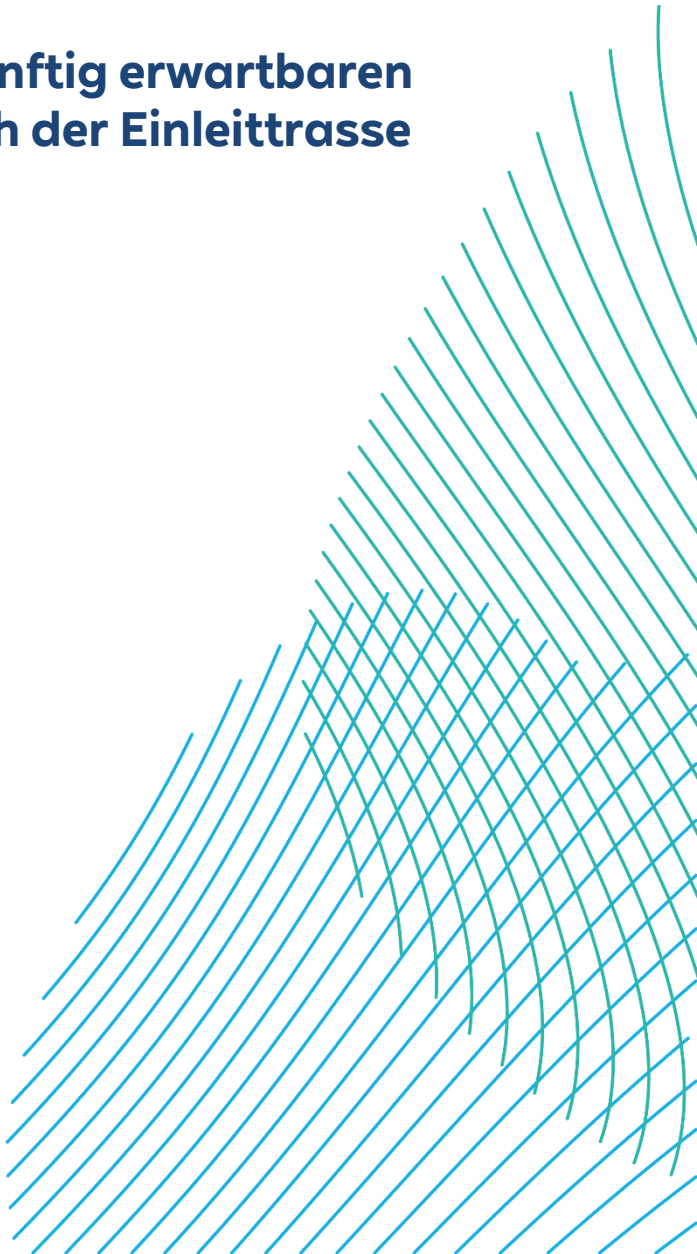
Tagebausee Hambach

Antrag auf Planfeststellung nach §68 Abs. 1 WHG

Anlage A-EBH-02

Untersuchungen zu den zukünftig erwartbaren Bodenbewegungen im Bereich der Einleittrasse Hambach

Januar 2026



RWE

Inhalt

1 Einleitung 1
2 Prognosen zu Kippensetzungen und Kippenhebungen 2
3 Kippensetzungsanalysen mittels markscheiderischer Messungen 6
4 Horizontale Bodenbewegungen 9
5 Fazit 9

1 Einleitung

Im Hinblick auf die projektierte Trasse für das Einleitbauwerk für den Tagebausee Hambach, welche über die Innenkippe des Tagebaus bis ins Tagebautiefste geführt wird (siehe Abb. 1), sind die möglichen Auswirkungen von Bodenbewegungen in Form von Setzungen, Hebungen sowie horizontalen Lageverschiebungen auf das Bauvorhaben zu berücksichtigen. Insbesondere sind die Auswirkungen von möglichen ungleichmäßigen Bodenbewegungen und daraus resultierenden Baugrundverformungen in die Planungen einzubeziehen.

Infolge der großräumigen Sümpfungsmaßnahmen sowie der Kornumlagerung innerhalb des verkippten Materials kommt es zu Setzungen der Geländeoberfläche, die im Allgemeinen gleichmäßig und damit unschädlich für bauliche Anlagen ablaufen. In Bezug auf die Setzungen der Kippe hängt die Größenordnung der Bewegung vor allem von der Art des verkippten Materials, der Kippenmächtigkeit und der Liegezeit der Kippe ab. Im Allgemeinen gilt: Je mächtiger die Kippe und je kürzer die Liegezeit, desto größer fallen die Kippensetzungen aus. Nach Fertigstellung der Kippe klingen die Setzungen mit fortlaufender Zeitdauer kontinuierlich ab. Von einer abgeschlossenen Setzung bzw. dem Erreichen der Vollsetzung spricht man bei RWE Power, wenn die Setzungsrate < 1 cm pro Jahr beträgt. Je nach Einzelfall kann der Zeitraum bis zur Vollsetzung mehrere Jahre bis Jahrzehnte in Anspruch nehmen.

