



Geotechnik

CBG 19 1060

18.03.2020

Planfeststellungsverfahren 380-kV-Freileitung Preilack-Streumen (559/560) Umverlegung im Bereich des Tagebaus Greifenhain - Unterlage 14.1 -

Geotechnische Entwurfs- und Genehmigungsplanung
zur Errichtung eines Mediendamms zur Sicherung der
das Kippengelände des ehemaligen Tagebaues
Greifenhain durchziehenden Hochspannungsleitungen

50hertz Transmission GmbH
Heidestraße 2
10557 Berlin
Telefon : 0049 (0) 30 5150-0
Internet : www.50hertz.com



**Planfeststellungsverfahren 380-kV-Freileitung
Preilack – Streumen (559/ 560)
Umverlegung im Bereich des Tagebaus Greifenhain
– Unterlage 14.1 –**

Geotechnische Entwurfs- und Genehmigungsplanung

zur Errichtung eines Mediendammes zur Sicherung der das
Kippengelände des ehemaligen Tagebaues Greifenhain
durchziehenden Hochspannungsleitungen

Objekt ehemaliger Tagebau Greifenhain,
Innenkippenflächen Teilfläche (TF) 1 und 2

Lage Landkreis Spree-Neiße
Brandenburg

Auftraggeber 50hertz Transmission GmbH
Heidestraße 2, 10557 Berlin

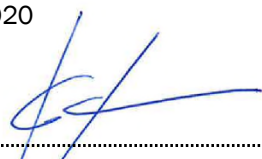
Auftragnehmer G.U.B. Ingenieur AG
Niederlassung Cottbus
Straße der Jugend 33, 03050 Cottbus
Telefon 0049 355 35736-0
Telefax 0049 355 35736 29
E-Mail info@gub-ing.de
Internet www.gub-ing.de

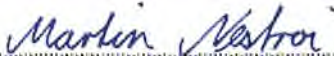
Bearbeiter Dipl.-Ing. Falk Hoffmann
Dipl.-Ing. (FH) Martin Nestroi

Projekt-Nr. CBG 19 1060

Umfang Text: 56 Seiten
Anlagen: 21 Blätter

Datum 18.03.2020


Dipl.-Ing. Falk Hoffmann
Vom Sächsischen Oberbergamt
anerkannter Sachverständiger
für Geotechnik


Dipl.-Ing. (FH) Martin Nestroi

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Deckblatt	
Titelblatt	
Inhaltsverzeichnis	
Tabellenverzeichnis	
Bildverzeichnis	
Anlagenverzeichnis	
1 Veranlassung und Aufgabenstellung	7
2 Arbeitsunterlagen	8
3 Grundlagen der Entwurfs- und Genehmigungsplanung	11
3.1 Allgemeine Angaben	11
3.2 Regionalgeologische Situation	12
3.3 Entstehung des Kippengeländes	13
3.4 Geotechnische Situation	15
3.5 Hydrogeologische Situation	17
3.6 Zu schützende Objekte	18
4 Technologie und Verfahrensbeschreibung	20
5 Bodenmechanische Standsicherheitsberechnungen zur Dimensionierung des Mediendammes	24
5.1 Einleitung	24
5.2 Erdstatische Berechnungskennwerte	25
5.3 Sicherheitskonzept und Berechnungsverfahren	26
5.4 Lastannahmen	28
5.5 Berechnungsfälle	30
5.6 Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen	33
6 Prüfung der Standsicherheit der vor den Einwirkungen der RDV zu schützenden Objekten	35
6.1 Untergrunddeformationen	35
6.2 Verflüssigungsbedingte Bodenbewegungen	36
6.3 Erschütterungen	37
6.4 Lärmimmission	37
6.5 Schlussfolgerungen	39



7	Beschreibung der Baumaßnahme	40
7.1	Vorbereitende Arbeiten	40
7.1.1	Baustelleneinrichtung	40
7.1.2	Holzungs- und Rodungsarbeiten	40
7.1.3	Wegebau und Befestigung des Montageplatzes	40
7.1.4	Abfallentsorgung	43
7.2	Dynamische Kippenstabilisierung	44
7.2.1	Verdichtungszielstellung	44
7.2.2	Verdichtungsleistung Tiefenverdichtung (RDV)	45
7.2.3	Rütteltechnologie	47
7.2.4	Massenzugabe während der RDV	49
7.3	Tiefenwirksame Oberflächenverdichtung	50
7.4	Befestigung der Maststandorte	51
7.5	Mengen- und Kostenberechnung	51
7.6	Bauablauf und Bauzeiten	52
8	Baubegleitendes Mess- und Kontrollprogramm	53
9	Geotechnische Vorgaben und Verhaltensanforderungen	56



Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1:	Koordinaten Bearbeitungsgebiet Gauß-Krüger RD 83 (Bessel)	11
Tabelle 3-2:	Koordinaten Bearbeitungsgebiet ETRS 89	11
Tabelle 5-1:	Erdstatische Berechnungskennwerte für die im Bearbeitungsgebiet im Untergrund anstehenden Böden nach [09]	25
Tabelle 5-2:	Lastannahmen aus Masten	29
Tabelle 7-1:	Verdichtungsleistung der Rütteldruckverdichtung im Überblick	45
Tabelle 8-1:	Mess- und Kontrollprogramm Schwingungsmessungen	53

Bildverzeichnis

Abbildung 3-1:	Zeitliche und räumliche Entwicklung des Tagebaues (aus [08]).	13
Abbildung 3-2:	Tagebau Greifenhain im Jahr 1938 (Foto: Archiv Holger Dorn, G.U.B. Ingenieur AG)	14
Abbildung 3-3:	Geräteeinsatzschema Tagebau Greifenhain bis ca. 1962 (aus [23]).	14
Abbildung 4-1:	Rütteldruckverdichtung am Werkstattgraben Süd im ehemaligen Tagebau Greifenhain (Foto Falk Hoffmann, G.U.B. Ingenieur AG, 05/2019)	23
Abbildung 5-1:	Prinzipskizze Berechnungsfall BF 1	30
Abbildung 5-2:	Prinzipskizze Berechnungsfall BF 2	31
Abbildung 5-3:	Prinzipskizze Berechnungsfall BF 3	32
Abbildung 7-1:	Prinzipskizze der RDV-Technologie	48
Abbildung 7-2:	Oberflächenverdichtung mittels Verfahren der Hochenergetischen Dynamischen Schlagverdichtung (Landpac-Verfahren), Foto Falk Hoffmann	50



Anlagenverzeichnis

- Anlage 1** Übersichtskarte mit territorialer Einordnung des Bearbeitungsgebietes
M 1 : 50 000
- Anlage 2** Lagepläne mit geotechnischer und hydrologischer Situation
- Anlage 2.1 Lageplan mit aktueller geotechnischer und hydrologischer Situation
M 1 : 5 000
- Anlage 2.2 Lageplan mit prognostizierten Hydroisohypsen im Endzustand und Grundwasserflur-
abständen im Kippengelände
M 1 : 5 000
- Anlage 3** Lageplan mit Sicherungsmaßnahme Mediendamm
M 1 : 2 000
- Anlage 4** Geotechnische Profile
- Anlage 4.1 GP Mediendamm
M 1 : 1 000
- Anlage 4.2 GP M95n
M 1 : 500
- Anlage 4.3 GP M96n
M : 1 : 500
- Anlage 4.4 GP M97n
M : 1 : 1 000
- Anlage 4.5 Regelquerschnitt Baustraße
M : 1 : 50
- Anlage 5** Ergebnisse der Standsicherheitsuntersuchungen
8 Blätter
- Anlage 6** Mengen- und Kostenberechnung
3 Blätter
- Anlage 7** Bauablauf und Bauzeitenplan
1 Blatt



1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Im Ergebnis des Braunkohlenabbaues im ehemaligen Tagebau Greifenhain entstanden großflächige Kippenbereiche.

Das Kippengelände der Innenkippe des ehemaligen Tagebaues Greifenhain wird in Ost-West-Richtung durch die **380 kV-Hochspannungsfreileitung, Trasse Preilack-Streumen 559/560**, durchzogen. Der Netzbetreiber dieser Hochspannungsleitung ist die 50hertz Transmission GmbH.

Das Kippengelände der Innenkippe Greifenhain ist aufgrund der Untergrundsituation und den daraus resultierenden bergbaubedingten Gefährdungen zur Gewährleistung der öffentlichen Sicherheit in diesem Terrain abgesperrt.

Zur Beseitigung der bergbaubedingten Gefährdungen, die sich mit dem weiteren Anstieg des Grundwassers noch erhöhen, werden derzeit und zukünftig bergmännische Sanierungsarbeiten durch die Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft (LMBV mbH) ausgeführt.

Mit [11] und [14] erfolgten auf der Basis der aktuellen geotechnischen Unterlagen [06], [09] und [10] konkrete und umfangreiche Bewertungen der Gefährdungssituation für die Maststandorte der 380 kV-Hochspannungsleitung in der Innenkippe des ehemaligen Tagebaues Greifenhain. Im Ergebnis wurden Standsicherheitsdefizite der Masten im Falle einer Verflüssigung des wassergesättigten Kippenbodens bei Erreichen des prognostizierten Endwasserstandes sowie die Erforderlichkeit zur Sicherung und Sanierungsmaßnahmen herausgearbeitet.

In der geotechnischen Vorplanung [15] wurde die Sicherung der gefährdeten Maststandorte durch Verlegung der Hochspannungsleitung auf Stützkörper geprüft und zwei mögliche Trassenvarianten untersucht. Durch den Netzbetreiber 50hertz Transmission GmbH erhielt die Trassenvariante 2 entsprechend [15] den Vorzug. Diese Neubautrasse verläuft weitgehend außerhalb der Innenkippe des Tagebaues Greifenhain und tangiert lediglich das nordwestliche Kippengelände. Der Verlauf der favorisierten und abgestimmten Leitungstrasse ist in den Lageplänen der Anlage 2.1 und Anlage 2.2 dargestellt. Aus der Darstellung ist ersichtlich, dass sich zukünftig zwei Maststandorte (Mast M95n und Mast M96n) auf Kippengelände befinden und durch einen Mediendamm (verdichteten Stützkörper) gesichert werden müssen.

Die 50hertz Transmission GmbH beauftragte gemäß [03] die G.U.B. Ingenieur AG mit der geotechnischen Entwurfs- und Genehmigungsplanung zur Errichtung des Mediendamms für die o.g. Leitungstrasse. Sanierungsziel ist die Sicherung der im Kippengelände gegründeten Maststandorte sowie die Schaffung geotechnisch sicherer Ausgangsbedingungen für die Durchführung von Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen entlang der Leitungskorridore.



2 Arbeitsunterlagen

- [01] Anfrage zur Erarbeitung eines Angebotes für eine Entwurfs- und Genehmigungsplanung mit entsprechenden Mengengerüsten und Kostenberechnung sowie bodenmechanischen Standsicherheitsuntersuchungen zur Errichtung eines Mediendamms zur Sicherung der 380 kV-Hochspannungsleitung im Kippengelände des ehemaligen Tagebaues Greifenhain auf der Grundlage der Vorplanung vom 27.08.2019, 50hertz Transmission GmbH, Berlin, telefonisch/ mündlich durch Frau Lippitz vom 25.11.2019
- [02] Angebot vom 25.11.2019, G.U.B. Ingenieur AG, Niederlassung Cottbus
- [03] Auftrag der 50hertz Transmission vom 12.12.2019
- [04] Anfrage und Bitte um Zustimmung zur Verwendung von Arbeitsmaterialien (Bergmännisches Risswerk, hydrologische Berechnungen, Orthofotos usw.) der LMBV mbH für die Geotechnische Vorplanung, G.U.B. Ingenieur AG, Cottbus, 16.04.2019
- [05] Erteilung der Zustimmung zur Anfrage und Bitte [04], LMBV mbH, Senftenberg, 02.05.2019
- [06] Geotechnischer Bericht zu den Untergrundverhältnissen an den Maststandorten der Hochspannungsleitungen im Kippengelände des ehemaligen Tagebaues Greifenhain, G.U.B. Ingenieur AG, Cottbus, 08.07.2016
- [07] Bodenmechanischer Standsicherheitsnachweis zur Bewertung der Grund- und Böschungsbruchsicherheit von Kippenflächen im ehemaligen Tagebau Greifenhain: Teilfläche (TF) 1: Werkstattkomplex Greifenhain und Randbereiche (CBG 07745), G.U.B. Ingenieur AG, Cottbus, 31.07.2008
- [08] 1. Präzisierung zum Bodenmechanischen Standsicherheitsnachweis zur Bewertung der Grund- und Böschungsbruchsicherheit von Kippenflächen im ehemaligen Tagebau Greifenhain: Teilfläche (TF) 2: Vernässungsflächen Straßentieflagen für die Verbindung der Ortschaften Casel, Göritz und Greifenhain einschließlich angrenzender Kippenbereiche, G.U.B. Ingenieur AG, Cottbus, 21.11.2013
- [09] Geotechnische Dokumentation der Feld- und Laboruntersuchungen mit Ableitung von Berechnungskennwerten als Grundlagenermittlung für Standsicherheitsnachweise (CBG 16 0666), G.U.B. Ingenieur AG, NL Cottbus, 31.03.2017
- [10] 2. Präzisierung zum Bodenmechanischen Standsicherheitsnachweis zur Bewertung der Grund- und Böschungsbruchsicherheit von Kippenflächen im ehemaligen Tagebau Greifenhain: Teilfläche (TF) 2: Vernässungsflächen Straßentieflage für die Verbindung der Ortschaften Casel, Göritz und Greifenhain einschließlich angrenzender Kippenbereiche, (CBG 16 0666), G.U.B. Ingenieur AG, Cottbus, 30.06.2017
- [11] Bodenmechanische Standsicherheitsberechnungen zur Standsicherheit der Maststandorte M91 und M93 der 380-kV Hochspannungsfreileitung Trasse Preilack-Streumen im Kippengelände des ehemaligen Tagebaues Greifenhain (CBG 16 1022), G.U.B. Ingenieur AG, NL Cottbus, 21.02.2017



- [12] 1. Nachtrag zum Bodenmechanischen Standsicherheitsnachweis, Nachweis der Gefährdungsfreiheit zur Freileitung des Kippengeländes im Bereich der Auffüllfläche F, G.U.B. Ingenieur AG, Cottbus, 19.06.2017
- [13] Geotechnisches Gutachten zum Nachweis des Sanierungserfolges nach Anwendung der Rütteldruck- und Oberflächenverdichtung im Bauabschnitt Werkstattgraben Nord (CBG 18 0840), G.U.B. Ingenieur AG, NL Cottbus, 09.02.2018
- [14] Geotechnisch- bergbauliche Stellungnahme für die das Kippengelände des ehemaligen Tagebaues Greifenhain durchziehende 380 kV- Hochspannungsleitung (CBG 18 0972), G.U.B. Ingenieur AG, Cottbus, 18.01.2019
- [15] Geotechnische Vorplanung zur Errichtung eines Mediendamms zur Sicherung der das Kippengelände des ehemaligen Tagebaues Greifenhain durchziehenden Hochspannungsleitungen (CBG 19 0432), G.U.B. Ingenieur AG, Cottbus, 27.08.2019
- [16] Bergbauliche Stellungnahme der LMBV mbH zur Errichtung der 380 kV-Freileitung Preilack-Streumen sowie die Planung eines Mediendamms im Tagebau Greifenhain, LMBV mbH, Planungskoordination Lausitz VS 12, Senftenberg, 11.02.2020
- [17] Trassenführung und Entwurf für die Zuwegung (pdf- und dwg-Datei), beispielhafte Fundamentabmessungen und Pfahlkopfausbildungen, 50hertz Transmission, Berlin, E-Mail vom 15.01.2020
- [18] Statische Berechnungen für Fundamentkräfte, 50hertz Transmission, Berlin, E-Mail vom 28.01.2020
- [19] Trassenführung mit Ergänzungen (Lage- und Schnittdarstellung, pdf- und dwg-Datei), 50hertz Transmission, Berlin, E-Mail vom 31.01.2020
- [20] Trassenführung mit Ergänzungen (Lage- und Schnittdarstellung, pdf- und dwg-Datei), K2E Engineering GmbH, Verden, E-Mail vom 17.02.2020
- [21] Schutzzone für Trassenführung (Lagedarstellung, dwg-Datei), K2E Engineering GmbH, Verden, E-Mail vom 20.02.2020
- [22] Vorgabe der erforderlichen Arbeits- und Montageflächen für die Masterrichtung bzw. Mastwartung, 50hertz Transmission, Berlin, E-Mail vom 13.06.2020
- [23] Braunkohlentagebau und Sanierung im Raum Greifenhain/Gräbendorf, LMBV mbH, 2007
- [24] Befahrung der Trassenvarianten mit 50hertz, K2E und G.U.B. vom 18.07.2019 mit Befahrungsprotokoll, K2 Engineering GmbH, Verden (Aller), 19.07.2019
- [25] Bergmännisches Risswerk der LMBV mbH, Stand 12/ 2018 mit Ergänzungen vorliegender Messungen und Meldungen bis Oktober 2019, übergeben durch Markscheiderei am 23.10.2019



