der Windkraft als Eckpfeiler der zukünftigen, klimaneutralen Stromversorgung in Deutschland. Wie oben dargelegt lässt sich eine 600 m-Mindestabstandsregelung als Annäherung an den möglichen Minimalabstand aus dem Bundesimmissionsschutzgesetz und der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm ableiten.

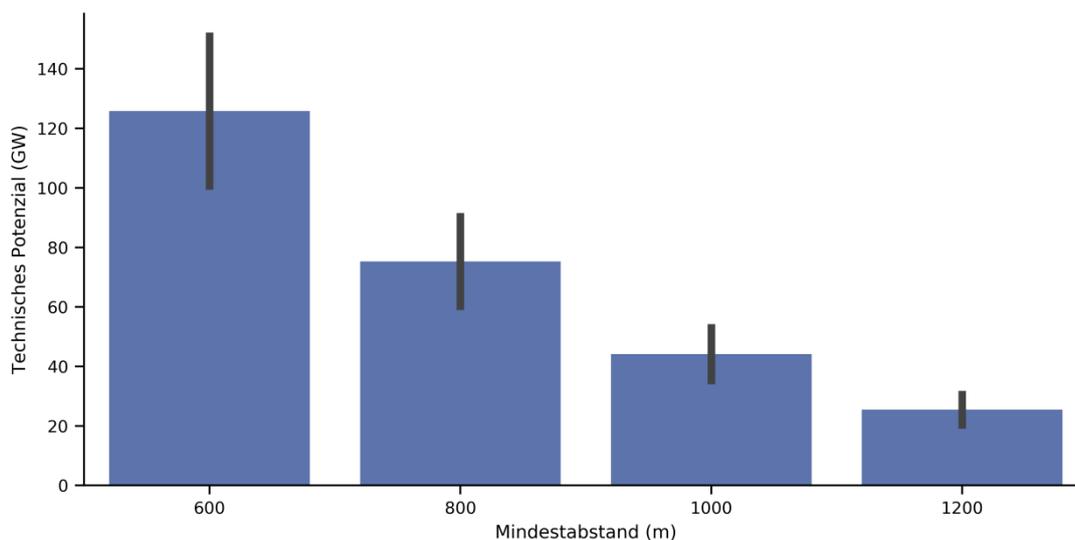


Abbildung 2: Nationales, technisches Potential von Windkraft für unterschiedliche Mindestabstände zu Wohngebäuden. Die dünnen Balken kennzeichnen das Intervall, das sich aus der Unsicherheit der installierbaren Windleistung pro Fläche ergibt.

Unsere Analyse verdeutlicht darüber hinaus, dass Bundesländer und Gemeinden von einem Mindestabstand unterschiedlich stark betroffen wären (Abbildung 3). Auf Bundeslandebene behalten nur zwei Flächenländer (Brandenburg, Sachsen-Anhalt) mehr als 50% ihrer Fläche bei einem Mindestabstand von 1000 m. Von den Flächenländern am stärksten betroffen sind das Saarland und Nordrhein-Westfalen, aber hier ist das Potential auch bei 600 m Mindestabstand sehr begrenzt, was die prozentuale Veränderung grösser erscheinen lässt. Auf Länderebene sehen wir, dass es einen Unterschied zwischen Süd und Nord gibt: die 1000 m-Regelung beschränkt das Potential deutlich stärker im dicht besiedelten Süden als im Norden (außer Schleswig-Holstein; Abbildung 3a).

Auf der Gemeindeebene (Abbildung 3b) wird deutlich, wie stark die regionalen Unterschiede sind. Während im Osten - vor allem in Brandenburg - Potentiale auch bei 1000 m Mindestabstand erhalten bleiben (53% des 600 m-Potentials), sind im Westen an Ruhr, Rhein und Main bereits bei 600 m sehr große Flächen vom Windkraftausbau ausgeschlossen, da die Besiedlungsdichte zu hoch ist. Durch die Unterschiede in Bebauungsstruktur sind also Norden und Osten stärker von einem 1000 m-Mindestabstand betroffen, da im Westen (und teilweise im Süden) viel Land für den Windkraftausbau ausgeschlossen ist, selbst bei geringen Mindestabständen.