Infolge der räumlichen Ausdehnung des Einleitbauwerkes über das gesamte Böschungssystem von der Rasensohle bis ins Tagebautiefste und damit nahezu die gesamte Höhe der Innenkippe liegen je nach Standort unterschiedliche Mächtigkeiten und Liegezeiten der Kippe vor, sodass die Setzungen entlang der Einleittrasse unterschiedlich stark ausgeprägt sind. Aufgrund der Mächtigkeiten von zum Teil über 300 m und der verhältnismäßig kurzen Liegezeit von unter 10 Jahren ist insgesamt noch mit signifikanten Kippensetzungen zu rechnen. Darüber hinaus ist zu beachten, dass auch die Beschaffenheit des verkippten Materials kleinräumig zu ungleichmäßigen Bodenbewegungen in Form differentieller Setzungen sowie Schiefstellungen führen kann.

Durch den sich im Zuge der Seebefüllung vollziehenden Grundwasserwiederanstieg gerät der Untergrund bzw. die Tagebaukippe wieder unter Auftrieb. Dies führt zu einer Verlangsamung der oben beschriebenen Setzungen und kann in weiterer Folge auch zu gegenläufigen Hebungseffekten führen. Darüber hinaus sind horizontale Bodenbewegungen möglich. Horizontale Bewegungen treten im Bereich der Tagebauböschungen infolge von Entlastung bzw. Konsolidierung insbesondere – aber nicht zwangsläufig ausschließlich – in Richtung der Fallinie der Böschungen auf.

Der vorliegende technische Fachbeitrag beschreibt die nach aktuellem Kenntnisstand vorliegenden bzw. zukünftig prognostizierten Bodenbewegungen im Bereich der Einleittrasse. In Kapitel 2 wird zunächst auf modellbasierte Prognosen zu Setzungen und Hebungen der Kippenflächen eingegangen. Diese Prognosen werden in Kapitel 3 durch die Analyse markscheiderischer Setzungsmessungen entlang der projektierten Einleittrasse validiert. Die durchgeführten Messungen lassen auch Rückschlüsse auf Horizontalbewegungen zu, worauf in

Kapitel 4 eingegangen wird. Nachfolgend wird lediglich die Prognose und Analyse der Bodenbewegungen thematisiert. Auf die Auswirkungen von Bodenbewegungen auf das geplante Einleitbauwerk und die im Rahmen der Planungen bzw. des Baus notwendigen Maßnahmen wird nicht eingegangen.

2 Prognosen zu Kippensetzungen und Verformungen

2.1 Kippensetzungsprognosen für den Bereich der Einleittrasse Hambach

Das geplante Einleitbauwerk wird überwiegend über die aufgeschüttete Innenkippe des Tagebaus geführt. Auf dieser finden – bedingt durch die ortsabhängig unterschiedliche Kippenmächtigkeit und die jeweiligen Eigenschaften der obersten verkippten Sedimentschichten – örtlich differente Kompaktionssetzungen statt. Zur Abschätzung der absoluten Setzungsbeträge steht ein eigens für den Tagebau Hambach entwickeltes Prognosemodell zur Verfügung, welches aus Setzungsmessungen abgeleitet wurde. Mithilfe des Prognosemodells ist es möglich, an ausgewählten Stellen, an denen keine Messwerte vorliegen, auf Grundlage der Kenntnis über den Aufbau der Kippe Setzungen zu prognostizieren.

Im Bereich des Einleitbauwerks wurden für Untersuchungspunkte im Abstand von 200 m Setzungsprognosen durchgeführt. Unter Berücksichtigung der Modellungenauigkeit sind der Projektplanung Angaben in Form eines Korridors zur Verfügung gestellt worden, der die ab Anfang 2029 zu erwartenden Setzungsbeträge definiert (siehe Tab. 1).

