



Planung von Windenergieanlagen und einer Photovoltaikanlage im Stadtgebiet Bedburg

Bewertung der geotechnischen Randbedingungen

Bearbeitungs-Nr.: 21.159

Aachen, Mai 2022



**Planung von Windenergieanlagen und einer Photovoltaikanlage
im Stadtgebiet Bedburg**

Bewertung der geotechnischen Randbedingungen

Auftraggeber: RWE Wind Onshore Deutschland GmbH
c/o RWE Renewables GmbH
Lister Str. 10
D-30163 Hannover

Ansprechpartner: Herr C. Vogt

Bestelldatum: 26.01.2022

Bestellnummer: 4300014913-N5-J44

Auftragnehmer: Geotechnisches Büro Prof. Dr.-Ing. H. Düllmann GmbH
Neuenhofstraße 112
52078 Aachen

Projektbearbeiter: Dr.-Ing. M. Nendza

Bearbeitungsnummer: 21.159

Berichtsdatum: 06.05.2022

Berichtsumfang: 16 Seiten (einschließlich Deckblatt und Inhaltsverzeichnis)



Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung, Aufgabenstellung	1
2	Verwendete Unterlagen.....	1
3	Geplante Maßnahmen.....	2
3.1	2. Erweiterung des Windparks Königshovener Höhe.....	2
3.2	Anpassung der Konzentrationszone Gut Kaiskorb.....	3
3.3	Freiflächen-PV-Anlage	4
4	Geotechnische Kategorie	5
4.1	2. Erweiterung des Windparks Königshovener Höhe.....	5
4.2	Anpassung der Konzentrationszone Gut Kaiskorb.....	5
4.3	Freiflächen-PV-Anlage	5
5.	Charakteristische Eigenschaften und geotechnische Besonderheiten an Kippenstandorten .	6
6.	Bewertung und Prognose der Setzungen von Tagebaukippen.....	7
6.1.	Allgemeines	7
6.2.	Kippeneigensetzungen.....	7
6.3.	Setzungen oder Hebungen infolge Grundwasserwiederanstieg.....	9
6.4.	Bewertung Erdbebengefährdung, Sicherheit gegenüber Bodenverflüssigung.....	10
7.	Geotechnische Erkundung.....	11
8.	Gründungskonzepte	11
9.	Vergleichbare Referenzprojekte.....	12
10.	Zusammenfassung.....	13



1 **Veranlassung, Aufgabenstellung**

Die BMR Windenergie GmbH & Co. KG plant im Stadtgebiet von Bedburg aktuell drei Maßnahmen. Dabei handelt es sich um

- die Planung von vier weiteren Windenergieanlagen auf dem Windpark der Königshovener Höhe im Rahmen der 2. Erweiterung (WEA 1 - 4),
- die Anpassung der Konzentrationszone Gut Kaiskorb für ein späteres Repowering von fünf Windenergieanlagen (WEA 5 - 9) und
- die Planung einer Freiflächen-PV-Anlage südöstlich der BAB A44n.

Bei dem Areal der geplanten 2. Erweiterung des Windparks Königshovener Höhe handelt es sich um einen rekultivierten (verkippten) Bereich des Tagebaus Garzweiler der RWE Power AG südöstlich der A44n. In der aktuellen Projektphase soll die grundsätzliche Bebaubarkeit bzw. die Weiterentwicklung der bestehenden Anlagen in den betreffenden Bereichen mit Windenergie- und Photovoltaikanlagen geprüft werden. In diesem Zusammenhang wurde die Geotechnisches Büro GmbH von der RWE Wind Onshore Deutschland GmbH beauftragt, eine Bewertung der o.g. Standorte hinsichtlich der geotechnischen Randbedingungen für die vorgesehene Nutzung durchzuführen.

2 **Verwendete Unterlagen**

Vom Auftraggeber wurden zur Verfügung gestellt:

- [1] Erläuterungen zur geplanten Erweiterung der Windkonzentrationszone Königshovener Höhe, Stand 10.01.2022
- [2] Stellungnahme der RWE Power AG, Windkraftpark mit 4 geplanten WEA-Standorten in Bedburg, Königshovener Höhe, „Erweiterung des Windparks Königshovener Höhe“, 07.01.2022
- [3] Baugrunduntersuchung, Baugrundbeurteilung und Angaben zur Gründung für den Neubau einer Windenergieanlage (WEA) im Windpark Bedburg, GEO CONSULT Geologen für Umwelt und Baugrund GbR, 10.09.2015
- [4] Vorhabenbezogener Bebauungsplan Nr. 37/Kaster, „Photovoltaik-Freiflächenanlage entlang der BAB 44“, Stadt Bedburg, Stand: 01.04.2022