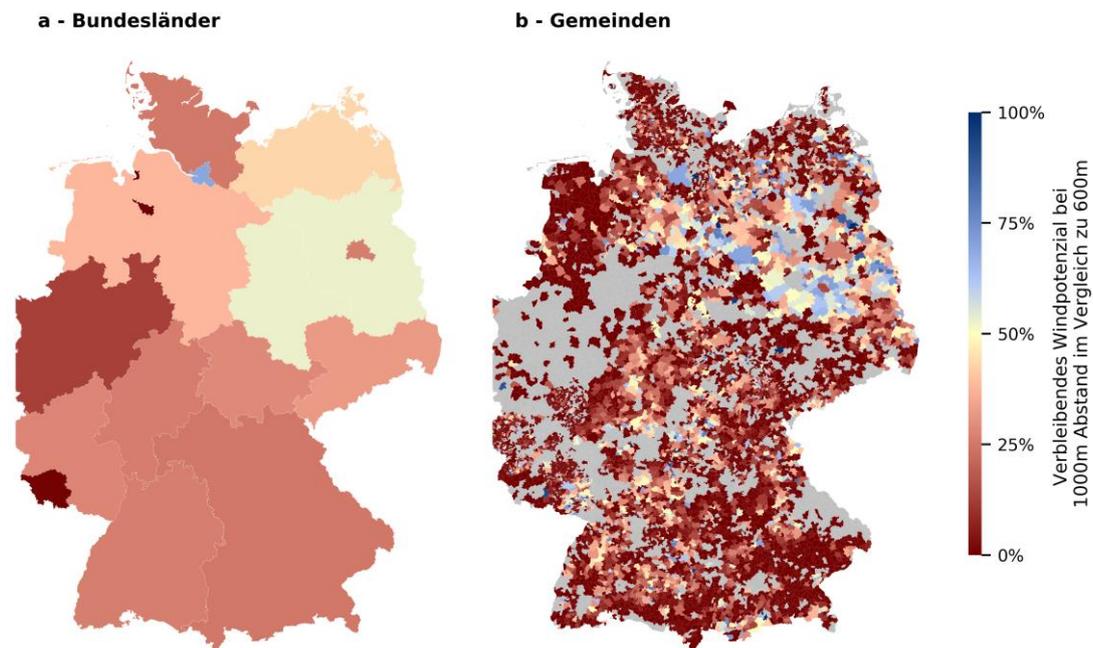


Abbildung 3: Verbleibendes Potential (% der verfügbaren Fläche) für Bundesländer (a) und Gemeinden (b), wenn ein Mindestabstand von 1000 m statt 600 m zwischen Windturbinen und Gebäuden eingehalten wird. Graue gefärbte Gemeinden besitzen bereits bei 600 m Mindestabstand kein Potenzial zur Windkraftherzeugung.

Allerdings sehen wir auch innerhalb des am wenigsten betroffenen Bundeslandes, Brandenburg, große Unterschiede (Abbildung 4). Einige brandenburgische Gemeinden haben bereits bei 600 m Mindestabstand kein Potenzial für Windkraft. Oft sind dies Gemeinden in Naturschutzgebieten, wie zum Beispiel Buckow in der Märkischen Schweiz oder Burg im Spreewald. Allerdings zeigt sich auch hier, dass manche Gemeinden das Windenergiepotential bei 1000 m Mindestabstandsregelung komplett verlieren. Dies ist in Gemeinden mit hoher oder mittlerer Bevölkerungsdichte der Fall, zum Beispiel in Potsdam, Prenzlau oder Welzow. In Gemeinden mit niedriger Bevölkerungsdichte, wozu unter anderem Grünheide, Siedichum und das Milower Land zählen, ist das Windkraftpotential unter einer 1000 m Abstandsregel nur leicht eingeschränkt.