Kippenrestsetzung Seeeinleitung Hambach

ca. "Station"	Rechtswert (25…)	Hochwert (56…)	Restsetzung ab 2029 [m] von	bis	Bemerkungen
0	37.466	44.695	0,0	0,0	Schnittanfang, unverritztes Gelände
200	37.444	44.497	0,0	0,1	
400	37.424	44.298	0,1	0,2	
600	37.406	44.098	0,3	0,4	
800	37.451	43.904	0,2	0,4	
1.000	37.487	43.707	0,6	0,9	
1.200	37.520	43.510	0,6	1,0	
1.400	37.563	43.314	0,8	1,3	
1.600	37.598	43.117	0,8	1,4	
1.800	37.678	42.934	0,7	1,1	
2.100	37.843	42.684	0,6	0,9	
2.400	38.021	42.442	0,5	0,7	
2.600	38.134	42.277	0,3	0,5	
2.800	38.255	42.118	0,2	0,4	
3.000	38.370	41.955	0,1	0,2	
3.200	38.489	41.793	0,0	0,1	
3.400	38.601	41.628	0,0	0,0	Kippenböschungsfuß

Tab. 1: Setzungsprognosen in einem Punktabstand von 200 m entlang der Einleittrasse. Dargestellt sind die prognostizierten Setzungsbeträge ab 2029.

2.2 Verformungsprognosen für den Bereich der Einleittrasse Hambach mithilfe von FE-Berechnungen

Hintergrund

Während der Anstiege des See- und Gebirgswasserspiegels im Zuge der Tagebauseebefüllung ist der dominierende Einfluss auf die sich einstellenden Gebirgsverformungen die Auftriebswirkung des Wassers. Integral über alle Bereiche des vom Wasseranstieg beeinflussten Untergrundes ergeben sich so schließlich an den Oberflächen der Böschungen resultierende Verschiebungen, die für Bauwerke potentiell relevante Größenordnungen annehmen können.

Im Rahmen der Planungen für das Einleitbauwerk des Tagebaus Hambach wurde die Größenordnung dieser Verschiebungen zunächst auf Expertenseite abgeschätzt und nachfolgend durch eine Finite-Element-Berechnung (FE) vom Institut für Geotechnik (IGT) der TU Dresden (Institutsleiter Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Ivo Herle) in Form einer rechnerischen Modellprognose beziffert. Im Folgenden werden Angaben zum verwendeten FE-Modell, den zugrunde gelegten Stoffgesetzen sowie den erzielten Ergebnissen vorgestellt.

Als Grundlage für die FE-Berechnungen wurde ein bestehender geologischer Schnitt (Schnitt C-D) in der Nähe der Einleittrasse verwendet, der repräsentativ für den Regelprofilaufbau der Innenkippe des Tagebaus Hambach im Untersuchungsbereich ist. Die Einleittrasse verläuft nördlich vom Schnitt C-D und liegt damit näher an der früheren Randböschung des Tagebaus Hambach (siehe Abb. 2 und 3).

FE-Modell und Materialbeschreibung

Die FE-Berechnungen wurden mit dem Programm *tochnog* der Firma *Tochnog Professional* durchgeführt. Die Struktur des Modells basiert auf dem vorgenannten Schnitt C-D, dessen geometrische Struktur vom Wechsel der Regelprofile in Hoch- und Tiefschüttung der Tagebaukippe gekennzeichnet ist (siehe Abb. 2).

Die Stoffmodellparameter für Mischboden 2[1] trocken (M2t) und Mischboden 2 nass (M2n) sind früheren geotechnischen Untersuchungen entnommen, die im Zuge der Regelprofilentwicklung durchgeführt wurden. Für die Mischboden 1-Bereiche (M1)[2] der Tagebaukippe und das gesamte gewachsene Gebirge wurden entsprechende Stoffmodellparameter mit unterschiedlichen Lagerungsdichten angesetzt.

Wesentlich ist, dass die sich ergebenden Gebirgssteifigkeiten druckabhängig sind und daher mit zunehmender Tiefe anwachsen. Aufgrund der langen Befülldauer des Sees wurde drainiertes Materialverhalten angenommen. Die sich infolge des Anstiegs des See- und Grundwasserspiegels ergebenden Verschiebungen wurden entlang der Oberfläche des Böschungssystems ausgegeben.

[1] Hypoplastisches Stoffgesetz für feinkörnige Böden von Prof. David Mašin
[2] Hypoplastisches Stoffgesetz für grobkörnige Böden von Prof. von Wolffersdorff



Abb. 2: Lage des Schnitts C-D und des Einleitbauwerks.