DIN-Normen, Vorschriften, Regelwerke, Richtlinien:

- [5] DIN EN 1997-1 (03/2014), Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik, Teil 1 Allgemeine Regeln, einschließlich DIN EN 1997-1/NA:2010-12



- [6] DIN 1054, Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau, 04/2021, Ergänzende Regeln zu DIN 1997-1
- [7] DIN EN 1997-2 (10/2010), Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik, Teil 2 Erkundung und Untersuchung des Baugrundes, einschließlich DIN EN 1997-2/NA:2010-12 Nationaler Anhang
- [8] DIN EN 1998-1/NA, Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben, 07/2021
- [9] ZTVE-StB, Handbuch, Kommentar und Leitlinien mit Kompendium Erd- und Felsbau, Prof. Dr.-Ing. R. Floss, 5. Auflage, 08/2019
- [10] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt) – Richtlinie für Windenergieanlagen - Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung, Fassung 03/2015

Archiv des Geotechnischen Büros:

- [11] Auswertung von Setzungsmessungen an den Windkraftanlagen des Windparks Jüchen, Geotechnisches Büro Prof. Dr.-Ing. H. Düllmann GmbH, 08/2015
- [12] Planung und Errichtung des Windparks W216 Garzweiler - Feld auf einer Rekultivierungsfläche des Tagebaus Garzweiler - A44n, Bewertung der geotechnischen Randbedingungen an diesem Standort, Geotechnisches Büro Prof. Dr.-Ing. H. Düllmann GmbH, 11/2018

3 Geplante Maßnahmen

3.1 2. Erweiterung des Windparks Königshovener Höhe

Das Projektgebiet der geplanten vier neuen Windenergieanlagen der 2. Erweiterung befindet sich westlich des bestehenden Windparks Königshovener Höhe (21 WEA), nordöstlich des Windparks Kaskorb (13 WEA) und südöstlich der A44n (sh. Abb. 1, WEA 1 - 4). Es handelt sich um einen rekultivierten (verkippten) Bereich des Tagebaus Garzweiler I der RWE Power AG. Die betreffende Fläche liegt innerhalb des Gemeindegebietes von Bedburg.

Gemäß [2] erfolgte die Verkipfung der Böden in dem betreffenden Bereich zwischen 2008 und 2016. Die Liegezeit der Kippenböden beträgt somit aktuell zwischen sechs und vierzehn Jahren. Die Mächtigkeit der Kippen beträgt gemäß [2] zwischen 80 m bis 160 m. Das Projektgebiet hat Abmessungen von ca. 1,1 km x 1,0 km.