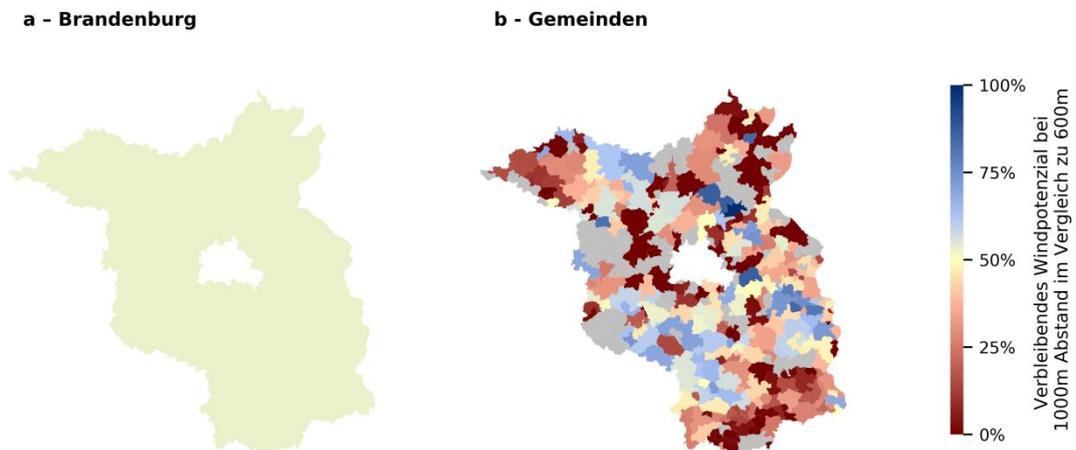


Abbildung 4: Verbleibendes Potential (% der verfügbaren Fläche) für Brandenburg insgesamt (a) und alle Gemeinden in Brandenburg (b), wenn ein Mindestabstand von 1000 M statt 600 m zwischen Windturbinen und Gebäuden eingehalten wird. Grau gefärbte Gemeinden besitzen bereits bei 600 m Mindestabstand kein Potenzial zur Windkraftherzeugung.

4. Schlussfolgerungen

Unsere Analyse zeigt, dass die vorgeschlagene 1000 m Mindestabstandsregelung zwischen Windkraftanlagen und Wohngebäuden den weiteren Ausbau der Windkraft an Land in Deutschland im Wesentlichen verhindern wird: mit dieser Regelung ist das verbleibende Potential bereits verbaut.

Die Ergebnisse unserer Untersuchung zeigen, dass sich das Windkraftpotential bei einem pauschalen Mindestabstand zwischen Windkraftanlagen und Wohngebäuden von 1000 m gegenüber 600 m deutschlandweit um 65% reduziert, auf 35-52 GW. Bei kleineren Mindestabständen ist das verbleibende Potential grösser: bei 800 m ist es vorstellbar, dass das deutsche Windkraftziel von bis zu 86 GW Windkraft bis 2030 zu erreichen ist. Bei 600 m Mindestabstand ist das 2030-Ziel nicht betroffen und es gibt die Möglichkeit, die Windkraft an Land auch weiterhin zum tragenden Pfeiler der zukünftigen klimaneutralen Stromversorgung auszubauen. Es ist davon auszugehen, dass ein Abstand von 600 m nicht "zu kurz" ist, aber was genügend weit ist, muss wie bisher auch in jedem Einzelfall gemäß Immissionsschutzgesetz und der Technischen Anleitung zum Schutz vor Lärm geprüft werden. Wenn also aus Sicht der Bundesregierung ein pauschaler Mindestabstand nötig ist, zeigt unsere Analyse, dass 600 m ein menschen- und klimaschutzverträglicher Mindestabstand sein könnte: als Ausgangspunkt, der nicht den Windkraftausbau generell gefährdet, aber erlaubt, in begründeten Einzelfällen größere Schutzabstände zu verlangen.