- [26] Grundwassergleichen für das Jahr 2019, erstellt und übergeben durch LMBV mbH, 01/2020
- [27] Aktuelle Messergebnisse aus ausgewählten Messstellen des Grundwassermonitorings der LMBV mbH, LMBV-Datenbank TEKTOVIEW, Stand 06/2019
- [28] Fortführung des hydrogeologischen Großraummodells (SAM) für die Tagebauseen Greifenhain und Gräbendorf, Berücksichtigung des künftigen Waldsees im numerischen Modell, G.U.B. Ingenieur AG, Freiberg, 27.06.2016
- [29] Zusammenstellung „Ergebnisse von Schwingungsmessungen“ in Abhängigkeit von der Art der dynamischen Kippenstabilisierung, der Entfernung zur Erschütterungsquelle und dem Medium für Schwingungsfortpflanzung, Arbeitsmaterial der G.U.B. Ingenieurgesellschaft Lausitz GmbH, Stand Januar 2005
- [30] Schalltechnischer Messbericht vom 15.05.2002 Rütteldruckverdichtung und Dynamische Intensivverdichtung, G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH, Büro Zwickau
- [31] Allgemeine Verwaltungsvorschrift (AVV) zum Schutz gegen Baulärm – Geräuschimmissionen, 19.08.1970
- [32] Telefongespräch mit Herrn Fedder, K2E Engineering GmbH, vom 16.03.2020 zur Holzung und Rodung des Schutzbereiches der geplanten 380 kV-Hochspannungsleitung
- [33] Arbeitsblatt DWA-A 904, Richtlinie für den ländlichen Wegebau, Oktober 2005
- [34] ZTVE- StB 09, Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau, Ausgabe 2009
- [35] ZTV SoB-StB, Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau, Ausgabe 2004
- [36] RSTO 12, Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen
- [37] Arbeitsanweisung T/A/1/17, Verwahrung bzw. Sicherung von Brunnen und Grundwassermessstellen (GWM), LMBV mbH, 01.02.2017



3 Grundlagen der Entwurfs- und Genehmigungsplanung

3.1 Allgemeine Angaben

Das Kippengelände des ehemaligen Tagebaues Greifenhain liegt zwischen den Ortslagen Greifenhain im Süden, Radensdorf im Südosten, Casel im Norden und Göritz im Westen in den Landkreisen Spree-Neiße und Oberspreewald-Lausitz des Bundeslandes Brandenburg.

Die Kippenfläche entstand durch die Innenverkipfung bei der Braunkohलगewinnung im Tagebau Greifenhain. Durch die LMBV mbH wurde die Innenkippe Greifenhain für die Durchführung der Sanierungsarbeiten in folgende vier Teilflächen gegliedert:

- + Teilfläche TF 1 Werkstattkomplex Greifenhain und Randbereiche
- + Teilfläche TF 2 Vernässungsflächen Straßentieflage für die Verbindung der Ortschaften Casel, Göritz und Greifenhain einschließlich angrenzender Kippenbereiche
- + Teilfläche TF 3 Vernässungsfläche LMR-Platz und angrenzende Kippenbereiche
- + Teilfläche 3E Gebiet westlich der Buchholzer Höhe bis zum Altdöberner See

Das **Bearbeitungsgebiet** befindet sich im nördlichen Abschnitt der **Teilfläche TF 2** und wird im Wesentlichen von folgenden Koordinaten begrenzt:

Koordinatensystem:

Tabelle 3-1: Koordinaten Bearbeitungsgebiet Gauß-Krüger RD 83 (Bessel)

Punkt	Hochwert	Rechtswert
1	⁵⁷ 26 877,17	⁵⁴ 39 223,71
2	⁵⁷ 27 368,41	⁵⁴ 38 977,26
3	⁵⁷ 27 963,91	⁵⁴ 40 164,20
4	⁵⁷ 27 427,66	⁵⁴ 40 410, 65

Tabelle 3-2: Koordinaten Bearbeitungsgebiet ETRS 89

Punkt	Hochwert	Rechtswert
1	⁴³ 91 12,02	⁵⁷ 25 031,16
2	⁴³ 88 65,65	⁵⁷ 25 522,41
3	⁴⁴ 00 52,10	⁵⁷ 26 117,64
4	⁴⁴ 02 98,47	⁵⁷ 25 626,60

Die Abgrenzung der Teilflächen TF 1 bis TF 3E sowie das Bearbeitungsgebiet ist aus der Übersichtskarte der Anlage 1 ersichtlich. Vor dem Beginn des Braunkohlenabbaues war das Untersuchungsgebiet durch eine relativ kleinflächige Wald-, Wiesen- und Feldlandschaft geprägt.

Das Gelände war flach wellig, z.T. auch eben. Die Geländehöhen befanden sich etwa zwischen +78 m NHN bis +88 m NHN.

Die wasserwirtschaftlichen Verhältnisse waren geprägt durch das Greifenhainer Fließ. Die vorbergbaulichen Grundwasserflurabstände lagen bei 0 m bis 3 m. Es gab sowohl Vernässungsflächen als auch durch Melioration für die Landwirtschaft trocken gelegtes Gelände.

3.2 Regionalgeologische Situation

Die Braunkohlenlagerstätte Greifenhain mit dem abgebauten 2. Lausitzer Flöz entstand im Miozän. Die Braunkohlenlagerstätte wurde zum Teil am Ende des Tertiärs durch Südost-Nordwest verlaufende geologische Störungen beeinflusst, welche zu Höhenunterschieden bis zu 25 m führten. Auch Auslaugungsvorgänge im Untergrund führten zu Muldenbildungen mit höheren Absenkungsbeträgen.

Die Lagerstätte ist weiterhin stark durch glaziale Einflüsse der Elster- und Saale-Vereisung geprägt. Das Kohlenfeld wird weitgehend durch Pleistozäne Rinnen begrenzt. Dies sind die Caseler und Redderner Rinne im Norden, die Göllnitz-Wormlager und die Peitzendorfer Rinne im Westen, die Großräscher Rinne im Süden und die Sedlitz-Greifenhainer Rinne im Osten.

Im südlichen Kohlenfeldbereich querte der Lausitzer Grenzwall als Endmoräne der Saale III-Vereisung mit Geländehöhen von bis +135 m NHN die Lagerstätte. Sonst lag die Geländehöhe vor dem Abbau bei ca. +80 m NHN bis +85 m NHN im Osten bzw. +73 m NHN bis +79 m NHN im Westen. Tagebauliegendes bildete der Liegendenschluff des 2. Lausitzer Flözes. Im Bereich der Leitungstrasse befindet sich das Tagebauliegende zwischen +29 m NHN und +35 m NHN, im Mittel bei ca. +33 m NHN.

Die mittlere Flözmächtigkeit lag bei ca. 10 m, die mittlere Deckgebirgsmächtigkeit zwischen 35 m bis 40 m. Das Deckgebirge setzte sich aus folgenden Schichten zusammen (vom Liegenden zum Hangenden):

- + Hangendschluff des 2. Lausitzer Flözes,
- + tertiäre Sande des Grundwasserleiters G 400,
- + Schluffe des Oberbegleiterkomplexes des 2. Lausitzer Flözes,
- + tertiäre Sande des Grundwasserleiters G 300 und
- + pleistozäne Sande des Grundwasserleiters G 100 mit eingelagerten Geschiebemergeln und Bänder- oder Beckenschluffen.



3.3 Entstehung des Kippengeländes

Der Aufschluss des ehemaligen Tagebaues Greifenhain begann im April 1936 östlich der Tagesanlagen Greifenhain (Werkstattkomplex) als Birnenaufschluss mit einem südlich gelegenen Drehpunkt (siehe Abbildung 3-1). Der unter Punkt 3.2 beschriebene, bis zu 38 m mächtige Abraum wurde anfänglich auf einer Außenhalde (Halde Illmersdorf) verbracht. Die Aufschlussentwicklung war zunächst auf den Einsatz einer Förderbrücke ausgelegt, die jedoch mit Kriegsbeginn infolge Materialmangels nicht gebaut werden konnte. Der Aufschlussbetrieb wurde 1940 beendet.

Die erste Kohleförderung begann im November 1937.

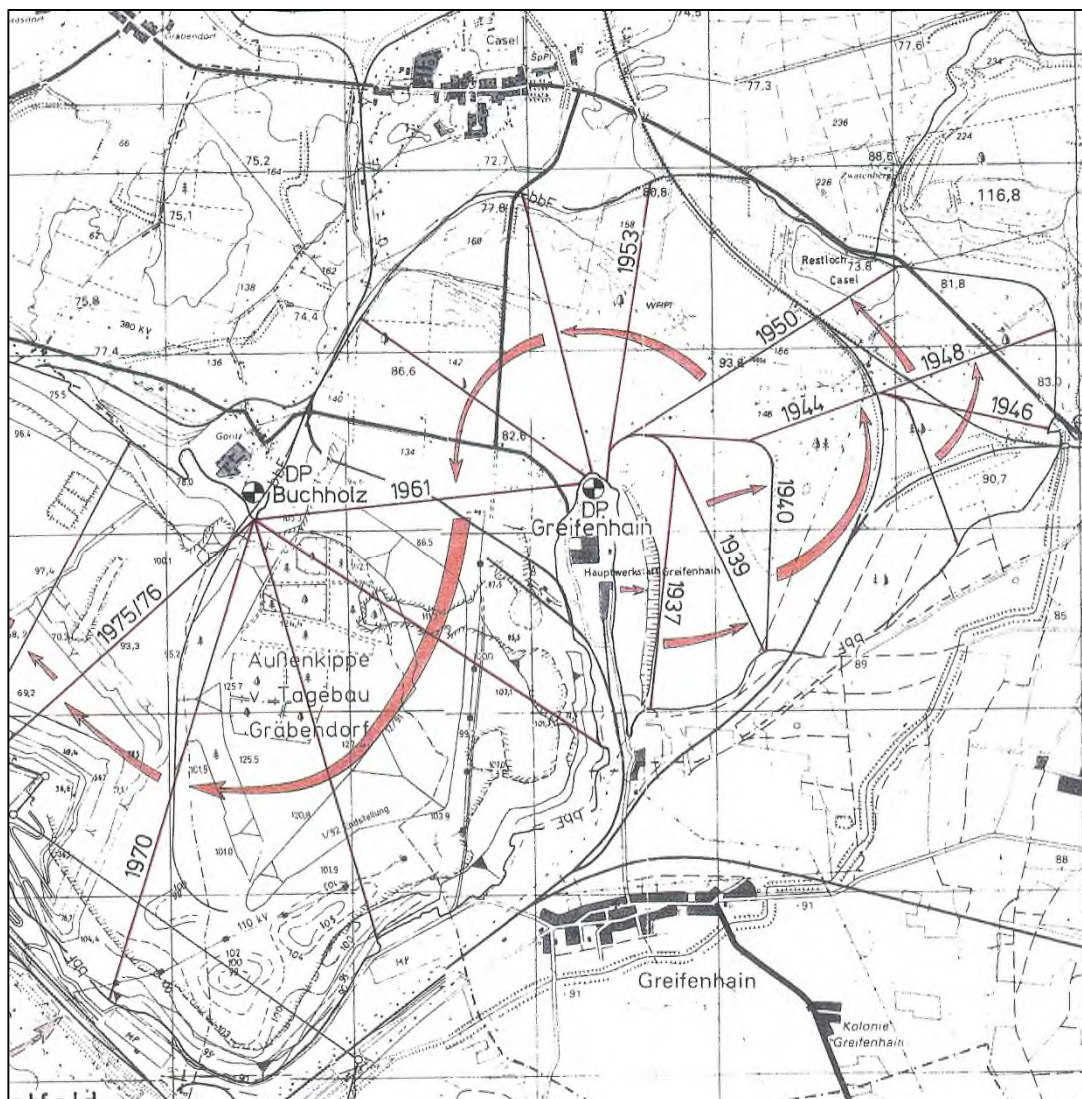


Abbildung 3-1: Zeitliche und räumliche Entwicklung des Tagebaues (aus [08]).

Die Situation im Tagebau, etwa im zweiten Jahr des Betriebs, zeigt die Abbildung 3-2.

Die Gewinnungsseite wurde linksdrehend um den Drehpunkt Greifenhain aufgeschwenkt. Mit der Umstellung des Tagebaues auf Innenverkippung wurde östlich des Werkstattkomplexes Greifenhain ein Drehpunkt für die bis zu 8 übereinander angeordneten Pflugkippen eingerichtet. Die Pflugkippen konnten so im gleichen Schwenksinn entwickelt werden. Die einzelnen Pflugkippenmächtigkeiten betrugen durchschnittlich 6 m bis 7 m.

In den Jahren 1961 bis 1962 erfolgte schrittweise die Umstellung des Tagebaues auf den Drehpunkt Buchholz. Mit dieser Umstellung kam ab 1962 auf der Kippenseite ein Absetzer zum Einsatz.

Der Geräteeinsatz im Tagebau Greifenhain, welcher für die Entstehung des Untergrundes im Bereich der beiden Leitungstrassen von Bedeutung ist, geht aus der Abbildung 3-3. hervor.

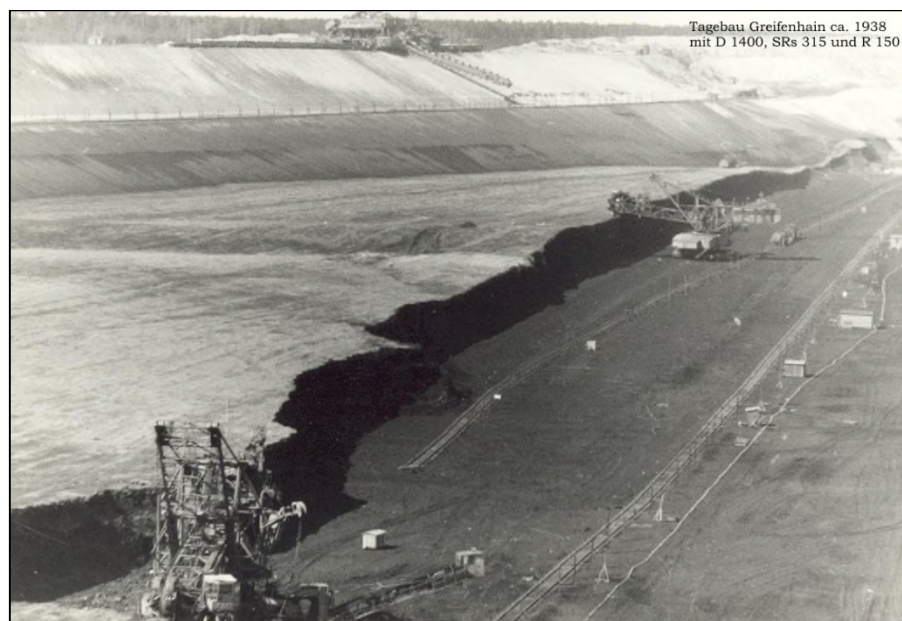


Abbildung 3-2: Tagebau Greifenhain im Jahr 1938 (Foto: Archiv Holger Dorn, G.U.B. Ingenieur AG)

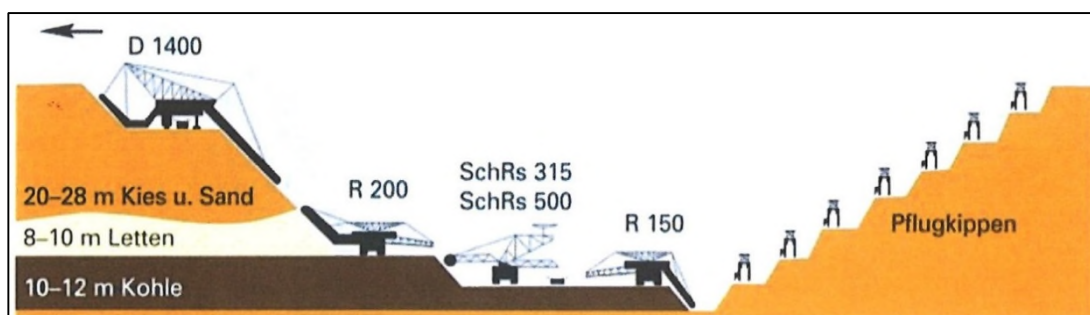


Abbildung 3-3: Geräteeinsatzschema Tagebau Greifenhain bis ca. 1962 (aus [23]).