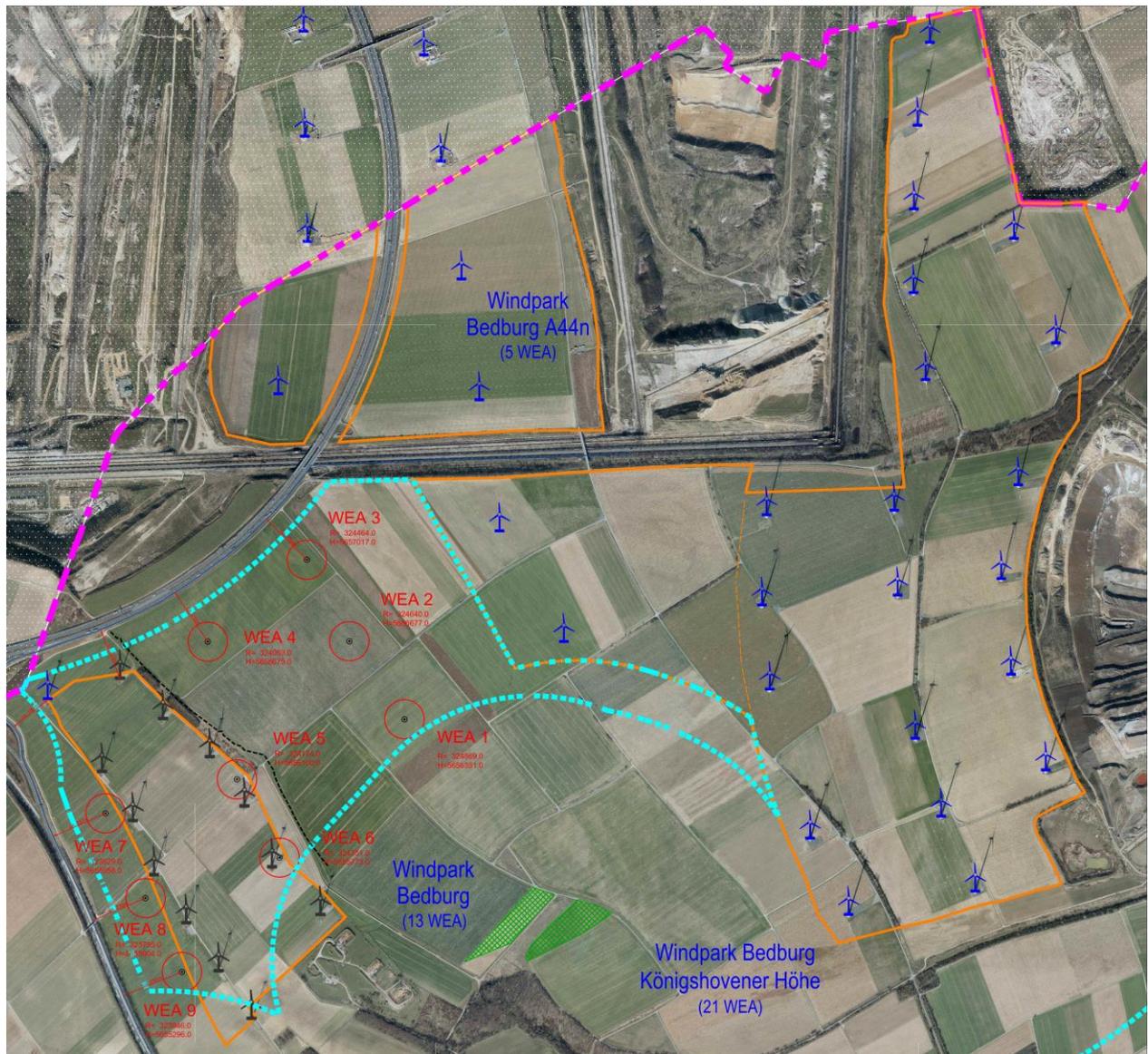


Abb. 1: Lage der geplanten Maßnahmen aus [1]

3.2 Anpassung der Konzentrationszone Gut Kaiskorb

Der Windpark Kaiskorb befindet sich südöstlich des Autobahndreiecks Jackeraths, der sich mit insgesamt 13 Windenergieanlagen östlich der A61 erstreckt. Das Areal des Windparks liegt unmittelbar westlich des ehemaligen Tagebaus Garzweiler und somit nicht mehr in einem verkippten Bereich [3]. Das Projektgebiet hat Abmessungen von ca. 1,8 km x 0,9 km.



Im Rahmen der geplanten Anpassung der Konzentrationszone sollen fünf bestehende Windenergieanlagen des Windparks zurückgebaut werden und im Zuge des Repowerings durch neue Anlagen ersetzt werden (vgl. WEA 5 - 9 in Abb. 1).

3.3 Freiflächen-PV-Anlage

Die geplante Freiflächen-PV-Anlage soll unmittelbar südöstlich der A44n auf einer Fläche von ca. 19,7 ha (ca. 185 m x 1.100 m) angeordnet werden. Die PV-Module werden gemäß [4] auf einer starren Ständerkonstruktion montiert. Bei dem betreffenden Areal handelt es sich analog zum direkt südöstlich angrenzenden Projektgebiet der 2. Erweiterung des Windparks Königshovener Höhe um einen verkippten Bereich des ehemaligen Tagebaus Garzweiler. Gemäß [2] erfolgte die Verkipfung der Böden hier 2016. Die Liegezeit der Kippenböden beträgt somit im Bereich der geplanten Freiflächen-PV-Anlage sechs Jahren.



Abb. 2: Lage der geplanten PV-Anlage entlang der A44n aus [4]



4 Geotechnische Kategorie

4.1 2. Erweiterung des Windparks Königshovener Höhe

Bei der Planung und Ausführung von Bauprojekten auf Tagebaukippen sind besondere Anforderungen an Art und Umfang der Standorterkundung, das Gründungskonzept und das ggf. einzurichtende Monitoringkonzept während der Bau- und Betriebsphase zu stellen.

Die Errichtung von Windenergieanlagen ist (insbesondere unter Berücksichtigung des Kippenstandortes) gemäß [6] und [10] der geotechnischen Kategorie GK 3 zuzuordnen. Dies trägt den geotechnischen Standortrandbedingungen und den entsprechend der DIN-Definition „ungewöhnlichen oder besonders schwierigen Baugrundverhältnissen“ bei der Errichtung und dem Betrieb von Bauwerken Rechnung. Je höher die zu berücksichtigende geotechnische Kategorie ist, umso höher sind die Anforderungen an den Umfang der Baugrunduntersuchung und die zu führenden rechnerischen Nachweise. Die geotechnische Kategorie GK 3 umfasst Baumaßnahmen mit hohem Schwierigkeitsgrad im Hinblick auf das Zusammenwirken von Baugrund und Bauwerk. Bauwerke der geotechnischen Kategorie GK 3 erfordern zusätzliche Untersuchungen, vertiefte geotechnische Kenntnisse und Erfahrungen in dem jeweiligen Spezialgebiet seitens der beteiligten Gutachter und Planer.