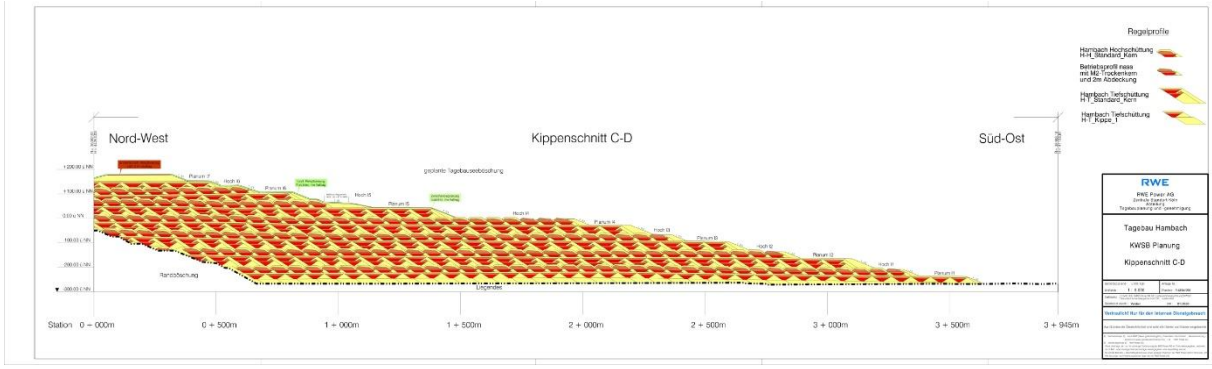


Abb. 3: Kippenschnitt C-D mit Regelprofilen.

Ergebnisse der FE-Berechnung

Abb. 4 zeigt in Verlaufsfarben die Hebungen, die infolge des Wasseranstiegs prognostiziert wurden.

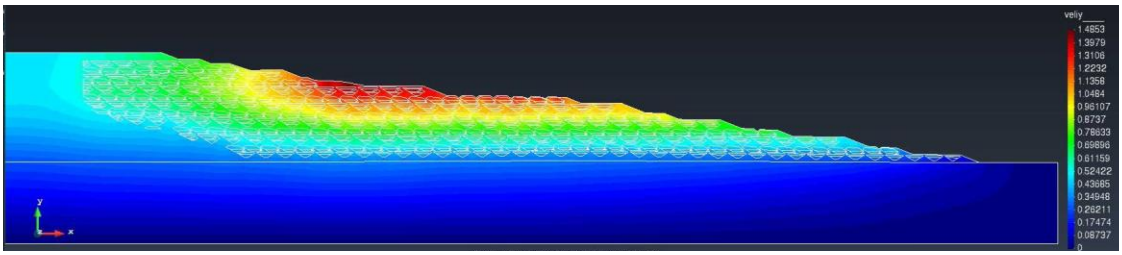


Abb. 4: Prognostizierte Hebungen infolge Wasseranstieg in Verlaufsfarbendarstellung.

Die zahlenmäßigen Verschiebungen in Vertikal- und Horizontalrichtung wurden vom IGT als Diagramm (siehe Abb. 5 linke Ordinate) dargestellt. Zusätzlich wird der Böschungsverlauf im ursprünglichen Zustand (durchgezogene schwarze Linie) und im verformten Zustand mit den prognostizierten Verschiebungen in 20-facher Überhöhung (gestrichelte schwarze Linie) dargestellt (siehe Abb. 5, rechte Ordinate).

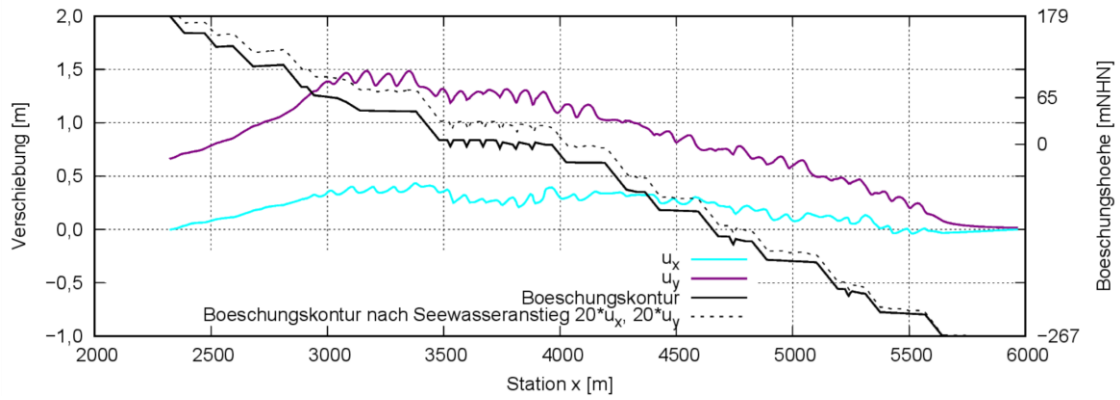


Abb. 5: Prognostizierte Horizontalverschiebungen (u_x) und Vertikalverschiebungen (u_y) entlang der Böschungsoberfläche.