Im Zuge des Tagebaubetriebes verblieben als größere Hohlformen im Gelände

- + das Tagebaurestloch Casel, am nordöstlichen Rand der Innenkippe (unmittelbar an der Landstraße L 52) und
- + das Tagebaurestloch Greifenhain, der künftige Altdöberner See im Westen der Innenkippe (bis zur Tagebauendstellung reichend).

3.4 Geotechnische Situation

Der Untergrund in der Innenkippe des ehemaligen Tagebaues Greifenhain im Bearbeitungsgebiet besteht aus Pflugkippen (vgl. Abbildung 3-3). Je nach geologischer Zusammensetzung des ehemaligen Deckgebirges schwankt die Zusammensetzung des Kippenbodens. Die Lagerungsdichte ist von der Art der Verkipfung geprägt. Gemäß [09] kommen im Kippengelände des Bearbeitungsgebietes folgende Kippenböden vor, die für erdstatische Berechnungen standsicherheitsrelevant sind.

- + nicht bis schwach schluffige, trocken verkippte Sande (Pflugkippen) → entspricht der Materialklasse MK 1,
- + mäßig bis stark schluffige, trocken verkippte Sande → entspricht der Materialklasse MK 2.

Die nicht bis schwach schluffigen, trocken verkippten Sande neigen aufgrund ihrer verkippungstechnologisch bedingten sehr lockeren bis lockeren Lagerungsdichte im wassergesättigten Zustand zur Verflüssigung. In diesem Fall reduziert sich die vorhandene wirksame Scherfestigkeit des Kippenbodens ($\varphi' = 30^\circ$ bis 34°) auf die undrained Restscherfestigkeit ($\varphi_{u,R} < 3^\circ$).

Der Kippenboden ist im Verflüssigungsfalle nicht mehr in der Lage, Lasten zu tragen. Es kommt im ebenen Kippengelände bei Überlastung der erdfeuchten Bodenzone zu Grundbrüchen und im Bereich von Böschungen zum Böschungsgrundbruch. Die daraus resultierenden bergbaubedingten Gefährdungen wurden ausführlich im Standsicherheitsnachweis [10] und in der geotechnisch- bergbaulichen Stellungnahme für die das Kippengelände des ehemaligen Tagebaues Greifenhain durchziehende 380 kV- Hochspannungsleitung [14] erläutert.

Die gemischt- bis feinkörnigen Böden neigen aufgrund des hohen Feinkornanteiles weniger bis nicht zur Entfestigung.

Das Liegende der Kippe bildet der Liegendschluff des 2. Miozänen Flözhorizontes. Dieser stellt aufgrund seiner Materialeigenschaften eine geologisch vorgegebene Gleitfläche mit abgeminderten Gleitfestigkeiten dar.

Die den Böden zuzuordnenden bodenphysikalischen Berechnungskennwerte enthält Gliederungspunkt 5.2.

Aus dem Standsicherheitsnachweis [10] ergeben sich noch weitere Randbedingungen, die bei der Planung zu beachten sind. Auf Folgende wird hier hingewiesen:

+ **Geotechnischer Sperrbereich**

Die Kippenfläche der Teilfläche TF 2 befindet sich, von Randbereichen zum Gewachsenen und der bereits freigelenkten Fläche im Bereich der sanierten Kippentiefenlage F abgesehen, weitgehend innerhalb des zur Gewährleistung der geotechnischen und öffentlichen Sicherheit festgelegten geotechnischen Sperrbereichs.

Der Verlauf und die Begrenzung des derzeit geltenden Sperrbereichs sind aus der Anlage 2 ersichtlich.

Das Gelände ist durch Schilder gekennzeichnet und darf ohne Prüfung und Erlaubnis durch die LMBV mbH weder betreten noch befahren werden.

Innerhalb des Sperrbereichs bestehen, insbesondere wegen der z. T. bereits erreichten hohen Grundwasserstände, die im Standsicherheitsnachweis [10] beschriebenen bergbaubedingten Gefährdungen.

Für auszuführende Tätigkeiten innerhalb des geotechnischen Sperrbereichs sind eine Prüfung der jeweils aktuellen Gefährdungssituation und eine entsprechende Freigabe der Tätigkeit unter Einhaltung spezieller Vorgaben und Verhaltensanforderungen erforderlich. Es sind die Regularien der LMBV mbH einzuhalten.

Der mittels RDV herzustellende Mediendamm zur Sicherung der Maststandorte befindet sich vollständig außerhalb des Geotechnischen Sperrbereiches. In der vorliegenden Entwurfs- und Genehmigungsplanung werden alle Arbeiten, die im Zusammenhang mit der Herstellung des Mediendamms stehen so geplant, dass ein Betreten oder Befahren des Geotechnischen Sperrbereiches nicht erforderlich und ausgeschlossen wird.

+ **Untertägige Hohlräume**

Im Kippengelände des ehemaligen Tagebaues Greifenhain sind Relikte von untertägigen Streckensystemen vorhanden (bergbaulich bedingte untertägige Hohlräume zur Tagebau-entwässerung). Gemäß [10] sind diese im Bearbeitungsgebiet ordnungsgemäß versetzt (gesichert) und besitzen keinen Einfluss auf die Maßnahmen der Trassensicherung.

+ **Grundwassermessstellen**

Im Nahbereich des geplanten Mediendamms befindet sich die Grundwassermessstelle (Pegel) 000053. Sie befindet sich nicht mehr im Betrieb und ist ordnungsgemäß versetzt worden ([16]). Auf die Maßnahmen zur Trassensicherung besitzt diese ebenfalls keinen Einfluss.

3.5 Hydrogeologische Situation

In der Innenkippe findet gegenwärtig noch der Grundwasserwiederanstieg statt, nachdem das Grundwasser im Tagebau bis unter das Tagebauliegende abgesenkt war. Dieser wird geprägt durch den Zustrom aus südlicher bis südöstlicher Richtung und durch die wasserführenden Restlöcher Greifenhain (Altdöberner See) und Casel.

Der Seewasserstand im Altdöberner See liegt gegenwärtig bei +75,93 m NHN (05.03.2020) und im Restsee Casel bei +75,21 m NHN (05.03.2020).

Der Kippengrundwasserstand wird mit Pegeln überwacht. Auf dieser Datenbasis werden jährlich Hydroisohypsen der Grundwasseroberfläche konstruiert. Die Grundwassergleichen Frühjahr 2019 enthält der Lageplan Anlage 2.1.

Darüber hinaus enthält der Lageplan Anlage 2.1 im Umfeld der Leitungstrasse vorhandene Pegel mit Angabe der aktuellen Lotungsergebnisse. Im Vergleich der Grundwassergleichen Frühjahr 2019 mit den Lotungsergebnissen Stand März 2020 ist festzustellen, dass diese im Rahmen meteorologisch bedingter Grundwasserschwankungen insgesamt gut übereinstimmen.

Entsprechend den Angaben im Lageplan Anlage 2.1 liegt der Grundwasserspiegel im Bearbeitungsgebiet bei ca.

- +73,0 m NHN im Norden und im zentralen Teil sowie
- +74,0 m NHN im Süden und Südwesten

der Kippe.

Der Grundwasserabstrom erfolgt derzeit in Richtung Nordwesten und Westen.

Der Lageplan der Anlage 2.1 zeigt weiterhin die aus den Grundwassergleichen Stand Frühjahr 2019 abgeleiteten Grundwasserflurabstände (quasi IST-Stand). Diese können derzeit weitgehend als aktuell angesehen werden (s.o.).

Zukünftig wird das Grundwasser im Rahmen der Flutung des Altdöberner Sees sowie des Grundwasserwiederanstieges noch weiter ansteigen.

Zu den Endwasserständen liegt mit [28] eine hydrogeologische Prognoserechnung vor. Die diesbezüglichen Grundwassergleichen enthält der Lageplan Anlage 2.2. Folgende Wasserstände werden sich danach in der Kippe im Endzustand einstellen:

- +77,5 m NHN im Osten,
- +78,0 m NHN im Zentrum und
- +75,5 m NHN im Westen.

Das Grundwasser wird künftig aus Richtung Süd in Richtung Nord bis Nordwestnord fließen.



Bis zum Erreichen des Endgrundwasserstandes wird noch folgender Grundwasserwiederanstieg in der Innenkippe erwartet:

- im Osten ca. 1,5 m,
- im Zentrum ca. 2 m und
- im Westen ca. 1,5 m.

Weiterhin enthält der Lageplan der Anlage 2.2 die aus den Grundwassergleichen der Prognoserechnung abgeleiteten zukünftigen Grundwasserflurabstände (End-Stand) im Innenkippenbereich des ehemaligen Tagebaues Greifenhain. Für das Bearbeitungsgebiet ist folgendes festzustellen:

- + weite Bereiche des Bearbeitungsgebietes weisen künftig mit $a_w \geq 5$ m relativ große Grundwasserflurabstände auf,
- + im zentralen Bereich des Mediendamms einschließlich Maststandort M 95n betragen die Grundwasserflurabstände zukünftig > 11 m.

Eine Gefährdung durch verflüssigungsbedingte Grundbrüche beim Befahren des Kippengeländes besteht somit nicht.

3.6 Zu schützende Objekte

Die geotechnische Sicherung der Leitungstrassen soll mittels Verfahren der dynamischen Kippenstabilisierung erfolgen. Dabei soll das Verfahren der Rütteldruckverdichtung angewendet werden. Im Rahmen der RDV kommt es zu einer Beeinträchtigung durch Erschütterungen und Geländedeformationen. Diese Beeinträchtigungen dürfen nicht zu Schäden an besonders schützenswerten Objekten führen. Folgende besonders schutzwürdige Objekte liegen ggf. im Einflussbereich der RDV und müssen im Rahmen der Planung betrachtet werden:

- + **Landesstraße 52**, im Nordosten,
- + Graben **Neues Buchholzer Fließ**, parallel zur Landesstraße (nordöstlich davon).
- + **380 kV- Bestandsleitung** mit Masten in Ost-West-Richtung,
- + **110 kV-Leitung** mit Masten in Ost-West- Richtung südlich der 380 kV-Leitungstrasse,
- + **4 Windkraftanlagen** WKA V30757, WKA V30758, WKA V30761 und WKA V30762 einschließlich deren Medienzuführungen und Zuwegungen,
- + **Gebäude** der Ortslage Casel und Göritz, jeweils auf unverritztem Gelände.

- + In Nord-Süd-Richtung verläuft der **Hauptwirtschaftsweg** zwischen den Ortslagen Casel und Greifenhain und westlich abzweigend nach Göritz. Auf dem Kippengelände befinden sich darüber hinaus weitere **Haupt- und Nebenwege**. Insgesamt ist ein Wegenetz von ca. 13,7 km Länge vorhanden. Das gesamte Wegenetz einschließlich des Hauptwirtschaftsweges ist derzeit wegen der vorhandenen bergbaubedingten Gefährdungen gesperrt. An den Zufahrten sind entsprechende Absperrungen, Beschilderungen bzw. Verwallungen vorhanden. Eine Zufahrt ist nur aufgabengebunden mit Sondergenehmigung unter Einhaltung bestimmter Verhaltensanforderungen möglich.

Ausgenommen ist lediglich der Hauptwirtschaftsweg von Süden, aus Richtung Greifenhain kommend, bis zum ehemaligen Werkstattkomplex (Grenze des geotechnischen Sperrbereichs). Dieser Abschnitt ist ohne Einschränkungen befahrbar.

- + Künftig ist der Bau von **Vorflutgräben** zur Entwässerung der Kippe im Zuge des weiteren Grundwasserrückgangs geplant. Es handelt sich um den sog. Werkstattgraben und den Waldgraben. Voraussetzung für den Bau dieser Vorfluter sind analog zum Mediendamm mittels Verfahren der dynamischen Kippenstabilisierung stabilisierte Trassen. Gegenwärtig erfolgt die Stützkörperherstellung für den Werkstattgraben Süd durch die Firma ECOSOIL Ost GmbH im Auftrag der LMBV mbH mittels RDV.



4 Technologie und Verfahrensbeschreibung

Um die bestehende Gefährdung gegenüber verflüssigungsbedingten Geländedeformationen zu reduzieren, beziehungsweise vollständig zu beseitigen und einen für die Mastgründungen ausreichend tragfähigen Baugrund herzustellen, werden sogenannte versteckte Dämme im Untergrund hergestellt. Diese wirken als Stützkörper und haben die Aufgabe, große verflüssigungsbedingte Horizontal- und Vertikalverformungen im gekippten Gelände zu verhindern.

Seit Beginn der Sanierung der ehemaligen Braunkohlefolgelandschaften wurden Versteckte Dämme als Sicherungselemente hergestellt. Die Wirksamkeit dieser Stützbauwerke wurde in einer Vielzahl von Rutschungsereignissen nachgewiesen, indem die Rutschungen durch die Versteckten Dämme gestoppt bzw. das Schadensausmaß durch diese begrenzt wurden.

Generell erfolgt die Herstellung von Versteckten Dämmen durch das Verdichten des locker gelagerten Kippenmaterials im Bereich des geplanten Dammkörpers. Durch die vorgenommene Verdichtung der ehemals locker gelagerten Kippenböden des Versteckten Dammes weist dieser keine Neigung zur Verflüssigung auf.

Übliche Technologien zur Verdichtung von locker gelagerten Kippenmaterialien stellen dabei:

- die Rütteldruckverdichtung (RDV),
- die Rüttelstopfverdichtung (RSV),
- die Sprengverdichtung (SPV),
- die Fallgewichtsverdichtung (FGV),

dar.

Vorteile der Sicherung mittels Verstecktem Damm sind die eindeutige Dimensionierung des Sicherungselementes sowie die jahrelangen positiven Erfahrungen bei Herstellung. Die erforderlichen bodenmechanischen Eigenschaften des Verdichtungskörpers lassen sich leicht untersuchen und ermöglichen somit eine entsprechende Qualitätssicherung.

Bei der RDV wird ein Bodenverdichter (Rüttler) eingesetzt, der mittels rotierenden Unwuchtmassen horizontale Schwingungen erzeugt, die zu einer Verdichtung des umgebenden Bodenmaterials führen. Der Schwingantrieb befindet sich in einem Stahlrohr, über das die Vibrationen direkt auf das umgebende Bodenmaterial übertragen werden. Der bis zu 4,5 m lange Rüttler wird über ein Trägergerät (z. B. Bagger oder Kran) geführt, wobei die Befestigung nicht starr, sondern meist seilgeführt, d.h. freischwingend ausgebildet ist. Sind größere Teufen zu verdichten, so wird der Rüttler mittels aufgesetzter Rohre zu einer Rüttellanze verlängert. Dabei ist die Gesamtlänge der Rüttellanze mit Verrohrung länger auszubilden, als die zu erreichende Verdichtungstiefe.