4.2 Anpassung der Konzentrationszone Gut Kaiskorb

Der Neubau von Windenergieanlagen ist gemäß [10] grundsätzlich der geotechnischen Kategorie GK 3 zuzuordnen. Diese Zuordnung gilt somit auch für die im Windpark Kaiskorb geplanten fünf neuen Windenergieanlagen, unabhängig davon, dass sich diese nicht mehr in einem Bereich des verfüllten Tagebaus befinden.

4.3 Freiflächen-PV-Anlage

Die geplante Freiflächen-PV-Anlage wird gemäß [4] auf einer Ständerkonstruktion montiert. Angaben zur geplanten Gründung liegen nicht vor. Üblicherweise erfolgt die Gründung von Freiflächen-PV-Anlagen mittels Betonfundamenten (z.B. Streifen- oder Plattenfundamente) oder Ramm- bzw. Schraubankern.

Bei dem betreffenden Areal handelt es sich um einen verkippten Bereich des ehemaligen Tagebaus und somit sind auch hier gemäß [2] noch weitergehende Restsetzungen zu erwarten. Die geplante



PV-Anlage ist jedoch eine sehr leichte Konstruktion, die aus Modulreihen aufgebaut wird. Diese weist in ihrer Gesamtkonstruktion (ähnlich einer Gliederkette) eine geringe Steifigkeit auf und kann sich flächigen Geländesetzungen weitestgehend schadlos anpassen. Aus diesem Grund ist eine Beeinträchtigung der Standsicherheit der geplanten PV-Anlage infolge der zu erwartenden Restsetzungen der Kippe faktisch auszuschließen. Einer setzungsbedingten Beeinträchtigung der Gebrauchstauglichkeit der Anlage kann durch Verwendung von nachjustierbaren Ständerwerken begegnet werden. Auf dieser Grundlage wird die geplante Freiflächen-PV-Anlage der geotechnischen Kategorie GK 1 zugeordnet.

5. Charakteristische Eigenschaften und geotechnische Besonderheiten an Kippenstandorten

Die charakteristischen Eigenschaften von Kippenstandorten und die besonderen hier zu berücksichtigenden geotechnischen Aspekte bei der Errichtung von Windenergieanlagen bestehen i.W. darin, dass im Vergleich zu einem Standort mit nicht umgelagerten Baugrundverhältnissen von abweichenden bodenmechanischen Eigenschaften des Baugrundes auszugehen ist. Dies zeigt sich insbesondere durch zeitabhängige Eigensetzungen der Kippenböden (Konsolidation) in Abhängigkeit vom Alter der Kippe, der Kippenmächtigkeit und der auch nach dem Abklingen der Eigensetzungen weiterhin vorhandenen, vergleichsweise geringen Lagerungsdichte der Kippenböden. Dies macht die Kippenböden grundsätzlich sensitiv hinsichtlich Setzungen infolge statischer und dynamischer Bauwerksbelastungen, Grundwassereinfluss und der Beanspruchung durch Erdbebeneignisse.

Einheitliche bzw. gleichmäßige vertikale Setzungen sind für Bauwerke sowohl für die Standsicherheit als auch für die Gebrauchstauglichkeit in der Regel als unkritisch zu bewerten. Bei großen Beträgen der Gesamtsetzung, wie sie bei Kippenstandorten zu erwarten sind, steigt die Wahrscheinlichkeit von Differenzsetzungen. Kleinräumige Differenzsetzungen können insbesondere bei Windkraftanlagen unverträgliche Schiefstellungen bewirken. Aus diesen Gründen kommt der Bewertung der zu erwartenden Setzungen von Tagebaukippen im Gebiet der geplanten Windkraftanlagen eine besonderer Bedeutung zu. Windkraftanlagen können üblicherweise eine Schiefstellung von bis zu 3 mm pro Meter Fundamentlänge verträglich aufnehmen.

Im folgenden Abschnitt 6 werden die spezifischen Setzungsanteile für Tagebaukippen beschrieben und bewertet, wie sie insbesondere für die 2. Erweiterung des Windparks Königshovener Höhe maßgeblich sind.