Unsere Analyse zeigt auch, dass Bundesländer und Gemeinden von dem Mindestabstand dabei unterschiedlich stark betroffen sind. Es gibt ein Gefälle zwischen Nord und Süd, wobei das Potential im dicht besiedelten Süden von der 1000 m-Regelung stärker betroffen ist. Zwischen Ost und West wären Brandenburg und Sachsen-Anhalt von der Abstandsregelung am wenigsten Betroffen, während große Teile von Nordrhein-Westfalen schon bei 600 m Mindestabstand vom Windkraftausbau ausgeschlossen sind. Allerdings: selbst in den weniger betroffenen Bundesländern werden fast 50% der Flächen, die bei 600 m verfügbar sind, bei einer 1000 m-Regelung ausgeschlossen.

Die im Gesetzesentwurf verankerte Maßnahme zur Festlegung von 1000 m Mindestabstand zwischen Windkraftanlagen und Wohngebäuden gefährdet unserer Studie zufolge den weiteren Ausbau der Windenergie. Somit gefährdet diese Regelung die Energiewende - und insbesondere den Kohleausstieg, da der durch Kohle erzeugte Strom sich so schwerer durch erneuerbaren Strom ersetzen lässt. Somit steht mit dieser Mindestabstandsregelung auch das 2030-Klimaziel der Bundesregierung auf der Kippe: der Windkraftausbau muss beschleunigt und nicht wie mit der 1000 m-Regelung verhindert werden, denn nur mit Windkraft kann die Energiewende gelingen.

5. Literatur

- Adaramola, M.S., Krogstad, P.-Å., 2011. Experimental investigation of wake effects on wind turbine performance. *Renewable Energy* 36, 2078–2086. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.01.024>
- Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNA), 2018. Der Bericht ist zum Download verfügbar über https://www.netzausbau.de/SharedDocs/Downloads/DE/2030_V19/SR/Szenariorahmen_2019-2030_Genehmigung.pdf?__blob=publicationFile%201673578 (Zugriff 18.11.2019)
- Bundesregierung, 2019a. Klimaschutzprogramm 2030 [WWW Webseite]. URL <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzprogramm-2030-1673578> (Zugriff 18.11.2019)
- Bundesregierung, 2019b. Eckpunkte für das Klimaschutzprogramm 2030 [WWW Dokument]. URL <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975232/1673502/768b67ba939c098c994b71c0b7d6e636/2019-09-20-klimaschutzprogramm-data.pdf?download=1> (Zugriff 18.11.2019)
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), 2019a. Erneuerbare Energien [WWW Webseite]. URL <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/erneuerbare-energien.html> (Zugriff 18.11.2019)
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), 2019b. Referentenentwurf des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Gesetz zur Reduzierung und zur Beendigung der Kohleverstromung und zur Änderung weiterer Gesetze (Kohleausstiegsgesetz). [WWW Dokument]. URL <https://www.klimareporter.de/images/dokumente/2019/11/referentenentwurf-kohleausstiegsgesetz-11-11-2019.pdf> (Zugriff 18.11.2019)
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), 2019c. Bundeswirtschaftsministerium legt Arbeitsplan zur Stärkung der Windenergie an Land vor [WWW Webseite]. URL <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2019/20191007-bmwi-legt-arbeitsplan-zur-staerkung-der-windenergie-an-land-vor.html> (Zugriff 18.11.2019)
- Bundesverband WindEnergie, 2018. Zielverfehlung beim Ausbau der Windenergie gefährdet [WWW Webseite]. URL <https://www.wind-energie.de/presse/pressemitteilungen/detail/zielverfehlung-beim-ausbau-der-windenergie-gefaehrdet-energiewendeziele-und-internationale-wettbewerb/> (Zugriff 18.11.2019)
- Deutscher Bundestag, 2018. Kleine Anfrage [WWW Dokument]. URL <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/19/026/1902616.pdf>
- Edenhofer, O., Flachsland, C., Kalkuhl, M., Knopf, B., Pahle, M., 2019. Optionen für eine CO₂-Preisreform. MCC-PIK-Expertise für den Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung. Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC). Der Bericht ist zum Download verfügbar über https://www.mccb-berlin.net/fileadmin/data/B2.3_Publications/Working%20Paper/2019_MCC_Optionen_f%C3%BCr_eine_CO2-Preisreform_final.pdf (Zugriff 18.11.2019)