Zu Beginn der Verdichtungsarbeiten wird die Rüttellanze auf den Boden aufgesetzt und durch Rütteln und gegebenenfalls mit Wasserzugabe bis zur Basis des erforderlichen Verdichtungsgebietes abgeteuft. Die eigentliche Verdichtungsarbeit erfolgt durch den Einsatz des Rüttlers stufenweise von unten nach oben. Dabei sind definierte Verweilzeiten in kontinuierlichen Tiefenabschnitten einzuhalten.



In wassergesättigten, locker gelagerten Sanden (Kippenmaterialien) wird durch das Rütteln im unmittelbaren Umfeld der Anregung eine lokale Verflüssigung erzeugt, die nach Abklingen des Porenwasserüberdruckes zu einer Kornumlagerung führt, aus der die gewünschte Verdichtungswirkung resultiert.

Bei großen Verdichtungstiefen (> 25 m) kann unter Umständen eine Unterstützung der Rüttelarbeiten durch Wasserzugabe erforderlich werden. In den Sanierungsbereichen der Kippenflächen der Tagebaue in der Lausitz wurden bereits Verdichtungstiefen bis 60 m Tiefe realisiert.

Durch die Verdichtung entstehen Massendefizite, die an der Oberfläche zu sichtbaren Setzungen in Form von Trichtern führen. Der Ausgleich des Defizits erfolgt meistens durch gezielte Materialzugabe während des Rüttelns, sofern die Endhöhe der Geländeoberfläche planungsseitig vorgegeben ist.

Durch die rasterförmige Anordnung der einzelnen Rüttelpunkte wird ein geometrischer Körper mit vorgegebenen horizontalen und vertikalen Abmessungen, entsprechend den Ergebnissen der Standsicherheitsberechnungen hergestellt. Erfahrungsgemäß betragen in Abhängigkeit des Kippenmaterials die Abstände der einzelnen Verdichtungspunkte zwischen 1,5 m und 5 m.

Das Verdichtungsergebnis ist unter anderem von

- der Kornverteilung,
- der Ungleichförmigkeit,
- der Kornform- und Rauigkeit,
- der Wasserdurchlässigkeit,
- dem Wassergehalt und der Wassersättigung,
- der Ausgangslagerungsdichte und
- dem Feinkornanteil

des Kippenmaterials abhängig.

Auf der technologischen Seite bedingen

- die Einsatzparameter des Rüttlers (Frequenz, Masse, Spülzugabe) und
- die Ausführungsvorgaben (Rastermaß, Rasteranordnung, Ziehhöhe, Wiederabsenkung und Intervalldauer des Rüttlers),

die erreichbare Verdichtung und deren Qualität.

Die Anwendungsgrenzen für dieses Verdichtungsverfahren bestehen neben der Einsatztiefe vor allem in der Kornverteilung des zu verdichtenden Mediums. Der Einsatz der RDV wird in der Regel für Materialien mit einem Feinkornanteil $\leq 10 \%$ und einem Tonanteil $\leq 5 \%$ ausgeführt. Ein vorhandener Feinkornanteil verhindert durch die kohäsiven Eigenschaften das Umlagern der Bodenteilchen und führt zusätzlich zu einer hohen Dämpfung der eingetragenen Schwingungen. Die Feinkornanteile der zu verdichtenden Kippenmaterialien im Bereich der Verdichtungstrasse liegen zum überwiegenden Teil in diesem Kornspektrum. Der Einsatz der RDV ist deshalb gut geeignet. Eine Verdichtung der gemischtkörnigen Kippenböden mit höheren Feinkornanteilen ist nicht vorgesehen.

Ein großer Vorteil des Rütteldruckverfahrens ist die durch umfangreiche weltweite Einsätze ausgereifte Gerätetechnik. So besteht die Möglichkeit, während der Ausführung verschiedenste Parameter wie Datum, Uhrzeit, Versenkzeit, Teufe, Hubhöhe, maximale Stromaufnahme des Antriebsmotors, Verweilzeit, Rüttelfrequenz, Luftdruck, Wasserzugabe aufzuzeichnen, was wiederum eine detailgetreue Prüfung und Dokumentation der Verdichtung ermöglicht. Ein GPS-gesteuertes Anfahren der Ansatzpunkte kann die punktgenaue Umsetzung der Vorgaben des Verdichtungsrasters garantieren. Die Absteckung der RDV- Ansatzpunkte durch einen Vermesser ist somit nicht erforderlich.

Nachteilig beim Einsatz eines Tiefenrüttlers ist eine oberflächennah (bis 4,0 m) nicht ausreichende Verdichtungsleistung, so dass in diesen Bereichen mit anderer Technik, wie beispielsweise einer tiefenwirksamen Oberflächenverdichtung mittels schwerer Walze ($m \geq 20 \text{ t}$) mit Polygonbandage bzw. mittels hochenergetischer Schlagverdichtung (LANDPAC- Verfahren) nachgearbeitet werden muss (siehe dazu Gliederungspunkt 7.3).

Wie bereits beschrieben, tritt bei der Durchführung der Rütteldruckverdichtung eine lokale Verflüssigung um den Verdichtungspunkt auf. Dabei besteht die Gefahr, dass die Verflüssigung benachbarte Bereiche erfasst und sich zu einer großräumigen verflüssigten Bodenzone entwickelt. Durch die sogenannte Sicherheitsfahrweise kann diese Gefährdung minimiert werden. Bei der Sicherheitsfahrweise wird nach jedem abgeschlossenem Rüttelpunkt eine Ruhepause vorgesehen, in der sich die durch die eingetragenen Schwingungen erhöhten Porenwasserdrücke abbauen können. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, die Porenwasserdruckentwicklung mittels PWD-Messsystem zu überwachen. Die mit der messtechnischen PWD-Überwachung erhaltenen Ergebnisse zeigen das Verhalten der Porenwasserüberdrücke im unmittelbaren Umfeld des zu verdichtenden Kippenmaterials auf. Auf Grundlage dieser Daten kann regulierend in den Verfahrensablauf der Rütteldruckverdichtung eingegriffen werden, um einen großräumigen Versagenszustand zu verhindern. Diese Verfahrensweise zur Steuerung der RDV spielt bei dem Schutz der zu schützenden Objekte gemäß Gliederungspunkt 3.6 vor schädlichen Einwirkungen durch die RDV eine wesentliche Rolle.

Dennoch ist festzuhalten, dass mit der Rütteldruckverdichtung ein durch das Verfahren bedingtes starkes Initial in den Untergrund eingetragen wird. Trotz Anwendung der Sicherheitsfahrweise und der messtechnischen Überwachung der Porenwasserdrücke kann eine großräumige verflüssigungsbedingte Bodenbewegung nicht vollständig ausgeschlossen werden, insbesondere dann nicht, wenn im Umfeld besondere Rutschungspotentiale wie hohe Böschungen vorhanden sind.



Abbildung 4-1: Rütteldruckverdichtung am Werkstattgraben Süd im ehemaligen Tagebau Greifenhain (Foto Falk Hoffmann, G.U.B. Ingenieur AG, 05/2019)

Die bestehenden Erfahrungen, Verdichtungsnachweise mit/von Versteckten Dämmen sowie deren Funktionalität in Schadensfällen unterstreichen die Wirksamkeit der mittels RDV bearbeiteten/verdichteten Kippenbereiche. Im Sanierungsbergbau hat sich die Rütteldruckverdichtung zu einem Standardverfahren für die Herstellung von Versteckten Dämmen in Kippenbereichen entwickelt. Die Wirksamkeit des Verfahrens sowie die Stabilität der mit diesem Verfahren hergestellten Körper wurden auch praktisch bei mehreren Rutschungsereignissen bewiesen, bei denen Böschungsbewegungen durch die mittels RDV erstellten Versteckten Dämme in der räumlichen Ausbreitung gestoppt oder eingeschränkt wurden.

Für den Einsatz von Verdichtungsmaßnahmen in den Kippenbereichen des ehemaligen Tagebaues Greifenhain ist das Rütteldruckverfahren als geeignet anzusehen. Die zu verdichtenden Tiefen von bis zu 50 m sind mit der am Markt zur Verfügung stehenden Technik gut realisierbar. Die in der Innenkippe Greifenhain anstehenden trocken verkippten sandigen Kippenböden lassen entsprechend der verfügbaren Untersuchungsergebnisse eine gute Verdichtbarkeit mittels RDV erwarten. Das bestätigen auch die vorliegenden Nacherkundungen nach der bereits realisierten RDV im Bereich der geplanten Vorflutgräben (vgl. Abbildung 4-1). Aus geotechnischer Sicht stellt die RDV das Vorzugsverfahren für die Herstellung eines Mediendamms und damit der Beseitigung der Verflüssigungsgefahr sowie die Erhöhung der Tragfähigkeit dar.

5 Bodenmechanische Standsicherheitsberechnungen zur Dimensionierung des Mediendamms

5.1 Einleitung

Wesentliche Grundlage für die Durchführung der bodenmechanischen Standsicherheitsberechnungen sowie der geotechnisch- bergbaulichen Sanierungsplanung sind u.a. gesicherte Angaben zu den Kippeneigenschaften und gesicherte Berechnungskennwerte für die in der Kippe vorhandenen Böden. Zu diesem Zweck wurden, wie bereits unter Gliederungspunkt 3.4 erläutert, mit [06] und [09] entsprechende geotechnische Dokumentationen zur Grundlagenermittlung für Standsicherheitsnachweise / -berechnungen erarbeitet.

Im Rahmen der vorliegenden Planung wird hinsichtlich der Kippenerkundung und der repräsentativen Zuordnung bodenphysikalischer Eigenschaften und Kennwerte auf diese Unterlagen verwiesen, die im Auftrag der LMBV mbH durch die G.U.B. Ingenieur AG angefertigt wurden.

Die Berechnungen erfolgen an Berechnungsprofilen, die hinsichtlich der Standsicherheit die geotechnischen, hydrogeologischen und geometrischen Randbedingungen repräsentativ widerspiegeln. Maßgebend für den östlichen Trassenabschnitt von ca. St. 0+175 bis St. 0+591 mit dem Maststandort M95n ist das Geotechnische Profil GP M95n (Bereich 1). Das Geotechnische Profil GP M96n charakterisiert die Verhältnisse am westlichen Maststandort (M96n) einschließlich Trassenabschnitt St. 0+000 bis ca. St. 0+175 (Bereich 2). Das Geotechnische Profil GP M97n kennzeichnet ein besonderes Detail am Übergang von der Kippe zum Gewachsenen im Bereich des Maststandortes M97n.



5.2 Erdstatische Berechnungskennwerte

Die Berechnungskennwerte für die im Bearbeitungsgebiet maßgebenden Kippenböden, für die mittels RDV zu verdichtenden Stützkörper, den Liegendschluff/-ton an der Kippenbasis sowie dem gewachsenen Deckgebirge werden aus [06] und [09] übernommen und in Tabelle 5-1 zusammengefasst.

Tabelle 5-1: Erdstatische Berechnungskennwerte für die im Bearbeitungsgebiet im Untergrund anstehenden Böden nach [09]

Lockergestein	Scherfestigkeiten				Wichten	
	φ' [°]	$\varphi_{u,R^{(2)}}$ [°]	$c'^{(1)}$ [kN/m ²]	$c_{u,R^{(2)}}$ [kN/m ²]	erdfeucht γ [kN/m ³]	unter Wasser, gesättigt γ_s [kN/m ³]
Sandige Pflugkippen - MK 1 -	30,0	3,0	5,0	0	16,0	19,0
Gemischt- bis feinkörnige Pflugkippen - MK 2 -	-	23,0	-	0	-	19,5
RDV-Stützkörper	33,0	30,0	5,0	0	18,0	20,0
Gewachsenes Deckgebirge	34,0	-	8,0	0	19,0	20,5
Braunkohle MF 2	-	25,0	-	50,0	-	15,0
Liegendschluff MF 2	-	10,0	-	5,0	-	18,5

- ¹⁾ Mit Ausnahme des Liegendschluffes und der Braunkohle ist bei den verbleibenden Böden die Kohäsion unter Wasser mit 0 kN/m² anzusetzen.

- ¹⁾ Mit Ausnahme des Liegendschluffes und der Braunkohle ist bei den verbleibenden Böden die Kohäsion unter Wasser mit 0 kN/m² anzusetzen.
- ²⁾ Bei den Kippenböden maßgebend für den Fall der Entfestigung/ Verflüssigung infolge Porenwasserdruckerhöhung (undrännierte Bedingungen)

Gehört zum Planfeststellungsbeschluss
des LBGR, Az.: 27.2-1-234



5.3 Sicherheitskonzept und Berechnungsverfahren

Zur dauerhaften Gewährleistung der Standsicherheit im Kippengelände werden aufgrund

- + der gut erkundeten geotechnischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet,
- + der Verwendung gesicherter, in Felduntersuchungen und im Erdbaulabor in Triaxialversuchen bestimmter Scherfestigkeitsparameter,
- + der unbegrenzten Standzeit der Masten,
- + der verwendeten Berechnungsverfahren mit einer realen Erfassung und Berücksichtigung der geotechnischen Einflussfaktoren

durch den Sachverständigen folgende Bemessungssituationen nach EC 7-1

BS-P Persistent situation	im Untergrund sind die wirksamen Bodenkennwerte φ' und c' maßgebend
BS-A Accidental situation	im Untergrund sind die undrained Bodenkennwerte $\varphi_{u,R}$ und $c_{u,R}$ maßgebend

für ausreichend erachtet und den zu untersuchenden erdstatischen Lastfällen in den Standsicherheitsberechnungen zugrunde gelegt.

Im Rahmen der Standsicherheitsberechnungen zur Dimensionierung des Mediendamms sowie zur Gewährleistung der geotechnischen Sicherheit in der Bau- und Nutzungsphase sind verschiedene Versagensfälle zu betrachten. Für die sich daraus ergebenden unterschiedlichen erdstatischen Berechnungsfälle werden die nachfolgenden Berechnungsverfahren angewendet:

Für den Berechnungsfall **Abgleiten des versteckten Damms entlang vorgegebener, ebener Schichtflächen** (polygonale Prüfflächen = PP) gelangt das Verfahren nach JANBU zum Einsatz. Das Berechnungsverfahren ist ein Lamellenverfahren für vorgegebene polygonale Prüfflächen. An jeder Lamelle sind Kräfte- und Momentengleichgewicht erfüllt. Der Standsicherheitskoeffizient η wird iterativ nach folgender Gleichung berechnet:

$$\eta = \frac{1}{H_o + \sum_{i=1}^m G_i \cdot \tan \alpha_i} \cdot \sum_{i=1}^m [(G_i - ub_i) \cdot \tan \varphi + cb_i] \cdot \frac{1 + \tan^2 \alpha_i}{1 + \frac{\tan \alpha_i}{\eta} \cdot \tan \varphi}$$

Zur Untersuchung des Lastfalles **Bruch entlang kreiszylindrisch begrenzter Prüfflächen** (KZP) wird das Verfahren nach BISHOP verwendet. Das Berechnungsverfahren ist ein Lamellenverfahren, das für die Berechnung von kreiszylindrischen Prüfflächen geeignet ist. Am gesamten Prüfkörper wird das Momentengleichgewicht $\sum M = 0$ erfüllt. Des Weiteren wird das Kräftegleichgewicht $\sum V = 0$ an jeder Lamelle eingehalten.

Der Berechnung nach BISHOP liegt folgende vereinfachte Sicherheitsdefinition zugrunde:

$$\eta = \frac{1}{\sum_{i=1}^n G_i \cdot \sin \alpha_i} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{G_i + cb \cdot \cot \varphi - u_i b}{\cos \alpha_i \cdot \cot \varphi + \frac{\sin \alpha_i}{\eta}}$$

Der Standsicherheitskoeffizient η wird bei beiden Berechnungsverfahren iterativ bestimmt.