In Abb. 6 ist der Verlauf des Böschungssystems nochmals dargestellt, wobei jeder Wechsel von Einzelberme und Einzelböschung mit einem Punkt markiert wurde. Die zwischen den jeweiligen Punkten liegenden Abschnitte wurden detailliert ausgewertet. Die berechnete maximale horizontale Verschiebung betrug 12,5 cm und die vertikale 17,5 cm. Beide Werte liegen deutlich unterhalb der zuvor im ersten Schritt konservativ abgeschätzten Maximalwerte von 30 cm in Horizontal- und 50 cm in Vertikalrichtung. Die abgeschätzten bezogenen Längenänderungen von vertikal 10 cm auf 10 m (0,01 m/m) und horizontal 5 cm auf 10 m (0,005 m/m) werden den ermittelten Berechnungsergebnissen zufolge ebenfalls unterschritten. Die ermittelten bezogenen Längenänderungen fallen in den Steilstrecken höher aus als in den Flachstrecken.

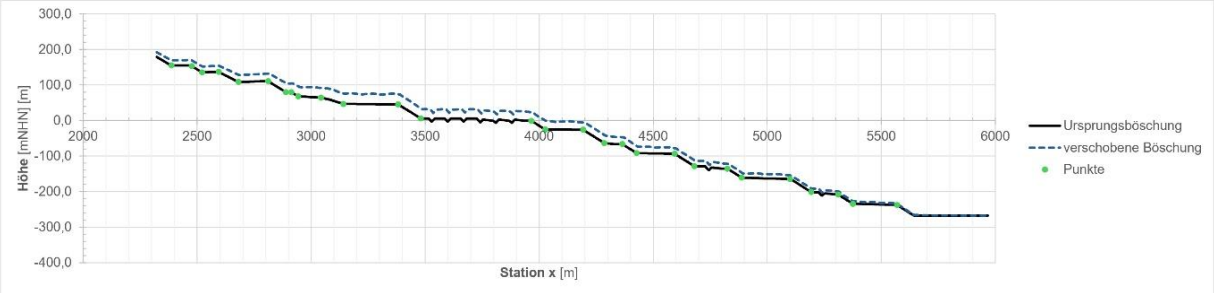


Abb. 6: Diagramm für die abschnittsweise prognostizierten Vertikal- und Horizontalverschiebungen.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass es sich bei der ebenen FE-Berechnung um eine zweidimensionale Betrachtung handelt, die keine räumlichen Wirkungen im Sinne von großräumigen Einspannungen im umgebenden Gebirge berücksichtigt und somit einen konservativen Ansatz darstellt. Hintergrund ist, dass, wie oben beschrieben, die Einleittrasse nördlich von der Schnittlage C-D und somit näher an der ehemaligen Tagebaurandböschung gelegen ist, wodurch eine Einspannwirkung anzunehmen ist, welche sich abmindernd auf die zu erwartenden Verschiebungen auswirkt.

FE-Berechnungen - Zusammenfassung

Mittels FE-Berechnung unter Verwendung fortgeschrittener Stoffgesetze wurden vom Institut für Geotechnik der TU Dresden die Verschiebungen im Schnitt C-D ermittelt, der in der Nähe der geplanten Trasse des Einleitbauwerks für den Tagebausee Hambach verläuft. Die für das Einleitbauwerk berechneten Verschiebungen entlang der Oberfläche des Böschungssystems fielen dabei niedriger aus, als die zuvor in einem ersten Schritt im Rahmen der Planungen für das Einleitbauwerk abgeschätzten und in Ansatz gebrachten Werte. Die ebene (d. h. zweidimensionale) FE-Berechnung bringt außerdem noch keine räumlichen Wirkungen in Ansatz und stellt somit eine konservative, auf der sicheren Seite liegende Betrachtung dar.