- European Space Agency, 2010. GlobCover 2009 [WWW Dokument]. URL http://due.esrin.esa.int/page_globcover.php (Zugriff 9.09.17).
- Fachagentur Windenergie an Land, 2019a. Umfrage zur Akzeptanz der Windenergie an Land Herbst 2019. Der Bericht ist zum Download verfügbar über https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/Veroeffentlichungen/FA_Wind_Umfrageergebnisse_2019.pdf (Zugriff 9.09.17).
- Fachagentur Windenergie an Land, 2019b. Überblick zu den Abstandsempfehlungen zur Ausweisung von Windenergiegebieten in den Bundesländern [WWW Dokument]. URL https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/PlanungGenehmigung/FA_Wind_Abstandsempfehlungen_Laender.pdf (Zugriff 18.11.2019)
- Feld, L. P., Schmidt, C. M., Schnabel, I., Truger, A., Wieland, V., 2019. Aufbruch zu einer neuen Klimapolitik. Sondergutachten. URL https://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/fileadmin/dateiablage/gutachten/sg2019/sg_2019.pdf (Zugriff 18.11.2019)
- Ferri, S., Siragusa, A., Sabo, F., Pafi, M., Halkia, M., 2017. The European Settlement Map 2017 Release; Methodology and output of the European Settlement Map (ESM2p5m). JRC. <https://doi.org/10.2760/780799>
- Handelsblatt, 2019. Ausbau der Windkraft bricht dramatisch ein [WWW Webseite]. URL <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/erneuerbare-energien-ausbau-der-windkraft-bricht-dramatisch-ein/24696524.html>
- Henning und Palzer, 2013. Energiesystem Deutschland 2050. Fraunhofer ISE. Der Bericht ist zum Download verfügbar über https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Fraunhofer-ISE_Energiesystem-Deutschland-2050.pdf (Zugriff 18.11.2019)
- Hübner und Pohl, 2015. Mehr Abstand – mehr Akzeptanz? Ein umweltpsychologischer Studienvergleich. Fachagentur Windenergie an Land. Der Bericht ist zum Download verfügbar über https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/Akzeptanz/FA-Wind_Abstand-Akzeptanz_Broschuere_2015.pdf (Zugriff 18.11.2019)
- Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUWB), 2019. Der Bericht ist zum Download verfügbar über http://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/223628/windenergie_und_infraschall.pdf?command=downloadContent&filename=windenergie_und_infraschall.pdf (Zugriff 18.11.2019)
- IRENA (2018), Global Energy Transformation: A roadmap to 2050, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. Der Bericht ist zum Download verfügbar über https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_Report_GET_2018.pdf (Zugriff 18.11.2019)
- Matthes, F. C., Flachsbarth, F., Loreck C., Hermann, H., Falkenberg, H., 2018. Zukunft Stromsystem II - Regionalisierung der erneuerbaren Stromversorgung, WWF Deutschland. Der Bericht ist zum Download verfügbar über <https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF-Zukunft-Stromsystem-2.pdf> (Zugriff 18.11.2019)