Der Reziprokewert des ermittelten Standsicherheitskoeffizienten ergibt den Ausnutzungsgrad

$$\mu = 1 / \eta$$

Die Berechnung des Ausnutzungsgrades erfolgt mit Bemessungswerten. D.h., die einzelnen Rechenwerte (wie z.B. Reibungswinkel und Kohäsion) werden im Normalfall mit Teilsicherheiten belegt und ergeben die Bemessungswerte. Die berücksichtigten Teilsicherheiten enthalten die Berechnungsauszüge in der Anlage 5. Sie sind abhängig von den unter Punkt 5.3 erläuterten Bemessungssituationen.

Wird der Ausnutzungsgrad

$$\mu = 1,0$$

überschritten, kommt es zu einer Überschreitung des Grenzgleichgewichtes. Der Versagenszustand tritt ein. Eine ausreichende Standsicherheit ist nur für $\mu \leq 1,0$ gewährleistet.

Die Berechnungen werden mit dem Computerprogramm STABILITY V 13.05 vom 21.11.2019 Copyright und Verfasser Prof. Dr.-Ing. Johann Buß, durchgeführt.



5.4 Lastannahmen

+ Lastannahmen Fahrzeuge für Wartung und Instandsetzung

Für den Einsatz von Fahrzeugen und Geräten im Rahmen von Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten wird von Fahrzeugen mit Straßenverkehrszulassung ausgegangen. Demzufolge werden Fahrzeuge mit einer Gesamtmasse $m_{zul.} \leq 40 \text{ t}$ den Standsicherheitsberechnungen als äußerer Lastansatz zu Grunde gelegt.

Einsatzmasse:	$m_{zul.} \leq 40 \text{ t}$
Einsatzgewicht:	$G_{zul.} \leq 400 \text{ kN}$
Achslast (3- Achser):	$A_{zul.} \leq 134 \text{ kN}$
Radlast:	$P = 67 \text{ kN}$
Ersatzfläche: (nach DIN 1072)	$3 \text{ m} \times 6 \text{ m}$
Ersatzflächenlast:	$p_I \approx 23 \text{ kN/m}^2$

+ Lastannahmen RDV- Trägergerät

Für die einzusetzenden RDV- Trägergeräte sind die bodenmechanischen Standsicherheitsverhältnisse zur Gewährleistung der geotechnischen Sicherheit während der Ausführung der Arbeiten nachzuweisen. Aufgrund der Erfahrungen im Zusammenhang mit der Ausführung von RDV- Tätigkeiten wird in den Standsicherheitsuntersuchungen ein RDV-Trägergerät mit einer Gesamtmasse $m \leq 167 \text{ t}$ berücksichtigt:

Einsatzmasse:	$m \leq 170 \text{ t}$		
Ersatzlasten:	in Fahrtrichtung	$F = 1.100 \text{ kN/m}$	$b_F = 9 \text{ m}$
	quer zur Fahrtrichtung	$F = 122 \text{ kN/m}$	$b_F = 1,0 \text{ m}$ $a = 5,0 \text{ m}$
Ersatzflächenlast:	$p_{II} \approx 122 \text{ kN/m}^2$		

+ **Lastannahmen Lagerflächen / Halden**

Es ist grundsätzlich nicht auszuschließen, dass in dem forst- und landwirtschaftlich genutztem Kippengelände Bodenablagerungen, Strohstapel oder Holzpolter errichtet werden.

In den Standsicherheitsberechnungen wird deshalb ein ca. 5 m hohes und i.M. 10 m breites Bodenlager als statischer Lasteintrag angesetzt.

$$p_{III} = 16,0 \text{ kN/m}^3 * 5 \text{ m} \approx \mathbf{80 \text{ kN/m}^2}$$

$$b_F \approx 10 \text{ m}$$

+ **Lastannahmen Einwirkung aus Masten**

In Anlehnung an [18] wird aus der Lastabtragung über die Fundamentkräfte für die Böschungsbruchuntersuchungen eine Flächenlast p_{IV} abgeleitet. Hierbei werden die Fundamentkräfte F auf einen Pfahlabstand b_P bezogen.

Die Flächenlast p_{IV} wird folgendermaßen bestimmt:

$$p_{IV} = F * 2 / b_P / 1 \text{ m} \quad [\text{kN/m}^2]$$

Die ermittelten Flächenlasten mit zugehörigen Pfahlabständen und zugeordneten Masten sind in der nachfolgenden Tabelle 5-2 zusammengefasst.

Tabelle 5-2: Lastannahmen aus Masten

Masttyp [-]	Flächenlast p_{IV} [kN/ m²]	Pfahlabstand b_P [m]	Zugeordneter Mast [-]
T 2 + 12,5	426	7,96	M95n, M97n
T 2 + 15	441	8,12	M96n

Den Ansatz der oben aufgeführten Lasten veranschaulicht das Berechnungsmodell in Abbildung 5-1.

+ **BF 2:**

Im Berechnungsfall BF 2 ist die Standsicherheit für die Bauphase zu prüfen. Es ist nachzuweisen, dass die Sicherheit gegen Böschungsbruch infolge Scherbeanspruchung des undrännierten Kippenbodens durch das RDV- Trägergerät bzw. durch die Hilfsgeräte während der Durchführung der Arbeiten gewährleistet ist.

Vorausgesetzt wird eine Verflüssigung des wassergesättigten unverdichteten Kippenbodens durch starken dynamischen Initialeintrag infolge RDV, d.h. Ansatz der undrännierten Restfestigkeiten φ_{uR} und c_{uR} . Für den frisch verdichteten Kippenboden zwischen den Fahrwerken des Trägergerätes und der aktiven Rüttelpunktreihe werden die wirksamen Scherparameter φ' und c' angesetzt. Der Nachweis erfolgt entsprechend Abbildung 5-2 für kreiszylindrische Prüfflächen.

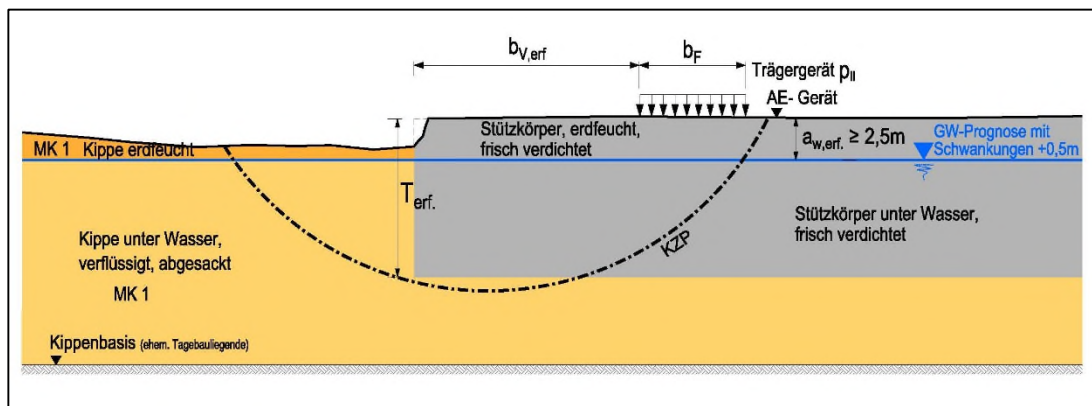


Abbildung 5-2: Prinzipskizze Berechnungsfall BF 2

Da nicht auszuschließen ist, dass sich der unverdichtete Kippenboden rings um den RDV-Stützkörper verflüssigt und zusammensackt, muss mit einer Reduzierung des Stützkörperquerschnittes infolge von Nachbrüchen gerechnet werden. Die für die RDV erforderliche Mindeststützkörperbreite beträgt demnach

$$B_{\text{erf}} = 2 \cdot b_v + b_F + b_{\text{Si}}$$

mit

b_v = Vorlandbreite

b_F = Fahrwerksbreite

b_{Si} = Breite Transport- und Fluchtweg für Personal und Hilfsgeräte

Neben der Dammbreite gewährleistet die zu berechnende Mindestverdichtungstiefe die Gerätestandsicherheit in der Bauphase. Diese ist bezogen auf den Endzustand des Mediendamms und die Nutzung der Leitungstrasse zwischen den Maststandorten mittels Bewirtschaftungsweg und Technikeinsatz zur Trassenfreihaltung auch der maßgebende Berechnungsfall.

+ **BF 3**

Der Berechnungsfall BF 3 enthält die Situation im südwestlichen Übergangsbereich von der Kippe in das Gewachsene am Maststandort M97n. Hier wurde das gewachsene Gebirge im Rahmen der Abraumverbringung des Tagebaues überkippt. Die Standsicherheit des am ehemaligen Tagebaurand zu gründenden Mast 97n ist sowohl für den Ansatz der wirksamen Scherfestigkeiten ϕ' und c' als auch für den Ansatz der undrained Restfestigkeiten ϕ_{UR} und c_{UR} im Falle einer Bodenverflüssigung im wassergesättigten, locker gelagerten sandigen Kippenboden zu überprüfen. Die Abbildung 5-3 zeigt die Prinzipskizze des Berechnungsfalles BF 3.

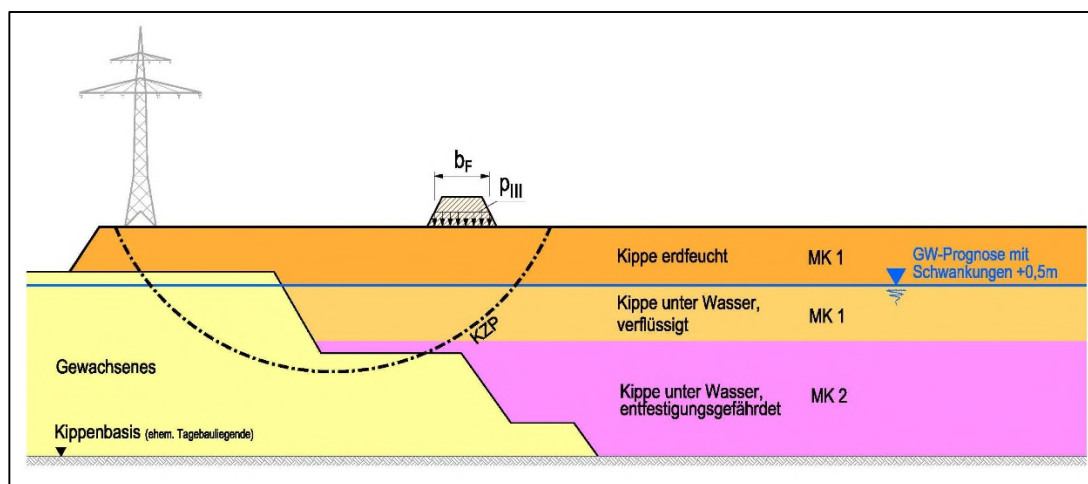


Abbildung 5-3: Prinzipskizze Berechnungsfall BF 3

5.6 Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen

+ BF 1

Die innere Standsicherheit betreffend ergeben sich folgende Stützkörperabmessungen im Bereich der Maststandorte:

+ Bereich 1 (M96n): siehe Anlage 5.1

$B_1 = 32 \text{ m}$

$T_1 =$ Hangendes gemischtbindige Kippe

Bereich 2 (M95n): siehe Anlage 5.2

$B_1 = 32 \text{ m}$

$T_1 =$ Hangendes gemischtbindige Kippe

Zur Gewährleistung der äußeren Standsicherheit und unter Berücksichtigung der mit [22] übergebenen erforderlichen Arbeitsbreiten (50 m x 50 m) um den Maststandort M96n ergibt sich folgende Dammverbreiterung:

Maststandort M96n siehe Anlage 5.3

$B_2 = 9,0 \text{ m}$

$T_2 = 11,0 \text{ m}$

Die Verdichtungstiefe von $T_2 = 11 \text{ m}$ ergibt sich vorrangig aus der Randbedingung, dass verflüssigungsbedingte Geländeeinbrüche mit vertikalen Geländeabsenkungen von mehreren Dezimetern an der Oberfläche unterhalb dieses Tiefenbereiches nicht mehr initiiert werden.

Keine Dammverbreiterung ist am Maststandort M95n erforderlich (siehe Anlage 5.4).

Als besonders ungünstiger Lastansatz erwies sich das Bodenlager p_{III}.

+ BF 2

Zur Gewährleistung der Standsicherheit für das etwa 170 t schwere Trägergerät der RDV (Seilbagger) in der Bauphase, welches von Maststandort zu Maststandort fährt und dabei grundsätzlich auf bereits verdichteten Untergrund steht, muss dieses ein Vorland zur jeweils aktiven Rüttelfront (Grenze verdichteter / unverdichteter Boden) sowohl seitlich als auch vor Kopf von

$b_v = 10 \text{ m}$ (siehe Anlagen 5.5 und 5.6)

einhalten.

Dementsprechend beträgt die technologisch bedingte erforderliche Dammbreite

$$B_{\text{erf}} = 2 \cdot b_v + b_F + b_{\text{Si}}$$

mit $b_F = 9 \text{ m}$ (Fahrwerksbreite Trägergerät)

$b_{\text{Si}} = 3 \text{ m}$ (Transport- und Fluchtweg)

$$B_{\text{erf}} = 2 \cdot 10 \text{ m} + 9 \text{ m} + 3 \text{ m} = 32 \text{ m.}$$

Die Mindestverdichtungstiefe beträgt entsprechend Anlagen 5.5 und 5.6

$$T = 24 \text{ m.}$$

Die im Berechnungsfall BF 2 ermittelten Dammparameter entsprechen der Dimension des Mediendamms zwischen den einzelnen Maststandorten. Der für die Bauausführung zur Gewährleistung der Gerätestandsicherheit bemessene Stützkörper ist auch ausreichend, um im Endzustand die Leitungstrasse zwischen den Masten mit Geräten im Rahmen von Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten zu nutzen.

+ **BF 3:**

Folgende Ausnutzungsgrade wurde ermittelt:

$$+ \mu = 0,33 < 1,0$$

für den Bemessungsfall BS-P (für den Fall ohne Bodenverflüssigung, siehe Anlage 5.7),

$$+ \mu = 0,94 < 1,0$$

für den Bemessungsfall BS-A (für den Fall der Bodenverflüssigung, siehe Anlage 5.8).

Die Standsicherheit ist auch im sehr ungünstigen Fall einer weiträumigen Bodenverflüssigung im locker gelagerten, wassergesättigten Kippenuntergrund gewährleistet.

6 Prüfung der Standsicherheit der vor den Einwirkungen der RDV zu schützenden Objekten

6.1 Untergrunddeformationen

Die Standsicherheit der im Textabschnitt 3.6 aufgeführten zu schützenden Objekte kann durch die von der RDV verursachten und über die Begrenzung des versteckten Dammes hinausgehenden Untergrunddeformationen und direkten Erschütterungswirkungen negativ beeinflusst werden.

Infolge der angestrebten Bodenverdichtung treten im Nahbereich der dynamischen Kippenstabilisierung im Kippenboden Setzungen auf, die bei den erforderlichen max. Verdichtungstiefen von bis zu 30 m in der Regel in einer Entfernung von etwa 40 m zum Rand des Verdichtungsgebietes abgeklungen sind (Mitnahmesetzungen). Im Falle einer weiträumigen Entfestigung des wasser-gesättigten, verflüssigungsempfindlichen Kippenbodens können unter besonders ungünstigen Umständen auch in größerer Entfernung zur RDV Gefügezusammenbrüche Geländeabsenkungen im Dezimeterbereich verursachen.

In locker gelagerten Kippenböden muss bei Schwinggeschwindigkeiten von $v_{\max} > 10 \text{ mm/s}$ mit erschütterungsbedingten Setzungen gerechnet werden. Bei $v_{\max} \leq 3 \text{ mm/s}$ ist das Auftreten von Setzungen unwahrscheinlich. Schwinggeschwindigkeiten in der Größenordnung $v_{\max} \leq 3 \text{ mm/s}$ treten i.d.R. ab Entfernungen zur RDV von ca. 40 m auf.