3 Kippensetzungsanalysen mittels markscheiderischer Messungen

Zur Analyse der Kippensetzungen wurden entlang der Einleittrasse im August 2022 auf den einzelnen Kippstrossen separate Messpunktfelder vermarkt, die jeweils aus mehreren Messpunkten im Abstand von 10 m bis 15 m bestehen und turnusmäßig mittels RTK-GNSS und Nivellement lage- und höhenmäßig beobachtet wurden. Während aus den RTK-GNSS-Messungen absolute Höhenveränderungen ableitbar sind, lassen die Nivellements Rückschlüsse auf relative Höhenveränderungen zwischen den Messpunkten zu. Die Nivellements erfolgten lokal pro Messpunktfeld, d. h. ohne absoluten externen Höhenanschluss und ohne Anschlussnivellements zwischen den Messpunktfeldern. Abb. 7 zeigt beispielhaft die Messpunktfelder auf den Strossen I2 und I3. Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse wurden aus Messungen im Zeitraum von August 2022 bis August 2025 abgeleitet. Aufgrund von betrieblichen

Aktivitäten mussten die Messpunkte seit Beginn der Messungen stellenweise neu vermarkt bzw. ersetzt werden, sodass den Auswertungen auf den einzelnen Strossen bzw. Messpunktfeldern teilweise unterschiedliche Betrachtungszeiträume zugrunde liegen, die nur einen Teil des Zeitraums von August 2022 bis August 2025 abdecken.

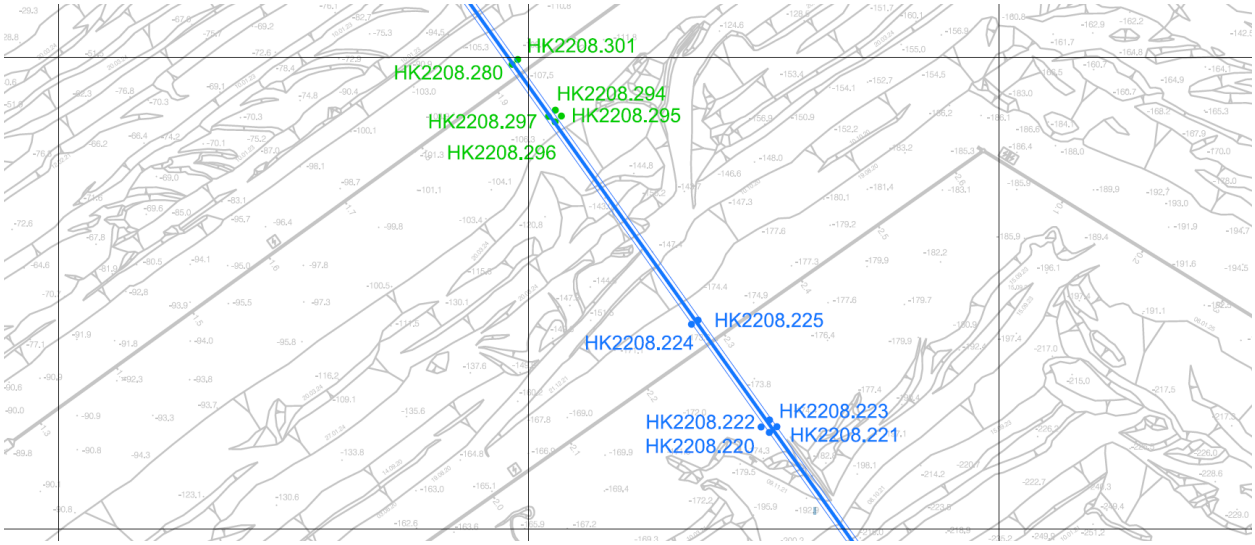


Abb. 7: Messpunktfelder auf den Kippstrossen I2 und I3.

Anhand der bisherigen Messergebnisse ist festzuhalten, dass die Setzungen erwartungsgemäß gleichmäßig ablaufen und sich weder bei den absoluten noch bei den relativen Messungen abrupte Setzungen zeigen.