- McKenna, R., Hollnaicher, S., Ostman v. d. Leye, P., Fichtner, W., 2015. Cost-potentials for large onshore wind turbines in Europe. *Energy* 83, 217–229. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.02.016>
- Navigant und Fraunhofer IEE, 2019. Einzelauftrag: Wissenschaftliche Fundierung der Beratungen zu Abstandsregelungen bei Windenergie an Land. Der Bericht ist zum Download verfügbar über https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/wissenschaftliche-fundierung-der-beratungen-zu-abstandsregelungen-bei-windenergie-an-land.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (Zugriff 18.11.2019)
- Reuter, H.I., Nelson, A., Jarvis, A., 2007. An evaluation of void-filling interpolation methods for SRTM data. *International Journal of Geographical Information Science* 21, 983–1008.
- Scientists for Future, 2019. Scientists For Future zum Klimapaket [WWW Webseite]. URL <https://www.scientists4future.org/infomaterial/infos-fuer-medienschaffende/scientists-for-future-zum-klimapaket/> (Zugriff 18.11.2019)
- Statistika, 2019. Kumulierte Nennleistung der Onshore-Windenergieanlagen in Deutschland in den Jahren 1995 bis 2018 [WWW Webseite] URL <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/20113/umfrage/installierte-leistung-der-anlagen-fuer-windenergie-in-deutschland-seit-1993/> (Zugriff 18.11.2019)
- Süsser, D., und Kannen, A., 2017. ‘Renewables? Yes, please!’: perceptions and assessment of community transition induced by renewable-energy projects in North Frisia. *Sustain Sci* 12: 563. <https://doi.org/10.1007/s11625-017-0433-5>
- TU Berlin, des UFZ, des Georg-August-Universität Göttingen, 2015. Effiziente und gerechte Allokation der Produktion erneuerbarer Energien auf nationaler Ebene. Der Bericht ist zum Download verfügbar über <https://www.landschaftsoekonomie.tu-berlin.de/fileadmin/a0731/uploads/personen/meyerhoff/EnergyEFFAIR-BMBF-Klimaoekonomie-Ergebnisbroschuere-Nov2015.pdf> (Zugriff 18.11.2019)
- Tröndle, T., Pfenninger, S., Lilliestam, J., 2019. Home-made or imported: On the possibility for renewable electricity autarky on all scales in Europe. *Energy Strategy Reviews* 26. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.100388>
- Umweltbundesamt (UBA), 2019. Auswirkungen von Mindestabständen zwischen Windenergieanlagen und Siedlungen. Auswertung im Rahmen der UBA-Studie „Flächenanalyse Windenergie an Land“. Das Positionspapier ist zum Download verfügbar über https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-03-20_pp_mindestabstaende-windenergieanlagen.pdf (Zugriff 18.11.2019)
- Umweltbundesamt (UBA), 2018. Mögliche gesundheitliche Effekte von Windenergieanlagen. Das Positionspapier ist zum Download verfügbar über https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/161128_uba_position_windenergiegesundheit.pdf (Zugriff 18.11.2019)
- UNEP-WCMC, IUCN, 2018. Protected Planet: The World Database on Protected Areas (WDPA) [WWW Document]. Protected Planet. URL <https://www.protectedplanet.net/> (Zugriff 2.2.18).

6. Zu der Autorin, den Autoren und der Finanzierung

Prof. Dr. Johan Lilliestam leitet die Gruppe Dynamik der Energiewende am IASS. Er ist Professor für Energiepolitik an der Universität Potsdam. In seiner Forschung untersucht er Policies, Strategien und Instrumente für eine Transformation hin zu einem komplett erneuerbaren Energiesystem, insbesondere die Interaktionen zwischen verschiedenen Policies und Zielen. Seine Arbeit wird vom Europäischen Forschungsrat (ERC) unterstützt. Bis 2019 war er Assistenzprofessor und Vorsteher der Forschungsgruppe Politik der erneuerbaren Energien am Institut für Umweltentscheidungen an der ETH Zürich, Schweiz. Davor war er Oberassistent in der Gruppe Klimaschutz und -Anpassung, auch an der ETH Zürich. Er promovierte am Departement für Environmental Science and Policy an der Central European University in Budapest, Hungary, in 2013. Zwischen 2007 und 2013 war er Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) und 2009-2013 am Internationalen Institut für angewandte Systemanalyse (IIASA) in Laxenburg, Österreich.