Auf Kippenboden und in RDV-Nähe befinden sich folgende besonders schützenswerte zu schützende Objekte in einer Entfernung E zur geplanten RDV:

+ Masten der 110 kV-Freileitung	$E \geq 850 \text{ m (M 57)}$
+ Masten der 380 kV-Freileitung	$E \geq 715 \text{ m (M 95)}$
+ Windkraftanlagen (WKA)	$E \geq 420 \text{ m (WKA V30757)}$

Alle o.g. zu schützenden Objekte befinden sich außerhalb der Einwirkzone der RDV. Mit Geländedeformationen infolge Mitnahmesetzungen ist nicht zu rechnen. Zudem wurden die Windkraftanlagen auf verdichteten Stützkörpern gegründet. Geländedeformationen infolge Mitnahmesetzungen werden an den o.g. Windkraftanlagen grundsätzlich nicht erwartet.

Die Wege (Hauptwirtschaftsweg, forstwirtschaftliche Haupt- und Nebenwege) gehen in die Betrachtungen nicht ein. Die geotechnische und öffentliche Sicherheit ist aufgrund der Sperrungen gewährleistet. Darüber hinaus werden die Wege aus planerischer Sicht nicht als hohes Schutzgut angesehen. Es sind im Rahmen der Baumaßnahmen entsprechende Beweissicherungen durchzuführen und nachweislich infolge Arbeiten zur Herstellung des Mediendamms entstandene Schäden nach Bauende wieder zu beseitigen.

Das bergmännische Risswerk der LMBV [25] weist am nördlichen Trassenende des Mediendamms ein Fernsprechkabel der Windkraftanlagen aus. Dieses Kabel verläuft parallel mit dem Hauptwirtschaftsweg und befindet sich abschnittsweise in einer Entfernung $E < 40$ m zur RDV. In diesem Abschnitt muss mit Beschädigungen des Kabels durch Geländedeformationen infolge Mitnahmesetzungen gerechnet werden. Zur Vermeidung von Schäden ist das Kabel im Abschnitt mit Entfernung $E < 40$ m freizulegen. Der betroffene Abschnitt ist im Lageplan der Anlage 3 dargestellt.

6.2 Verflüssigungsbedingte Bodenbewegungen

Durch die dynamische Kippenstabilisierung initiierte verflüssigungsbedingte Bodenbewegungen können grundsätzlich nicht ausgeschlossen werden. Sie können weit in das Kippenhinterland hineinreichen. Die Rückgriffweiten möglicher rutschungsartiger Bodenbewegungen wurden durch Standsicherheitsuntersuchungen ermittelt. Die daraus resultierenden Gefährdungsbereiche (gültig ab Erreichen der kritischen Grundwasserstände) kennzeichnen die Begrenzung möglicher rutschungsartiger Bodenbewegungen. Sie sind im Lageplan Anlage 2.1 dargestellt.

Es wird ersichtlich, dass im Zusammenhang mit der Ausführung der RDV verursachte Böschungsbewegungen nicht bis an die Maststandorte der 110 kV bzw. 380 kV Hochspannungsleitungen heranreichen.

Die Windkraftanlagen wurden auf Stützkörpern gegründet, so dass diese Anlagen im Fall einer Verflüssigung ausreichend standsicher sind bzw. nicht von einer möglichen Rutschung erfasst werden können.

Eine Gefährdung durch großräumige verflüssigungsbedingte horizontale Geländedeformationen besteht somit weder für die Masten der Hochspannungsleitungen noch für die Windenergieanlagen.

6.3 Erschütterungen

Von der RDV werden Schwingungen in den Boden eingetragen, die sich mit steigender Entfernung zum aktuellen Rüttelpunkt abschwächen.

In Abhängigkeit von der Teufe des Rüttlers, den Eigenschaften des von den Schwingungen durchquerten Bodens, der Entfernung zum Rüttelpunkt und von der baulichen Anlage selbst, können durch die Erschütterungen Schäden verursacht werden.

Auf Basis der Auswertung von Schwingungsgeschwindigkeitsmessungen bei Anwendung der Rütteldruckverdichtung mit vergleichbaren Bodenverhältnissen [29] treten Schwingungsgeschwindigkeiten in Entfernungen von ≥ 100 m zu den Verdichtungstrassen (siehe Entfernungen zu den zu schützenden Objekten) in der Größenordnung $v_{\max} < 1$ mm/s auf.

Die DIN 4150-3 weist für besonders empfindliche Gebäude oder bauliche Anlagen bei dauerhaft auftretenden Erschütterungen eine Schwingungsgeschwindigkeit von $v = 2,5$ mm/s aus. Wird dieser Anhaltswert nicht signifikant überschritten, kann davon ausgegangen werden, dass die Gebrauchstauglichkeit des Gebäudes oder der Anlage nicht beeinträchtigt wird.

Im Vergleich der zu erwartenden Schwingungsgeschwindigkeit mit dem Anhaltswert nach DIN 4150-3 besteht damit für die unter Punkt 6.1 aufgelisteten zu schützenden Objekte keine Gefährdung infolge der durch die RDV initiierten Erschütterungen.

Da es sich bei den ausgewiesenen zu erwartenden Schwingungsgeschwindigkeiten um eine Prognose und bei den Bauwerken um besonders schutzwürdige Objekte handelt, ist an der nächstgelegenen Windkraftanlage (WKA V30 762) eine Beweissicherung durch einen Sachverständigen für Bauwerksschäden sowie die Realisierung eines baubegleitenden komplexen Mess- und Kontrollprogramms zur Kontrolle, Überwachung und Steuerung der Rütteldruckverdichtung unabdingbar (vgl. Punkt 8).

6.4 Lärmimmission

Erschütterungen, die verfahrensbedingt von der Dynamischen Kippenstabilisierung ausgehen, können ebenso wie Baulärm von den Anwohnern als belästigend empfunden werden.

Nachfolgend sind auf Grundlage von [29], [30] und [31] Einwirkzonen bezüglich der Auswirkungen der Dynamischen Kippenstabilisierung dargestellt.

+ Lärm- und Erschütterungswirkung auf Anwohner:

Immissionsrichtwerte nach [31] für die Kategorie „Mischgebiet“:

Tag 60 dB(A)

Nacht 45 dB(A) (22 Uhr bis 06 Uhr)

Gehört zum Planfeststellungsbeschluss
des LBGR, Az.: 27.2-1-234



Hinweis:

Zur Gewährleistung der geotechnischen Sicherheit dürfen Sanierungsarbeiten im Kippengelände grundsätzlich nur bei Tageslicht durchgeführt werden. In den Sommermonaten ist mit Tageslicht vor 7 Uhr und nach 20 Uhr zu rechnen.

Bei folgenden Abständen $a_{\text{Lärm}}$ zur dynamischen Kippenstabilisierung (RDV) können diese Richtwerte eingehalten werden:

Tag $a_{\text{Lärm}} \geq 150 \text{ m}$

Nacht $a_{\text{Lärm}} \geq 400 \text{ m}$.

Bei den folgenden Abständen $a_{\text{Erschütt.}}$ zur Dynamischen Kippenstabilisierung kann, Bezug nehmend auf DIN 4150-2, in der Anhaltswerte für Erschütterungsparameter genannt werden, „bei deren Einhaltung erwartet werden kann, dass in der Regel erhebliche Belästigungen von Menschen in Wohnungen oder vergleichbar genutzten Räumen vermieden werden“ eingeschätzt werden, dass die messbare Erschütterungsintensität nicht höher als diese Anhaltswerte sind.

Kategorie: Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind:

Tag $a_{\text{Erschütt.}} \geq 150 \text{ m}$

Nacht $a_{\text{Erschütt.}} \geq 300 \text{ m}$

Bewertung:

Die Ortslagen Göritz und Casel liegen damit außerhalb der Lärmeinwirkungszonen.

6.5 Schlussfolgerungen

Aufgrund der oben erläuterten Beeinträchtigungen infolge der Tiefenverdichtungsarbeiten wird eine Sicherheitszone RDV definiert:

+ **Definition Sicherheitszone:**

Das unverdichtete Vorfeld einschließlich die seitlichen Randbereiche neben dem Stützkörper im Umkreis von 300 m bezogen auf die aktive Rüttelfront gilt während der Ausführung der RDV bis 12 h danach als temporäre Sperrzone. In diesem Gebiet dürfen sich grundsätzlich keine Personen bzw. Geräte aufhalten.

Ausnahmen zum Zweck von Kontrollen bzw. Messungen sind im Rahmen der Geotechnischen Fachbegleitung zu prüfen und müssen gesondert freigegeben werden.

Als Übersicht zum Verlauf der oben beschriebenen temporären Sperrzone enthält der Lageplan Anlage 3 unabhängig vom Stand der aktiven Rüttelfront die o.g. Sicherheitszone RDV. Innerhalb dieser Sicherheitszone sind unter Berücksichtigung des Standortes der RDV-Trägergeräte zu schützende Objekte durch Messungen im Rahmen der Beweissicherung, Kontrolle, Überwachung und Steuerung der Rütteldruckverdichtung auszuführen. Sie dienen dem Schutz der zu schützenden Objekte und der Gefahrenabwehr.

Mit Ausnahme eines ca. 520 m langen Abschnittes des Hauptwirtschaftsweges Göritz-Casel-Greifenhain, eines ca. 100 m langen Wirtschaftsweges aus dem Nebennetz, der Einfahrt zu den nördlichen Windkraftanlagen und eines Fernsprechkabels der Windkraftanlagen befinden sich alle unter Punkt 3.6 aufgeführten zu schützenden Objekte außerhalb der Sicherheitszone. Wie bereits unter Punkt 6.1 beschrieben, werden die Wege aus planerischer Sicht nicht als hohes Schutzgut angesehen und das Fernsprechkabel zum Schutz vor Beschädigungen freigelegt. Es sind im Rahmen der Baumaßnahmen entsprechende Beweissicherungen durchzuführen und nachweislich infolge Arbeiten zur Herstellung des Mediendamms entstandene Schäden nach Bauende wieder zu beseitigen.

Sofern die aktive Rüttelfront Abstände < 300 m zu Wegen und Transporttrassen aufweist, sind diese für den Verkehr solange zu sperren, bis die aktive Rüttelfront wieder einen Abstand ≥ 300 m aufweist. Die Abstandsvorgaben gelten nur im Kippengelände. Im Gewachsenen gelten diese Abstandsvorgaben nicht.

7 Beschreibung der Baumaßnahme

7.1 Vorbereitende Arbeiten

7.1.1 Baustelleneinrichtung

Der Standort der Baustelleneinrichtung mit Montageplatz befindet sich auf dem überkippten Tagebaurand am Startpunkt der RDV.

Die Baustelleneinrichtung und der Montageplatz sind von den Ortslagen Göritz und Casel über den befestigten Wirtschaftsweg (Ortsverbindungsstraße Casel- Göritz) und anschließend über die herzustellende ca. 200 m lange Baustraße erreichbar. Die Baustraße zur Baustelleneinrichtung sowie die Fläche für die Baustelleneinrichtung sind als Vorleistung mit Mineralstoffgemischen (Aufbau vgl. Punkt 7.1.3) zu befestigen.

Der vorgeschlagene Montageplatz und die Baustelleneinrichtung sind in der Anlage 3 ausgewiesen.

7.1.2 Holzungs- und Rodungsarbeiten

Im Trassenkorridor der RDV, der Zufahrt (Baustraße) und der Baustelleneinrichtung mit Montagplatz ist die Baufreiheit herzustellen. Dazu ist der Bestand an Gehölzen in den o.g. Bereichen zu Holzen, zu Roden und zu Beräumen.

Der überwiegende Teil der Verdichtungstrasse verläuft innerhalb des Schutzbereiches der geplanten 380 kV-Hochspannungsleitung. In diesem Bereich ist bereits der Holzeinschlag durch die 50hertz vorgesehen ([17]), jedoch keine Rodung ([32]).

Vorbereitend sind somit auch noch der außerhalb des Schutzbereiches befindliche Abschnitt der Verdichtungstrasse, der Trassenkorridor der Baustraße und die Baustelleneinrichtung mit Montagplatz, insgesamt **ca. 0,78 ha**, in die Holzungsmaßnahmen zur Herstellung des Schutzbereiches mit aufzunehmen. Rodungsarbeiten sind auf **ca. 2,8 ha** notwendig.

Die zusätzlichen Holzungs- bzw. die Rodungsflächen sind im Lageplan der Anlage 3 dargestellt.

Die Holzung, Rodung und die Flächenberäumung ist vor Beginn der Baumaßnahme abzuschließen.

7.1.3 Wegebau und Befestigung des Montageplatzes

Für den Transport der Gerätetechnik sowie des Baumaterials bis zum Trassenanfang des Mediendamms ist vorbereitend eine befestigte Baustraße auf ca. 200 m herzustellen.

Die Baustelleneinrichtungsfläche bzw. der Montageplatz ist im Zusammenhang mit den Arbeiten zur Herstellung der Baustraße auf 400 m² (bezogen auf die Oberfläche der Deckschicht) mit Mineralstoffgemisch zu befestigen.



+ **Trassierung im Grundriss:**

Die Trassierung der Baustraße erfolgte auf der Grundlage des Risswerkes der LMBV, der Befahrung des Geländes am 19.07.2019, der zu beachtenden verkehrsplanerischen konstruktiven Grundsätze sowie unter dem Gesichtspunkt der Minimierung der für den Wegebau erforderlichen Erdarbeiten.

Der Weg und die Anbindung bestehen entsprechend Merkblatt [33] aus Geraden und Kurven (keine Klothoiden).

Die Gradienten verlaufen im Wesentlichen dem vorhandenen Gelände relief angepasst, d.h. die Gradienten sollte bis 30 cm über dem Gelände liegen. Im Bereich der Trasse sind somit durchschnittlich 30 cm bis 40 cm Oberboden abzutragen.

Die Lage der Baustraße und der befestigte Baustelleneinrichtungs- und Montageplatz ist im Lageplan der Anlage 3 dargestellt.

+ **Querschnitt und Befestigungsaufbau**

Die Anlage 4.5 beinhaltet das Regelprofil für den Wegebau.

- Fahrbahnbreite: 4,00 m,

Für den Aufbau der Baustraße sind entsprechend den Erfahrungen aus Baumaßnahmen mit vergleichbaren Verkehrsbelastungen und Untergrundverhältnissen folgende Angaben maßgebend:

- 5 cm Deckschicht Brechsand Splitt 0/5
- 30 cm Schottertragschicht 0/32 Naturschotter
- 30 cm Schottertragschicht 0/56 Naturschotter
- Trennvlies, GRK 3, flächenbezogene Masse $\geq 150 \text{ g/m}^2$
- Unterbau/Untergrund, Herstellung Planum mit anstehendem Boden unter Beachtung der ZTVE StB 09.

Die Mindestquerneigung beträgt mit Ausnahme des Anschlussbereiches an den Trassenanfängen 6,0 %, geneigt zur Entwässerungsmulde. Im Anschlussbereich muss eine Anpassung an den vorhandenen Wirtschaftsweg erfolgen.

Wegbegleitend ist eine Entwässerungsmulde anzulegen.