6. Bewertung und Prognose der Setzungen von Tagebaukippen

6.1. Allgemeines

Im Vergleich zu Standorten mit natürlich anstehenden Baugrundverhältnissen, bei denen ausschließlich die Lastsetzungen infolge statischer und dynamischer Einwirkungen durch das Bauwerk zu betrachten sind, verhalten sich Kippenstandorte unterschiedlich. Die Prognose des Setzungsverhaltens von Kippen und von Bauwerken auf Kippen stellt sich komplexer dar. Die Ursachen hierfür sind, dass durch die Verkippung von Abraummaterialein ein neues, „technogenes“ Lockergestein entsteht, dessen mechanische Eigenschaften durch verschiedene zeitliche und räumliche Komponenten bei der Setzungsabschätzung beschrieben werden. Die wesentlichen Faktoren, die zur Bewertung des Setzungsverhaltens von Kippen berücksichtigt werden müssen, sind:

- (Rest-) Eigensetzung der Kippe in Abhängigkeit vom Alter der Kippe,
- Setzungen oder Hebungen infolge der Sumpfungmaßnahmen der RWE Power AG und dem nachfolgenden Grundwasserwiederanstieg,
- Einwirkung von Erdbeben, Sicherheit gegenüber Bodenverflüssigung,
- Lastsetzung infolge der statischen und dynamischen Einwirkungen durch das Bauwerk unter Berücksichtigung der Tagebauentwicklung.

6.2. Kippeneigensetzungen

Die Eigensetzung der Kippe resultiert aus einem Konsolidationsvorgang infolge Eigengewicht, der unmittelbar nach der Verkippung beginnt. Die Setzungsbeträge pro Zeiteinheit nehmen nach einer halblogarithmischen Funktion bis zum Abklingen der Verformung auf ein unschädliches Maß ab. Die Setzungsgeschwindigkeit ist direkt nach Beendigung des Schüttprozesses am größten.

Eine analytische Berechnung dieses Setzungsbetrages und des zeitlichen Verlaufs wird durch unterschiedliche Einflussfaktoren bestimmt, z.B.:

- die Form und Lage der Kippe z.B. auch Lage zu ehemaligen Tagebauböschungen und deren Neigungen,
- die Mächtigkeit der Kippe,
- die Liegezeit der Kippe bzw. der einzelnen Kippscheiben,
- die inhomogene Zusammensetzung des Kippenmaterials und
- die Zahl und die zeitliche Abfolge der einzelnen Kippscheiben.



Nach Erfahrungen im Rheinischen Braunkohlenrevier liegen die Setzungen in einer Bandbreite von 0,5 – 1,5 % der Kippenmächtigkeit.

Bewertung

Die zu erwartenden Eigensetzungen der Kippen am betreffenden Standort Garzweiler können mit den zur Verfügung stehenden Berechnungsansätzen bzgl. ihres Betrags der Gesamtsetzung und der zeitlichen Entwicklung in der Bandbreite recht gut abgeschätzt werden.

Der wesentliche Setzungsanteil stellt sich hierbei als vertikale Setzung ein. Kleinräumige ungleichmäßige Setzungen und damit mögliche Schiefstellungen von Bauwerken sind jedoch nicht mit letzter Sicherheit auszuschließen. Diesem Sachverhalt ist im Gründungskonzept und im messtechnischen Monitoring während der Bau- und Betriebsphase in einem ausreichenden Umfang Rechnung zu tragen (sh. hierzu auch Abschnitt 8).

Für eine grundsätzliche Bewertung kann auf der Basis von Erfahrungswerten an vergleichbaren Kippenstandorten davon ausgegangen werden, dass nach ca. zehn Jahren der überwiegende Teil der zu erwartenden Eigensetzungen der Kippe abgeschlossen sein wird und die zu erwartenden Restsetzungen durch das Gründungskonzept „Polsterschicht auf einer Rüttelstopfverdichtung“ (vgl. Abschnitt 8) gleichmäßig werden.

Für den hier betreffenden Standort wird gemäß der projektbezogenen Stellungnahme der RWE Power AG in [2] ein messtechnisches Monitoringkonzept zur Erfassung der Kippensetzungen empfohlen. Dieses sollte möglichst frühzeitig vor dem Beginn der Baumaßnahme eingerichtet und regelmäßig eingemessen werden. Hierdurch wird die Grundlage zur Überprüfung der rechnerisch ermittelten Kippensetzungen und insbesondere deren zeitlicher Entwicklung geschaffen. Darüber hinaus sollten die bereits vorliegenden Daten des messtechnischen Monitorings des bestehenden Windparks Königshovener Höhe in die Bewertung mit einbezogen werden.