Tim Tröndle ist Teil der Gruppe Dynamik der Energiewende und analysiert dort energiepolitische Ziele in Europa. Basierend auf einem quantitativen Ansatz und Modellen des europäischen Energiesystems untersucht er Auswirkungen und notwendige Trade-Offs von aktuellen Politikzielen wie Europäisierung und Energieeffizienz. Tim ist außerdem Doktorand im Bereich Energiepolitik an der ETH Zürich. Vor seiner akademischen Arbeit leitete Tim ein Team bei einem in Berlin ansässigen Anbieter von Netz- und Energiespeicherlösungen, das Lösungen für die Energiewende kleiner Energiesystemen entwickelte: das Team entwarf Energiesysteme mit hohem Anteil erneuerbarer Energien und deren Steuerung, um vorhandene, fossile Energieversorgung zu ersetzen. Tim erwarb den Titel des Diplom Ingenieurs Technische Kybernetik.

Dr. Diana Süsser ist wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Gruppe Dynamik der Energiewende am IASS. Ihre Forschungsschwerpunkte liegen auf sozio-politisch-technologischem Wandel, Energiepolitik-Modell-Interaktionen und Energieinnovationen. Im Rahmen des EU Projekts „Das Laboratorium für die nachhaltige Energiewende“ beschäftigt sie sich mit Anforderungen an und Design von zukünftigen Energiesystemmodellen. Vor Ihrer Tätigkeit am IASS forschte Diana Süsser am Israel Public Policy Institute zu einem effektiven Politikdesign um Innovationen in grüne Technologien zu fördern. Davor arbeitete sie für den World Wide Fund for Nature (WWF) und war assoziierte Wissenschaftlerin an der Universität Hamburg. Die Umwelt- und Klimawissenschaftlerin studierte an der Universität Oldenburg, an der Kingston University London und an der Universität Hamburg. Diana Süsser promovierte zur lokalen Energiewende im Rahmen des Projekts Regionaler Klimawandel (REKLIM) am Helmholtz-Zentrum in Geesthacht.

Finanzierung:

Die Arbeit von Tim Tröndle und Johan Lilliestam wurde finanziert durch eine Förderung des Europäischen Forschungsrats für das Projekt "The transition to a renewable electricity system and its interactions with other policy aims" (TRIPOD, ERC Förderungsnummer 715132). Die Arbeit von Diana Süsser wurde finanziert durch eine Förderung des Horizon 2020 Forschungsprogramms für das Projekt "Sustainable Energy Transition Laboratory" (SENTINEL, Förderungsnummer 837089).



Institute for Advanced Sustainability Studies e.V. (IASS)

Das IASS forscht mit dem Ziel, Transformationsprozesse hin zu einer nachhaltigen Gesellschaft aufzuzeigen, zu befördern und zu gestalten, in Deutschland wie global. Der Forschungsansatz des Instituts ist transdisziplinär, transformativ und ko-kreativ: Die Entwicklung des Problemverständnisses und der Lösungsoptionen erfolgen in Kooperationen zwischen den Wissenschaften, der Politik, Verwaltung, Wirtschaft und Gesellschaft. Ein starkes nationales und internationales Partnernetzwerk unterstützt die Arbeit des Instituts. Zentrale Forschungsthemen sind u.a. die Energiewende, aufkommende Technologien, Klimawandel, Luftqualität, systemische Risiken, Governance und Partizipation sowie Kulturen der Transformation. Gefördert wird das Institut von den Forschungsministerien des Bundes und des Landes Brandenburg.

IASS Discussion Paper

November 2019

Kontakt:

Tim Tröndle: Tim.Troendle@iass-potsdam.de

Diana Süsser: Diana.Suesser@iass-potsdam.de

Johan Lilliestam: Johan.Lilliestam@iass-potsdam.de

Adresse:

Berliner Straße 130

14467 Potsdam

Tel: +49 (0) 331-28822-340

Fax: +49 (0) 331-28822-310

E-Mail: media@iass-potsdam.de

www.iass-potsdam.de

ViSdP:

Prof. Dr. Ortwin Renn,

Geschäftsführender Wissenschaftlicher Direktor

DOI: 10.2312/iass.2019.052