+ **Tragfähigkeits- und Verdichtungsanforderungen**

- Planum: $E_{v2} \geq 30 \text{ MN/m}^2$ (gemäß DWA-A 904 Bemessungstragfähigkeit)
- Schottertragschicht $E_{v2} \geq 120 \text{ MN/m}^2$

+ Leistungsinhalte

Für die Herstellung der Baustraße mit einer Länge von 200 m sind folgende Leistungen zu erbringen:

- Bodenaushub mittels Hydraulikbagger (Auskoffern), 0,30 cm bis 40 cm tief auf Oberkante Planum
→ **620 m³**
- Herstellung Planum durch Planierarbeiten (bezogen auf die Breite des Planums von 6,12 m) einschließlich Verdichtung durch 5 Übergänge mit schwerer Vibrationswalze
→ **1.230 m²**
- Lieferung und Einbau Geotextil als Trennvlies, GRK 3, flächenbezogene Masse $\geq 150 \text{ g/m}^2$ (Fläche bezogen auf die Breite des Planums von 6,12m und Umschlag in die Tragschicht)
→ **1.500 m²**
- Lieferung und lagenweiser Einbau Schottertragschicht 0/56, Einbaustärke 30 cm
→ **370 m³**
- Lieferung und lagenweiser Einbau Schottertragschicht 0/32, Einbaustärke 30 cm
→ **270 m³**
- Lieferung und Einbau Deckschicht Brechsand Splitt 0/5, Einbaustärke 5 cm
→ **40 m³**
- Herstellung Mulde wegbegleitend, Breite 2,0 m (an der Geländeoberfläche), Tiefe ca. 0,7 m unter GOK, Neigung 1 : 1,5
→ **200 m**

+ **Befestigung der Baustelleneinrichtung mit Montageplatz**

Folgende Leistungen sind zur Herstellung der Baustelleneinrichtung mit Montageplatz zu erbringen:

- Bodenaushub mittels Hydraulikbagger (Auskoffern), 0,25 cm bis 60 cm tief auf Oberkante Planum
→ **209 m³**
- Herstellung Planum durch Planierarbeiten (bezogen auf die Breite des Planums von 22 m x 22 m) einschließlich Verdichtung durch 5 Übergänge mit schwerer Vibrationswalze
→ **484 m²**
- Lieferung und Einbau Geotextil als Trennvlies, GRK 3, flächenbezogene Masse $\geq 150 \text{ g/m}^2$ (Fläche bezogen auf die Breite des Planums von 6,12m und Umschlag in die Tragschicht)
→ **510 m²**
- Lieferung und lagenweiser Einbau Schottertragschicht 0/56, Einbaustärke 30 cm
→ **142 m³**
- Lieferung und lagenweiser Einbau Schottertragschicht 0/32, Einbaustärke 30 cm
→ **136 m³**
- Lieferung und Einbau Deckschicht Brechsand Splitt 0/5, Einbaustärke 5 cm
→ **22 m³**

7.1.4 Abfallentsorgung

Nach derzeitigem Kenntnisstand sind in den zu bearbeitenden Flächen des Mediendamms auf der Pflugkippe keine Abfälle abgelagert.

Widererwartend festgestellte Abfälle, die im Rahmen der Verdichtungs- und Erdbauarbeiten angetroffen werden, sind grundsätzlich gemäß den Vorgaben des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes fachgerecht zu entsorgen bzw. einer Wiederverwertung zuzuführen.

Optional werden dazu Leistungen in der Kostenschätzung Anlage 6 berücksichtigt.

7.2 Dynamische Kippenstabilisierung

7.2.1 Verdichtungszielstellung

Die Verdichtungsanforderung beträgt:

- $D_{Pr} \geq 95 \%$ an den Maststandorten und
- $D_{Pr} \geq 93 \%$ im Bereich der Trasse.

Die Verdichtungsanforderung von $D_{Pr} \geq 93 \%$ stellt vorerst einen Richtwert dar, bei dessen Erreichen der Kippenboden mit großer Wahrscheinlichkeit überkritisch gelagert ist und somit keine porenwasserüberdruckbedingte Entfestigung mehr stattfindet. Eine Präzisierung der Verdichtungszielstellung, die möglicherweise auch tiefenbezogen differenziert werden muss, erfolgt im Rahmen der Nachweisführung des Verdichtungserfolges. Die Kontrolle der ausreichenden Verdichtung erfolgt während und nach der Realisierung der dynamischen Kippenstabilisierung. Im Ergebnis der Verdichtungskontrollen können u. U. Nachverdichtungsarbeiten erforderlich werden. Für die Maststandorte werden mit $D_{Pr} \geq 95 \%$ mitteldichte Lagerungsverhältnisse angestrebt.

Die Vorgabe dieser Verdichtungsanforderung erfolgte auf der Grundlage der mit [17] übergebenen beispielhaften Gründungsarten und den Fundamentkräften für die Masten 95n und 96n entsprechend [18]. Nach Vorlage der konkreten Gründungsart der Masten ist im Rahmen der Ausführungsplanung eine Überprüfung ggf. eine Anpassung der o.g. Verdichtungsanforderungen $D_{Pr} \geq 95 \%$ erforderlich.

7.2.2 Verdichtungsleistung Tiefenverdichtung (RDV)

Die Verdichtung des Kippenbodens erfolgt mittels Rütteldruckverdichtungsverfahren. Die Tabelle 7-1 definiert im Wesentlichen die insgesamt zu erbringende Verdichtungsleistung zur Herstellung des Mediendamms (ohne Stützkörperaufweitung).

Tabelle 7-1: Verdichtungsleistung der Rütteldruckverdichtung im Überblick

Stationierung RDV-Trasse	Stützkörperbreite $B_{1.3)}$	GOK vorhanden	Arbeitsebene Trägergerät AE	Rüttelteufe T_1		Verdichtungs- volumen	Rüttelpunkte
[-]	[m]	[m NHN]	[m NHN]	[m] ⁴⁾	[m NHN]	[m³]	[Stück]
0+000 → 0+031	32,0	+79,4 ... +79,9	+78,4 ... +79,5	4 → 22,0 ⁵⁾	+59,0 ... +75,4	12.800	64
0+031 → 0+175	32,0	+79,4 ... +81,0	+78,0 ... +78,4	≈ 22,0	≈ +59,0	101.380	288
0+175 → 0+254	32,0	+81,0 ... +85,0	+78,2 ... +82,4	22,0 → 27,0	≈ +59,0	69.120	160
0+254 → 0+574	32,0	+85,0 ... +86,0	+82,4 ... +83,9	27,0	≈ +59,0	290.300	672
						473.600	1.184

³⁾ rechnerisch erforderliche Dammbreite B_1 (siehe Punkt 5.6)

⁴⁾ Ab GOK vorhanden

⁵⁾ Bereich ehemalige Tagebaurandböschung



Die Abmessungen der Stützkörperaufweitungen zur Sicherung der erforderlichen Montagefläche um den Maststandort M 96n betragen:

- + Breite Aufweitung B₂: 9,0 m,
- + Verdichtungstiefe T₂: 11,0 m (unter AE RDV)

Für die **Stützkörperaufweitungen** sind **10.300 m³ Kippenboden** durch ca. **50 Ansatzpunkte** zu verdichten.

Insgesamt sind zur Herstellung des Mediendamms **483.900m³ Kippenboden** durch **1.234 Ansatzpunkte** zu verdichten. Der Stützkörper erstreckt sich auf einer **Länge** von insgesamt **591 m**.

Die Bemessung der Stützkörperparameter, wie die erforderliche Verdichtungstiefe T₁, erfolgte an den Geotechnischen Profilen GP M95n und GP M96n jeweils für die Maststandorte sowie aus den Ergebnissen der Standsicherheitsuntersuchungen zur Gewährleistung der Standsicherheit des RDV-Trägergerätes während der Bauphase (siehe Punkt 5.6). Gemäß den Ergebnissen dieser Standsicherheitsuntersuchungen müssen die Stützkörper im Bereich der Maststandorte auf dem Hangenden der gemischt- bis feinkörnigen Pflugkippen der Materialklasse MK 2 aufsitzen bzw. zwischen den Maststandorten 24 m tief unter Arbeitsebene des Trägergerätes hergestellt werden (entspricht etwa dem Hangenden der o.g. Pflugkippe der Materialklasse MK 2).

Zur Einhaltung dieser Vorgabe wird auf die rechnerisch ermittelten erforderlichen Verdichtungstiefen in Abhängigkeit der jeweiligen Untergrundverhältnisse ein Sicherheitszuschlag von 1 m bis 2 m angerechnet. Die aus erforderlicher Verdichtungstiefe und Sicherheitszuschlag ermittelten Rüttelteufen sind in der Tabelle 7-1 zusammengefasst.

Die Ermittlung der erforderlichen Rüttelansatzpunkte erfolgte auf der Grundlage des aus der Winkelfahrweise im Raster $\approx 4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ konstruierten Rüttelrasters (siehe Punkt 7.2.3). der jeweiligen Stützkörperlänge sowie unter Berücksichtigung der technologischen Dammbreite $B_{\text{eff}} + 2 \cdot \frac{1}{2} \text{ Raster RDV}$.

Im Bereich der Maststandorte ist die Vorgabe des o.g. Rüttelrasters aus den beispielhaften Gründungsarten und Fundamentkräften analog zu den Verdichtungsanforderungen abgeleitet (vgl. Punkt 7.2.1). Nach Vorlage der konkreten Gründungsart der Masten ist im Rahmen der Ausführungsplanung eine Überprüfung und Differenzierung des Rüttelrasters erforderlich.

Im Rahmen der Geotechnischen Fachbegleitung erfolgt die Konstruktion des Absteckplanes für die Verdichtungspunkte/-trasse und die Fahrweise des Trägergerätes auf der Grundlage der vom ausführenden Baubetrieb angegebenen Geräteausladung für den Regelbetrieb der RDV. Daher kann auch im Rahmen der Geotechnischen Fachbegleitung eine geringfügige Präzisierung der Anzahl der Rüttelansatzpunkte erfolgen. Es wird empfohlen, den Beginn der Geotechnischen Fachbegleitung der Maßnahmen zeitlich so vorzuziehen, dass nach Festlegung des zum Einsatz kommenden Gerätes die Unterlagen erstellt werden können.

7.2.3 Rütteltechnologie

Die Lage der Stützkörper im Grundriss veranschaulicht der Lageplan der Anlage 3. Die Geotechnischen Profile der Anlage 4.1 bis 4.3 beinhalten die Schnittdarstellung der Stützkörper.

Entsprechend den vorliegenden Erfahrungen bei der Stabilisierung des Kippenbodens im Kippen-
gelände der Innenkippe Greifenhain wird das Raster der RDV im Rahmen der vorliegenden
Entwurfsplanung zunächst vorläufig mit $\approx 4 \text{ m} \times \approx 4 \text{ m}$ definiert. Eine Anpassung und
Differenzierung erfolgt auf der Grundlage der konkreten Gründungsart der Masten im Rahmen der
Ausführungsplanung sowie ggf. im Rahmen der Geotechnischen Fachbegleitung während der
Durchführung der Arbeiten anhand der Bewertung von Drucksondierungen unter Beachtung der
Verdichtungszielstellungen gemäß Punkt 7.2.1.

Folgende Rüttelparameter sind bei der Ausführung der RDV einzuhalten:

- + Raster $\approx 4 \text{ m} \times \approx 4 \text{ m}$ (Raster vorläufig, Winkelfahrweise möglich)
- + Anwendung der Pilgerschrittfahrweise als Grundtechnologie zur Abarbeitung je Ansatzpunkt:
 1. Einfahren der Lanze bis zur vorgegebenen Solltiefe,
 2. Verdichtung in der Tiefenstufe mit Verweildauer von 30 s danach Einfahren (Nachdrücken) der Lanze um 0,5 m bzw. bis zum Abbruch durch Strombegrenzung oder Unterschreitung der zulässigen Hakenlast,
 3. Nach Wiedereinfahren sofortiges Ziehen der Lanze um 1,0 m (wenn Wiedereinfahren bis 0,5 m erreicht), sonst bis zur nächsten Tiefenstufe
(Ziehweg = 0,5 m + Weg Wiedereinfahren nach Punkt 2),
 4. Wiederholen des Vorganges beginnend mit Punkt 2.
- + Fliehkraft Rüttler: $\geq 460 \text{ kN}$ bis max. 600 kN,

Der Rüttler muss eine Mindestschlagkraft von 460 kN besitzen, darf aber die Schlagkraft von 600 kN nicht überschreiten.
- + Einzuhaltendes Vorland: $b_v \geq 10 \text{ m}$ (vgl. Punkt 5.6 und Abbildung 7-1),
- + Gerätebreite: $b_{\text{Gerät, max.}} \approx 9 \text{ m}$,
- + Breite Fluchtfahrt: $b_{\text{si.}} \geq 5 \text{ m}$

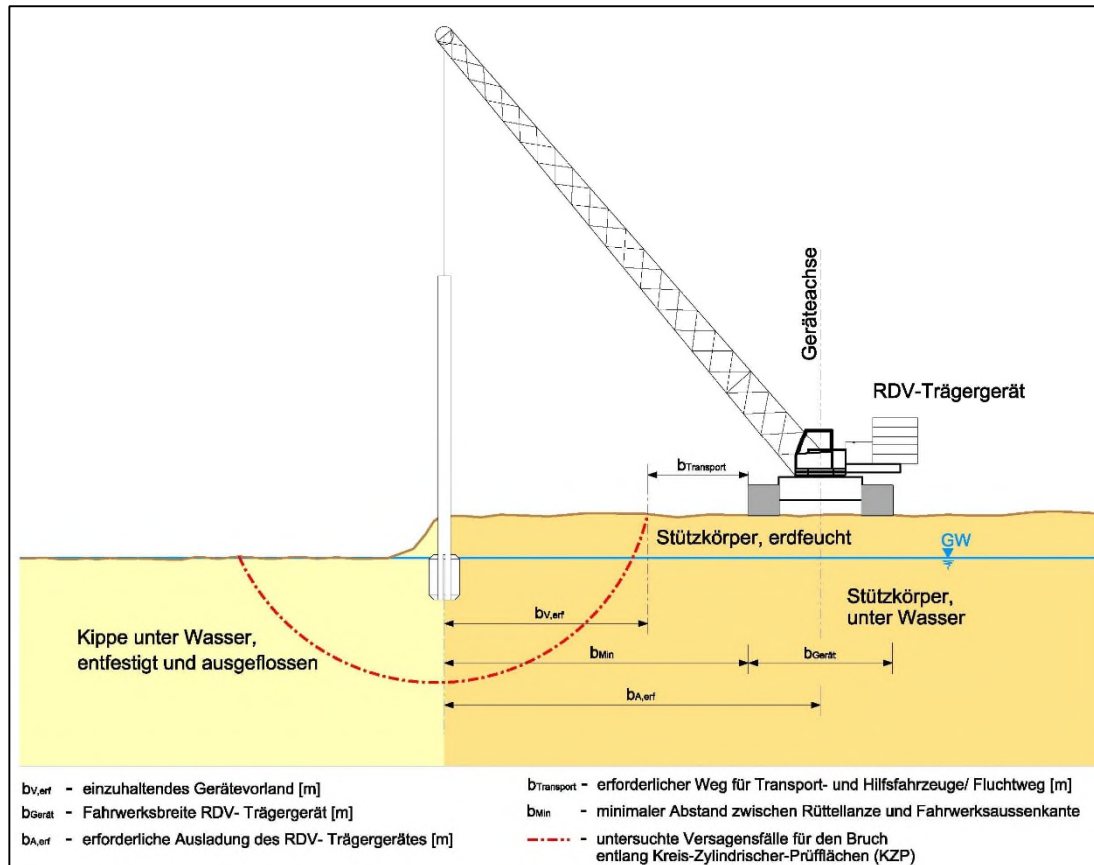


Abbildung 7-1: Prinzipskizze der RDV-Technologie

Nach der in Abbildung 7-1 dargestellten Situation und den o.g. geometrischen Parametern muss die erforderliche Ausladung $b_{A,erf.}$ des RDV-Trägergerätes (Abstand zwischen Geräteachse und Rüttellanze) mindestens 17,5 m betragen. Daraus ergibt sich ein minimaler Abstand b_{Min} zwischen Rüttellanze und Fahrwerksaußenkante von 13 m. Die Mindestausladung (Mindest heißt größer oder gleich) von 17,5 m ist eine geotechnisch bedingte Sicherheitsvorgabe und bezieht sich auf das einzuhaltende Vorland zwischen Rüttellanze und Trägergerät. Das zum Einsatz gelangende Gerät muss diese Forderung unbedingt erfüllen.

Darüber hinaus ist auf dem Ausleger des RDV- Trägergerätes eine Videokamera zu installieren, die während der Anwendung der RDV das verdichtete Vorland vor dem RDV- Trägergerät sowie das unmittelbare, unverdichtete Vorland vor dem Stützkörper filmt.