Auf der Basis der Ergebnisauswertung der Setzungsmessungen erfolgt eine Kalibrierung des Berechnungsmodells. Mit zunehmender Erkenntnislage des lokalen Setzungsverhaltens der Kippe werden mit der Dauer des Monitorings die Unsicherheiten hinsichtlich der Prognose der zu erwartenden Restsetzungen reduziert. Es ergibt sich daraus auch die Grundlage zur Bewertung einer ggf. erforderlichen Anpassung des Monitoringkonzeptes (wie z.B. Ort/Anzahl der Messpunkte, Messintervalle).



Auf der Grundlage von Erfahrungswerten kann derzeit bei Verwendung des Gründungskonzeptes „Polsterschicht auf einer Rüttelstopfverdichtung“ von einer Bebaubarkeit des betreffenden Standortes nach einer Liegezeit der Kippe von mindestens 10 Jahren ausgegangen werden. Dieses Kriterium ist jedoch auf Grund der unvermeidbaren Unsicherheiten hinsichtlich des tatsächlichen kleinräumigen Setzungsverhaltens der Kippe nicht als verbindlicher und zu gewährleistender Zeitpunkt der Bebaubarkeit zu bewerten, sondern stellt einen Richtwert mit einer zufriedenstellenden Prognosewahrscheinlichkeit dar, der in Verbindung mit dem messtechnischen Monitoringkonzept zu einer abschließenden, fundierten Bewertung führt. Ohne Realisierung des o.g. Gründungskonzeptes ist eine Bebaubarkeit erst nach längeren Zeiträumen gegeben.

6.3. Setzungen oder Hebungen infolge Grundwasserwiederanstieg

Setzungen oder Hebungen der Kippenoberfläche durch Grundwasseranstieg und Wasserinfiltrationen sind zurückzuführen auf Kornumlagerungen des Kippenmaterials und den möglichen Verlust der kapillaren Haftfestigkeit (Kapillarkohäsion) sowie auf Auftriebseffekte. Die Größe eines Setzungsmaßes hängt dabei nach SCHEFFLER / MOSLER u.a. ab von:

- der Lockergesteinsart (bindig, nichtbindig),
- der Lagerungsdichte,
- dem Wassergehalt vor der Wassersättigung und
- dem Spannungszustand im betrachteten Bodenelement.

Nach FORMAZIN beträgt das theoretische Setzungsmaß etwa 0,2 – 3,0 % der wassergesättigten Schichtdicke. Die Erfahrungen im Rheinischen Braunkohlenrevier zeigen eine engere Bandbreite von 0,5 – 1,5 % der Kippenmächtigkeit.

Bewertung:

Der Aspekt möglicher Setzungen oder Hebungen infolge des Grundwasserwiederanstiegs ist im Rahmen der konkreten geotechnischen Standortbewertung zu betrachten. Dies sollte auf der Grundlage der Prognose des GW-Wiederanstieges der RWE Power AG und der bodenmechanischen Eigenschaften der Kippe erfolgen. Zur Bewertung der Kippe sind die im Rahmen der Baugrunduntersuchung ermittelten Kornverteilungsbänder heranzuziehen (mit Abgrenzung bindiger / nichtbindiger Bodenanteile).



6.4. Bewertung Erdbebengefährdung, Sicherheit gegenüber Bodenverflüssigung

Gleichförmige und feine Sande können, insbesondere bei einer lockeren Lagerungsdichte, unter Erdbebenbeanspruchung zu einem Verlust der Scherfestigkeit neigen, d.h. zur Bodenverflüssigung. Die Wahrscheinlichkeit der Bodenverflüssigung steigt mit der Intensität und der Dauer des Erdbebens und mit der Höhe des Grundwasserstands unter Gelände und nimmt mit der Lagerungsdichte des Bodens und der Tiefe ab. Eine Bewertung der Wahrscheinlichkeit einer Bodenverflüssigung kann z.B. nach der Regel KTA 2201.2 (Kerntechnischer Ausschuss: Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Erregungen) erfolgen.

Bewertung:

Die potenzielle Gefahr einer Bodenverflüssigung infolge Erdbebeneinwirkung ist in Tagebaukippen nicht grundsätzlich auszuschließen. Die Möglichkeit besteht insbesondere bei enggestuften, locker gelagerten Sanden mit Grundwassereinfluss. Aus diesem Grund sind für die Bewertung dieses Aspektes im Rahmen der Baugrunderkundung die Kornverteilungen der lokal anstehenden Kippenböden und die aktuelle und zukünftige Grundwassersituation (insbesondere die Prognose der zeitlichen Entwicklung des GW-Wiederanstiegs in Bezug zur geplanten Nutzungsdauer der Windkraftanlagen) zu ermitteln. Im Bereich des geplanten Windparks sind langfristig weitere grundwasserabsenkende Sumpfungsmaßnahmen erforderlich, welche große Teile des Kippenkörpers in der Betriebszeit der Windkraftanlagen weitgehend trocken halten. Ab dem Jahr 2100 sind GW-Flurabstände von > 20 Meter zu erwarten.