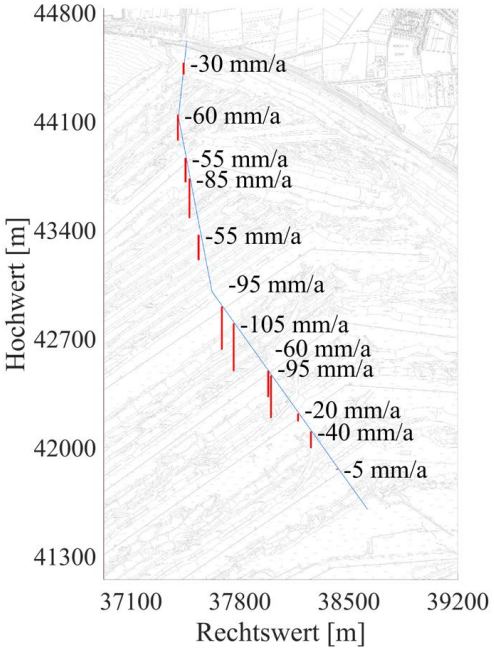
Aus den Nivellements geht hervor, dass es innerhalb der Messpunktfelder auf den einzelnen Strossen relative Setzungsunterschiede gibt. Diese liegen im Zeitraum von August 2022 bis August 2025 auflaufend in einer Größenordnung von wenigen mm bis maximal einigen cm. Da die Messpunkte infolge der betrieblichen Aktivitäten an einigen Stellen neu vermarkt bzw. ersetzt werden mussten – wodurch sich jeweils unterschiedlich lange Betrachtungszeiträume ergeben – wurden in weiterer Folge relative Setzungsgeschwindigkeiten zwischen den Messpunkten als Bezugsgröße herangezogen. Hierbei zeigt sich, dass ein Abklingen der relativen Setzungsgeschwindigkeiten von anfangs < 25 mm/a auf mittlerweile < 15 mm/a zu erkennen ist.

Anhand der RTK-GNSS-Messungen lässt sich das absolute Setzungsverhalten der einzelnen Messpunkte ermitteln. Diesbezüglich ist ein gleichmäßiger Setzungsverlauf erkennbar, der in Zukunft erwartungsgemäß logarithmisch abklingen sollte. Mit Stand von August 2025 liegen an den Messpunkten noch absolute Setzungsgeschwindigkeiten von bis zu > 1 dm/a vor. Wie man in Abb. 8 links erkennen kann, nehmen die Setzungsgeschwindigkeiten zur Mitte der Einleittrasse hin tendenziell zu, was im Wesentlichen auf die dort größeren Kippenmächtigkeiten zurückzuführen ist. Da die den absoluten Setzungsanalysen zugrundeliegenden RTK-GNSS-

Messungen eine Genauigkeit im cm-Bereich besitzen, ist auch die Genauigkeit der daraus abgeleiteten Setzungsgeschwindigkeiten in dieser Größenordnung anzusetzen.

Die aus den RTK-GNSS-Messungen abgeleiteten Setzungskurven lassen sich mit einer entsprechenden Unsicherheit in die Zukunft extrapolieren. Abb. 8 rechts zeigt diesbezüglich die auf Grundlage der bisherigen Setzungskurven extrapolierten Restsetzungsbeträge ab 2029. Hierbei zeigt sich analog zu den Setzungsgeschwindigkeiten, dass in der Mitte der Einleittrasse ab 2029 mit größeren Restsetzungen zu rechnen ist, die auch einen Betrag von 1 m überschreiten könnten. Im oberen und unteren Bereich der Einleittrasse reduzieren sich die Restsetzungsbeträge auf die Größenordnung von Dezimetern. Aufgrund der verhältnismäßig kurzen Beobachtungsdauer der Messpunkte und der im Vergleich dazu langen Extrapolation in die Zukunft, können die extrapolierten Restsetzungsbeträge ab 2029 bestenfalls mit einer Genauigkeit im dm-Bereich angegeben werden.

Insgesamt ist festzuhalten, dass die Ergebnisse der Messungen größenordnungsmäßig (aber nicht zwangsläufig am gleichen Ort) zu den auf Basis der Kippensetzungsprognosen abgeleiteten Werten passen (siehe Abschnitt 2).