Die Abarbeitungsreihenfolge erfolgt intermittierend, d.h. versetzt, um eine konzentrierte Anregung der wassergesättigten Kippe zu vermeiden und eine Konsolidierung der frisch verdichteten Punkte zu ermöglichen. D.h., begonnen wird mit einem äußeren Punkt. Es folgt der mittelste Rüttelpunkt (in Achsnähe). Die weiteren Punkte liegen jeweils im Wechsel versetzt. Im Rahmen der geotechnischen Fachbegleitung muss die Technologie an die Reaktionen der Kippe ggf. angepasst werden.

Entsprechend technologischem Erfordernis sind zum Abteufen der Lanze ggf. Druckluft und/oder Wasser zuzugeben. Die Festlegung erfolgt durch den mit der Ausführung der RDV- Leistung beauftragten Fachbetrieb. Für die Kalkulation der Kosten wird von einer Wasserzugabe im Tiefenbereich 2,5 m unter GOK bis zum Grundwasserspiegel ausgegangen. Je Rüttelpunkt entspricht das einer durchschnittlichen Mächtigkeit von 5 m (St. 0+000 bis ca. St. 0+175) bis 11 m (St. 0+175 bis St. 0+591), bei der je laufenden Rüttelmeter ca. 1 m³ Wasser zuzugeben wird.

Insgesamt wird der **Wasserbedarf** im erdfeuchten Bereich auf ca. **11.000 m³** abgeschätzt.

Das Zugabewasser für die RDV kann eventuell aus dem Brunnen am Trassenanfang des Stützkörpers Werkstattgraben Nord entnommen werden. Die Nutzung des Brunnens ist mit dem Eigentümer LMBV mbH abzustimmen. Die Lage des Brunnens geht aus dem Lageplan der Anlage 3 hervor, dort als Br. 3 (RDV) gekennzeichnet. Der Brunnen wurde bereits in der Vergangenheit zur Brauchwasserentnahme für die RDV- Werkstattgraben Nord genutzt.

7.2.4 Massenzugabe während der RDV

Die **Arbeitsebenen des Planums der RDV** müssen zur Gewährleistung der Grundbruchsicherheit **wenigstens 2,5 m** über dem Grundwasserspiegel liegen (vgl. Punkt 5.6). Infolge der Verdichtung des locker gelagerten Kippenbodens ist je nach Verdichtungstiefe und Verdichtungserfolg mit Planumsabsenkungen in Größenordnungen von 1,7 m bis 2,0 m zu rechnen.

In der Prognose wurde davon ausgegangen, dass der derzeit lockere Kippenboden mit charakteristischen Verdichtungsgraden von $D_{Pr} \approx 85 \%$ infolge RDV auf $D_{Pr} \approx 93 \%$ bis 95% (mittlerer Erfahrungswert und gleichzeitig Verdichtungszielstellung) verdichtet wird. Der Verdichtungszuwachs bewirkt eine Reduzierung des Porenvolumens in der Kippe, welcher sich in der Absenkung der RDV- Arbeitsebene widerspiegelt (vergleiche vorhandene Geländeöhe mit Höhe Arbeitsebene in Tabelle 7-1).

Gemäß Prognose der zu erwartenden Planumsabsenkungen sind in der Trasse des Mediendamms keine Bereiche mit Geländeabsenkungen, die das geforderte Maß von 2,5 m erdfeuchte Überdeckung über dem Grundwasserspiegel zur Gewährleistung der Grundbruchsicherheit für das Trägergerät unterschreiten, vorhanden.

Ein zusätzlicher Antransport von Fremdmaterial während der RDV ist daher nicht notwendig.

Da dem aktiven Rüttelloch mittels Hilfsgerät (Radlader) permanent Material zuzuführen ist, wird dieser Boden direkt aus der Verdichtungsstrasse vom bereits verdichteten Stützkörper aus gewonnen.

Die Trassierung des Neubaus der 380 kV-Hochspannungsleitung wurde auf dem derzeit vorhandenen Höhenniveau durchgeführt und Masten höhenbestimmt ([19]). Gemäß [19] sind die Maststandorte nach Abschluss der Verdichtungsarbeiten wieder auf das vorhandene Geländeniveau aufzufüllen. Die entsprechenden Maßnahmen dazu sind unter Punkt 7.4 beschrieben.

7.3 Tiefenwirksame Oberflächenverdichtung

Nach der RDV erfolgt auf der gesamten Fläche innerhalb der äußeren Begrenzung des Stützkörpers einschließlich Hilfsdämme, eine bis zu 4 m tiefenwirksame Oberflächenverdichtung. Zur Ausführung der Oberflächenverdichtung wird das Verfahren der Hochenergetischen Dynamischen Schlagverdichtung (HDS) bzw. HEIC (engl. high energy impact compactor) favorisiert und empfohlen. Die Verdichtung erfolgt bei diesem Verfahren mittels einer Gerätekombination bestehend aus Zugfahrzeug und Anhängewalze mit bis zu 40 schnellen (8 km/h bis 14 km/h) Überfahrten. Die Abbildung 7-2 zeigt den Einsatz der Hochenergetischen Dynamischen Schlagverdichtung mittels Anhängewalze im Kippengelände der Innenkippe Greifenhain.



Abbildung 7-2: Oberflächenverdichtung mittels Verfahren der Hochenergetischen Dynamischen Schlagverdichtung (Landpac-Verfahren), Foto Falk Hoffmann

Zielstellung dieser Verdichtung ist eine Vergleichmäßigung der Oberflächentragfähigkeit, eine Homogenisierung der Dichteverhältnisse und Wasserdurchlässigkeit im Untergrund als Voraussetzung für die Profilierung der bleibenden Böschungen im Übergangsbereich Stützkörper - unverdichtetes Kippengelände sowie die Beseitigung der Nachfallgefahr an Rüttellöchern zur Erhöhung der geotechnischen Sicherheit im Bereich der RDV- Trasse. Folgende Stützkörperfläche ist zu verdichten:

19.300 m².

Die Verdichtungsanforderung an die HDS beträgt: **D_{Pr} ≥ 95 %**

(entspricht etwa mitteldichten Lagerungsverhältnissen)

Die Festlegungen zur Verdichtungstechnologie sind vorläufig. Änderungen und Anpassungen erfolgen im Rahmen der Geotechnischen Fachbegleitung (siehe Punkt 7.6).

Für die Ausführung der HDS sind die geotechnisch bedingten Vorgaben und Verhaltensanforderungen gemäß Gliederungspunkt 7.5 einzuhalten.

7.4 Befestigung der Maststandorte

Nach Abschluss der dynamischen Kippenstabilisierung mittels RDV und HDS sind die ursprünglichen Geländehöhen in den Bereichen der Mastaufstandsflächen durch Geländeauffüllungen wiederherzustellen. Folgende Zielhöhen sind gemäß [19] für die Masten vorgegeben:

+ Mast M95n $\approx + 86,0$ m NHN,

+ Mast M96n $\approx + 79,8$ m NHN.

Auf ein Geogitter folgt zunächst ein lagenweiser, verdichteter Aufbau mit Mineralgemisch 0/45 bis zu den o.g. Zielhöhen. Die Lagendicke beträgt max. 0,5 m und die Verdichtungsanforderung $D_{Pr} \geq 98$ %. Der Verdichtungsgrad ist lagenweise indirekt mittels dynamischen Plattendruckversuchen nach TP BF-StB 8.3 zu prüfen und nachzuweisen (siehe Punkt 8). Erst bei ausreichender Verdichtung und Freigabe darf die nächste Lage aufgebaut werden.

Die Planung der oben beschriebenen Geländeauffüllung erfolgte zunächst auf der Grundlage der mit [17] übergebenen beispielhaften Gründungsarten und den Fundamentkräften für die Masten 95n und 96n entsprechend [18]. Nach Festlegung der konkreten Gründungsvariante der Masten ist im Rahmen der Ausführungsplanung eine Präzisierung und ggf. Differenzierung der Geländeauffüllung insbesondere im Bereich der Gründungssohle vorzunehmen.

Aufgrund der Erfahrungen im Rahmen der Verdichtung des Stützkörpers Werkstattgraben Nord hinsichtlich der Problematik aufgehender Rüttellöcher auf dem bereits verdichteten Stützkörper wird der oben beschriebene Aufbau zur Gewährleistung der Standsicherheit der Technik zum Aufbau und Warten der Masten (z.B. auch Kräne mit hohen Pratzenlasten) auf die mit [22] übergebenen erforderlichen Arbeitsbreiten (50 m x 50 m) um den jeweiligen Maststandort erweitert.

Insgesamt sind **7.800 m³ Mineralgemisch 0/45** und **4.100 m² Geogitter** einzubauen.

Die Lage der Befestigungen der Maststandorte zeigt der Lageplan der Anlage 3. Eine detaillierte mastbezogene Schnittdarstellung mit Sollhöhenvorgabe, Neigungen, Aufbaustärken usw. kann den Geotechnischen Profilen in Anlage 4.2 und 4.3 entnommen werden.

7.5 Mengen- und Kostenberechnung

Die Mengen- und Kostenberechnung ist in der Anlage 6 in Tabellenform aufgelistet. Die Kosten für die in der vorliegenden Planung beschriebenen Sanierungsleistungen belaufen sich insgesamt auf

1.077.598,30 EUR.

7.6 Bauablauf und Bauzeiten

Maßgebend für die Bestimmung der Bauzeit ist die Leistung der RDV. In den Berechnungen der Bauzeit wird der Einsatz von 1 Trägergerät und der Einsatz der Oberflächenverdichtung angesetzt. Unter Beachtung der technologischen Abhängigkeiten ist für die Leistung der RDV von einer Bauzeit von 4 Monaten auszugehen. Zuzüglich der Bauzeit für die Oberflächenverdichtung von 2 Monaten und 1 Monat zur Herstellung der Befestigung der Maststandorte ergibt sich eine Gesamtbauzeit von

7 Monaten.

Den schematischen Bauablauf und die Bauzeiten stellt die Anlage 7 dar.



8 Baubegleitendes Mess- und Kontrollprogramm

Die im Folgenden ausgeführten Mess- und Kontrollprüfungen dienen ausschließlich der Überwachung der Qualitätsanforderungen an die Erdbauwerke sowie dem Schutz und der Beweissicherung an zu schützenden Objekten.

• Vermessung

- + Absteckung des Baustelleneinrichtungs- und Montageplatzes sowie Achse der Baustraße,
- + Erstabsteckungen von Holzungs- und Rodungsgrenzen,
- + Absteckung von ggf. notwendigen Rückbaumaßnahmen,
- + Markierung/ Absteckung der Arbeitsflächen um die Maststandorte,
- + Markierung/ Absteckung von Höhenpunkten zur Kontrolle des Wege- und Montageplatzbaues und des Aufbaues der Arbeitsflächen um die Maststandorte,
- + Markierung/ Absteckung der Trasse zur Freilegung der Leitung, Einmessung der freigelegten Leitung,
- + Markierung/ Absteckung der Achse und äußeren Begrenzung des Stützkörpers,
- + Absteckung der Fluchten zur Markierung der Fahrspuren für das Trägergerät einschließlich Setzen von Höhenmarken zur Kontrolle der Planumshöhe (Arbeitsebene der RDV),
- + Zwischenaufmaße während der Bauausführung zur Kontrolle und Monatsabrechnung, Endaufmaß nach Abschluss der Arbeiten mit Abschlusshöhen des Geländes.

• Schwingungsmessungen

Als Maßnahmen zur Beweissicherung sind am zu schützenden Objekt WKA V30762 zwei Schwingungsmessungen (2 Einsätze) durchzuführen. Die Einsätze zur Schwingungsmessung sind in der nachfolgenden Tabelle 8-1 zusammengefasst.

Tabelle 8-1: Mess- und Kontrollprogramm Schwingungsmessungen

Messeinsatz	Messzeitraum	Beginn Messung
1. Einsatz	1 Tag	St. 0+250
2. Einsatz	1 Tag	St. 0+400

- **Setzungsmessungen**

3 Einsätze für Setzungsmessungen an zu schützenden Objekten

- + 2 Einsätze mit 2 Messstellen (vor Beginn und nach Abschluss der RDV sowie vor Beginn und nach Abschluss der HDS) an der WKA V30762
- + 1 Einsatz an der o.g. WKA V30762 während des RDV Einsatzes (2 Messstellen).

- **Verdichtungskontrollen**

- + 13 Flügelsondierungen (ca. 2 FS je 100m Dammvortrieb) 15 m tief zur Kontrolle der Erstverfestigung des frisch verdichteten Kippenbodens während der Verdichtungsarbeiten, weitere Flügelsondierungen im Bedarfsfall z.B. beim Auftreten von Planumsinstabilitäten,

- + Drucksondierungen (DS) zur Kontrolle des Verdichtungserfolges und ggf. zur Festlegung von Maßnahmen zur Nachverdichtung,

13 Drucksondierungen (2 DS je 100 m Dammlänge verteilt auf die jeweilige Dammbreite) bis 27 m tief,

Ausführung der Drucksondierungen frühestens 1 Monat nach der RDV,

- + 13 leichte Rammsondierungen (RS) DPL 5, bis 5 m tief, zur Kontrolle des Verdichtungserfolges der HDS und ggf. zur Festlegung von Maßnahmen zur Nachverdichtung, (2 RS je 100 m Dammlänge verteilt auf die jeweilige Dammbreite).

- + Ausführung des komplexen Untersuchungsprogramms zur Nachweisführung der ausreichenden Verdichtung,

4 Kombinationsdrucksondierungen (KDS) bis 27 m tief

Ausführung frühestens 1 Monat nach dem Abschluss der Verdichtungsmaßnahmen,

4 Trockenbohrungen (BK) mit Gewinnung gekernter Proben in PVC-Linern Ø 100 mm je 27 m tief,

Untersuchung von Proben aus den Trockenbohrungen hinsichtlich der Scherfestigkeit sowie der materialspezifischen Kennzahlen (Kornverteilung, Glühverlust, Korndichte, Proctordichte),

10 Triaxialversuche an ausgewähltem Probematerial aus den Linerbohrungen.

- **Sonstige Kontrolluntersuchungen**

- + 8 dynamische Plattendruckversuche nach TP BF-StB 8.3 zur Prüfung der Tragfähigkeitsverhältnisse auf dem Planum der herzustellenden Baustraßen (2 Stück) und dem Montagplatz (2 Stück) sowie auf der Schottertragschicht (je 2 Stück auf der Baustraße und dem Montageplatz).
- + 32 dynamische Plattendruckversuche nach TP BF-StB 8.3 zur indirekten Prüfung der Verdichtung der zu befestigenden Montage- und Arbeitsflächen um die Maststandorte (je 50 cm Einbaulage 4 Versuche ergibt bei ca. 2,0 m bzw. 1,80 m Gesamtdicke 4 Prüfhorizonte und damit 16 Versuche je Mast).

- **Beweissicherung**

- + Am zu schützenden Objekt WKA V30762 ist vor Beginn und nach Abschluss der RDV eine Beweissicherung durch einen Sachverständigen für Bauwerksschäden durchzuführen. Bei Feststellung von Rissen ist eine Rissbeobachtung durchzuführen. Das zur Rissbeobachtung zum Einsatz kommende System muss auch unter extremen Witterungseinflüssen mit starken Temperaturschwankungen exakte Ergebnisse zur Rissausbreitung erzielen (z.B. durch Rissmonitore).
- + Aufnahme und Dokumentation des Zustandes vorhandener Wege, die durch die Sanierungsarbeiten genutzt werden sollen.



9 Geotechnische Vorgaben und Verhaltensanforderungen

Da die in der vorliegenden Planung beschriebenen Baumaßnahmen im Kippengelände des ehemaligen Tagebaues Greifenhain realisiert werden und teilweise den geotechnischen Sperrbereich mit bergbaubedingten Gefährdungen tangieren, müssen zur Gewährleistung der geotechnischen Sicherheit während der Ausführung der Arbeiten über die allgemeingültigen Arbeitsschutzbestimmungen und Unfallverhütungsvorschriften hinaus, besondere geotechnisch bedingte, sicherheitstechnische Vorgaben und Verhaltensanforderungen beachtet und strikt umgesetzt werden.

Diese sind in der nachfolgenden Ausführungsplanung durch einen im Bergbau anerkannten Sachverständigen für Geotechnik vorzugeben.