Das potenzielle Risiko einer Bodenverflüssigung ist am Standort Garzweiler nach vorliegendem Kenntnisstand nicht ausgeprägt, da auf der Grundlage von umfangreichen Erfahrungswerten im Rheinischen Braunkohlentagebau mehrheitlich schluffige Sandgemische verkippt werden, die einen Verflüssigungsmechanismus deutlich weniger begünstigen. Diese Annahme wurde für den Standort Garzweiler von RWE Power mit der Angabe eines Anteils bindiger Böden in den hier verkippten Materialien von ca. 10 % grundsätzlich bestätigt. Auch die langfristig zu erwartenden hohen Grundwasserflurabstände sprechen gegen das Auftreten von Bodenverflüssigung.



7. Geotechnische Erkundung

Die geotechnische Erkundung und die konkrete Bewertung der Standorte für die geplanten Windenergieanlagen der 2. Erweiterung des Windparks Königshovener Höhe und des Windparks Kaiserkorb sind unter vollständiger Berücksichtigung der Anforderungen resultierend aus der Einstufung in die geotechnische Kategorie GK 3 durchzuführen. Hierbei ist den besonderen Randbedingungen des Kippenstandortes, dem zu erwartenden Grundwasserwiederanstieg innerhalb des Betriebszeitraums der Windenergieanlagen und den Anforderungen zur Gewährleistung der Lagesicherheit der Anlagen ausreichend Rechnung zu tragen.

Das durchzuführende Erkundungskonzept muss entsprechend den o.g. Anforderungen (GK3) direkte Aufschlussbohrungen und bodenmechanische Laboruntersuchungen enthalten. Für die Erkundung von Kippenstandorten haben sich zudem indirekte Aufschlussverfahren in der Form von Drucksondierungen bewährt.

8. Gründungskonzepte

Für die geplante Erweiterung des Windparks Königshovener Höhe ist auf der Grundlage der konkreten geotechnischen Erkundung des Projektgebietes ein Gründungskonzept für die Windenergieanlagen zu erarbeiten, welches die vorangehend beschriebenen charakteristischen Eigenschaften von Kippenstandorten und die damit verbundenen besonderen geotechnischen Aspekte hinreichend berücksichtigt und somit die Standsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit der Windenergieanlagen für die vorgesehene Betriebsdauer gewährleistet.

In der Vergangenheit hat sich beim Bau von Windenergieanlagen auf Tagebaukippen das Gründungskonzept „Polsterschicht auf einer Rüttelstopfverdichtung“ bewährt. Hierbei wird durch die Rüttelstopfverdichtung eine Homogenisierung der heterogenen Kippenböden erzielt. Der Boden wird zudem verdichtet und im Bereich der Lasteinleitung durch die Windenergieanlage weniger setzungsempfindlich. Infolge der höheren Dichte werden mögliche Setzungen infolge des Grundwasserwiederanstiegs erheblich reduziert und die Sicherheit gegenüber Verflüssigungseffekten erhöht. Durch eine entsprechend gewählte Mächtigkeit der Polsterschicht und ggf. den Einbau von Geogittern wird zudem eine gleichmäßige Einleitung der Bauwerkslasten gewährleistet und mögliche kleinräumige Differenzsetzungen vermindert.



Es ist darauf hinzuweisen, dass es sich bei dem beschriebenen Gründungskonzept um eine sog. schwimmende Gründung handelt. Auf Grund der großen Kippenmächtigkeit (ca. 140 m bis 160 m) kann eine Tiefgründung bis in den gewachsenen Boden nicht realisiert werden. Es ist deshalb möglich bzw. auf der Grundlage von Erfahrungswerten auch wahrscheinlich, dass das Bauwerk und der darunter befindliche, mittels Stopfpfählen vergütete Baugrund Setzungs- und Schiefstellungsanteilen aus Restsetzungen der z.T. noch jungen (mindestens 10 Jahre alten) Kippe ausgesetzt werden, die u.U. zu einer zusätzlichen Schiefstellung der Turmbauwerke führen können. Um solchen nicht auszuschließenden Effekten bei Bedarf frühzeitig begegnen zu können und die Einhaltung der zulässigen Schiefstellungen der Windkraftanlagen zu kontrollieren, ist in jedem Fall ergänzend zum Monitoring der Kippeneigenschaften ein geodätisches Messkonzept zur Erfassung der Setzungen der einzelnen Windenergieanlagen vorzusehen. Die Messpunkte an den Windenergieanlagen sollten so angebracht werden, dass eine mögliche Schiefstellung der Türme in Größe und Richtung erfasst werden kann.