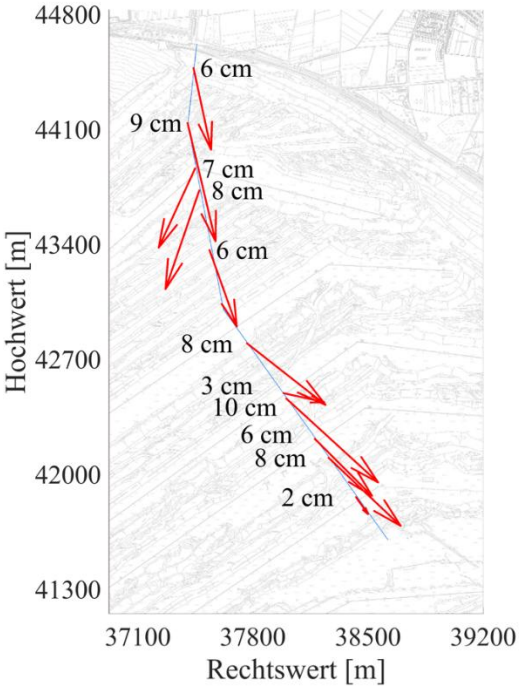


Strosse	Rechtswert	Hochwert	Restsetzung ab 2029
i6 hoch	25 37438	56 44477	0,0 – 0,2 m
ZW	25 37401	56 44142	0,3 – 0,5 m
i5 hoch	25 37450	56 43864	0,2 – 0,4 m
i5 tief	25 37475	56 43731	0,5 – 0,8 m
ZW	25 37534	56 43368	0,4 – 0,7 m
i4 hoch	25 37683	56 42907	0,7 – 1,2 m
i4 tief	25 37759	56 42799	0,8 – 0,9 m
i3 hoch	25 37982	56 42493	0,4 – 0,5 m
i3 tief	25 37999	56 42462	0,6 – 1,1 m
i2 hoch	25 38173	56 42217	0,0 – 0,1 m
i2 tief	25 38256	56 42102	0,1 – 0,3 m
i1	25 38424	56 41863	0,0 – 0,1 m

Abb. 8: Links: Aus RTK-GNSS-Messungen abgeleitete absolute Setzungsgeschwindigkeiten (Stand August 2025). Angegeben ist jeweils die mittlere Setzungsgeschwindigkeit pro Messpunktfeld. Die Setzungsgeschwindigkeiten variieren aufgrund der unterschiedlichen Kippenmächtigkeit und Liegezeit der Kippe. Rechts: Aus den Setzungskurven extrapolierte Restsetzungsbeträge ab 2029 für die einzelnen Messpunktfelder.

4 Horizontale Bodenbewegungen

Die RTK-GNSS-Messungen der Messpunktfelder lassen auch Rückschlüsse auf die horizontalen Bodenbewegungen zu. Gemäß Abb. 9 liegen die gemessenen Verschiebungsbeträge in horizontaler Richtung in der Größenordnung von einigen cm bis maximal 1 dm. Dabei ist zu beachten, dass die Verschiebungsbeträge aufgrund der Qualität der Messungen selbst eine Genauigkeit im cm-Bereich aufweisen. Darüber hinaus liegen aufgrund der betrieblich bedingten Neuvermarkung der Messpunkte unterschiedliche Betrachtungszeiträume zwischen 15 und 36 Monaten zugrunde. Ungeachtet dessen zeigt sich, dass die Richtung der Verschiebung tendenziell in Richtung der Falllinie der Böschungen zeigt, es jedoch stellenweise auch anteilige Bewegungen in Querrichtung gibt.



Strosse	Mittlere Lageverschiebung	Zeitraum der Messungen
i6 hoch	ca. 0.06 m	15 Monate
ZW	ca. 0.09 m	36 Monate
i5 hoch	ca. 0.07 m	18 Monate
i5 tief	ca. 0.08 m	32 Monate
ZW	ca. 0.06 m	30 Monate
i4 tief	ca. 0.08 m	18 Monate
i3 hoch	ca. 0.03 m	18 Monate
i3 tief	ca. 0.10 m	21 Monate
i2 hoch	ca. 0.06 m	36 Monate
i2 tief	ca. 0.08 m	36 Monate
i1 hoch	ca. 0.02 m	36 Monate

Abb. 9: Horizontale Verschiebungsbeträge abgeleitet aus RTK-GNSS-Messungen. Den einzelnen Werten liegen unterschiedliche Betrachtungszeiträume zugrunde (15 bis 36 Monate).

5 Fazit

Zur Bewertung von Verschiebungen im Bereich der Einleitrasse des Tagebaus Hambach vor und während der Seebefüllung wurden drei unterschiedliche Betrachtungen (Prognose, Messung und FE-Berechnung) durchgeführt.

Die markscheiderischen Setzungsprognosen basieren auf dem Ansatz bekannter Setzungsintensitäten, die aus umfangreichen Erkenntnissen in der Vergangenheit ermittelt wurden.

Die markscheiderischen Messungen erfassen das reale Setzungs- und Lageverhalten auf der Kippenoberfläche. Es zeigt sich, dass Setzungsprognosen und Setzungsmessungen im betrachteten Fall gut übereinstimmen. Die markscheiderischen Messungen zur Erfassung der Bodenbewegungen werden fortgeführt.

Um zusätzlich auch die zukünftigen Verschiebungen an der Kippenoberfläche infolge des Grundwasseranstiegs abschätzen zu können, wurde vom Institut für Geotechnik der TU Dresden eine FE-Berechnung durchgeführt und ausgewertet. Die so berechneten Verschiebungen liegen unterhalb der anfänglich auf Expertenseite abgeschätzten Werte und wurden bei der Dimensionierung des Bauwerks entsprechend berücksichtigt.