Das Areal des Windparks Kaiskorb liegt unmittelbar westlich des ehemaligen Tagebaus Garzweiler und somit nicht mehr in einem verkippten Bereich. Die natürlich anstehende Schichtenfolge beginnt gemäß [3] mit einem geringtragfähigen Löss, der von tragfähigen Terrassensedimenten und Quarzkiesen und -sanden unterlagert wird. Die vorangehend beschriebenen geotechnische Besonderheiten von Kippenstandorten sind somit hier nicht maßgeblich. Die im vorliegenden geotechnischen Gutachten [3] empfohlene Gründung mittels einer Bodenverbesserung mit Rüttelstopfsäulen ist hier durch die nicht ausreichend tragfähige Lössschicht (bis ca. 8,0 m u. GOK) begründet.

9. Vergleichbare Referenzprojekte

Die Windparks Jüchen, Garzweiler - Feld und Königshovener Höhe wurden unter vergleichbaren Bedingungen wie die geplante 2. Erweiterung des Windparks Königshovener Höhe auf Tagebaukippen realisiert. Sie befinden sich in direkter Nähe zu dem hier zu bewertenden Projektgebiet und wurden mit dem vorangehend beschriebenen Konzept (Polsterschicht auf einer Rüttelstopfverdichtung) gegründet. Auch bei diesen Projekten wurde ein messtechnisches Monitoring zur Erfassung der Kippeneigenschaften und der Setzungen der einzelnen Windenergieanlagen wie vorangehend beschrieben durchgeführt.

Die Bebauung der Tagebaukippe am Standort des Windparks Jüchen erfolgte mehrheitlich nach einer Liegezeit von ca. 10 Jahren, bei einer dieser Anlagen bereits nach ca. 9 Jahren.



Die bei den o.g. Referenzprojekten gesammelten Erfahrungen belegen, dass Windenergieanlagen auf Tagebaukippen mit Konzepten, die an die besonderen Randbedingungen dieser Standorte angepasst sind, erfolgreich realisiert werden können. Die Auswertungen der Ergebnisse des durchgeführten Monitorings in der Betriebsphase der o.g. Windparks ergeben Setzungs- bzw. Schiefstellungsbeträge in den zu erwartenden Bandbreiten. Die Standsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit der Windenergieanlagen sind hier uneingeschränkt gewährleistet.

10. Zusammenfassung

Bei der Planung, dem Bau und Betrieb eines Windparks auf einer Tagebaukippe sind die charakteristischen Eigenschaften der jeweiligen Kippenstandorte und die damit verbundenen besonderen geotechnischen Aspekte hinreichend zu berücksichtigen. Diese resultieren aus uneinheitlichen Eigenschaften von Kippenböden und deren Setzungspotenzial. Die Aspekte aus den vorangehend beschriebenen geotechnischen Randbedingungen können im Rahmen der gutachterlichen Standortbewertung, der Planung, der Bauausführung und des Monitorings der Windenergieanlagen während der Betriebsphase berücksichtigt werden. Die hier maßgeblichen geotechnischen Randbedingungen an Kippenstandorten wurden im Rahmen dieses Berichtes bewertet und entsprechende Handlungsempfehlungen gegeben.

Auf der Grundlage des vorliegenden Kenntnisstandes und von Erfahrungswerten an vergleichbaren Kippenstandorten ist das Projektgebiet Garzweiler unter Berücksichtigung der o.g. Randbedingungen als grundsätzlich mit Windenergieanlagen bebaubar zu bewerten. Es kann derzeit als unverbindlicher Richtwert von einer Bebaubarkeit des betreffenden Standortes nach einer Liegezeit der Kippe von mindestens 10 Jahren ausgegangen werden. Dies entspricht in Abhängigkeit von der Lage des jeweiligen Teilgebietes einem Zeitpunkt der frühesten Bebaubarkeit von 2018 bis ca. 2026. Auf der Basis der Auswertung des Monitorings der Kippeneigenschaften und der entsprechenden Kalibrierung des Berechnungsmodells sollte eine kontinuierliche Aktualisierung bzw. Anpassung der Bewertung erfolgen.

Es wird empfohlen, den geotechnischen Sachverständigen frühzeitig in die Konzeption des messtechnischen Monitorings der Kippeneigenschaften und der einzelnen Windenergieanlagen mit einzubinden.

Dr.-Ing. M. Nendza