

Drucksondierungen bei technologisch unterschiedlich hergestellten Kippen des Braunkohlentagebaues

Dr.-Ing. Michael Dennhardt, Dipl.-Ing. Sabine Bischof
(CDM Smith, Berlin)

1 Veranlassung und Zielstellung

Nach den Geländebrüchen, die sich in den vergangenen Jahren auf Innenkippenflächen der Lausitz ereigneten, war es notwendig, Untersuchungen zum Zustand der bisher nur in geringem Umfang untersuchten Kippenböden abseits der Restloch-sicherungen auszuführen. In diesem Zusammenhang wurden und werden eine Vielzahl von Drucksondierungen und anderen Feld- und Laboruntersuchungen veranlasst und durchgeführt.

Da bei der Auswertung diverser Drucksondiererergebnisse festgestellt wurde, dass zum Teil signifikante Unterschiede zwischen verschiedenen Innenkippenflächen insbesondere beim Verlauf des Spitzenwiderstandes nach der Tiefe existieren, ist den Ursachen und ggf. vorhandenen Zusammenhängen mit dem Auftreten von Geländebrüchen nachzugehen. Als einer der ersten Schritte erfolgte eine Untersuchung hinsichtlich möglicher Zusammenhänge mit der Verkippungstechnologie.

1.1 Vorgehensweise

Drucksondierungen dienen als Mittel, schnell Basisinformationen über Lagerungsdichte und Kornverteilung der Kippenböden zu erhalten.

Radiometrische Kombinationsdrucksondierungen wurden im Rahmen vorliegender Untersuchung ebenfalls ausgewertet, finden hier nur randlich Erwähnung.

In der Auswertung berücksichtigt sind

- Drucksondierungen der vergangenen 3 ... 4 Jahre, die im Rahmen von Standsicherheitsuntersuchungen oder Sanierungsplanungen abgeteufelt wurden,
- aktuelle Drucksondierungen der jüngsten, mit unterschiedlichen Zielstellungen von den Sachverständigen im Auftrag der LMBV ausgeführten, Felduntersuchungen
- aktuelle Drucksondierungen in bisher gering untersuchtem, ebenen Kippen-gelände und an älteren Vergleichsson-dierungen
- ausschließlich Drucksondierungen in bisher unsanierten Bereichen oder aber - wenn hinreichend aktuell - Vorsondierungen vor der Herstellung von z.B. versteckten Dämmen
- digitale und digitalisierte Drucksondierungen.

Drucksondierungen bei technologisch unterschiedlich hergestellten Kippen des Braunkohlentagebaues

1.2 Untersuchte Tagebaufelder

Von den ca. 30 ehemaligen Braunkohlentagebauen und Tagebaufeldern mit Innenkippenflächen in der brandenburgischen und sächsischen Lausitz wurden bisher 10 Bereiche untersucht. Bei weiteren 10 liegen die Erkundungskonzepte zur Ausführung bereit.

Für folgende Innenkippenbereiche ehemaliger Tagebaue (mit Angabe der Laufzeit) werden Auswertungen von Drucksondierungen und z.T. radiometrischen Kombinationsdrucksondierungen vorgestellt:

1. Tagebau Spreetal (1945-1983)
2. Tagebau Brigitta (Vorläufer von Spreetal, (1906) 1914-1945)
3. Tagebau Lohsa (Werminghoff III, 1952-1984)
4. Tagebau Schlabendorf Süd (1972-1991)
5. Tagebau Seese Ost (1981-1996)
6. Tagebaufelder Meuro - Süd
7. Bereich Lauchhammer I (Tagebau Kleinleipisch (1911-1980))
8. Bereich Lauchhammer I (Tagebau Friedländer (1921-1955))
9. Bereich Lauchhammer II (Grube Ferdinand Tgb. I 1897-1938, Tgb. II 1938-1945)
10. Tagebau Reichwalde (ab 1980)

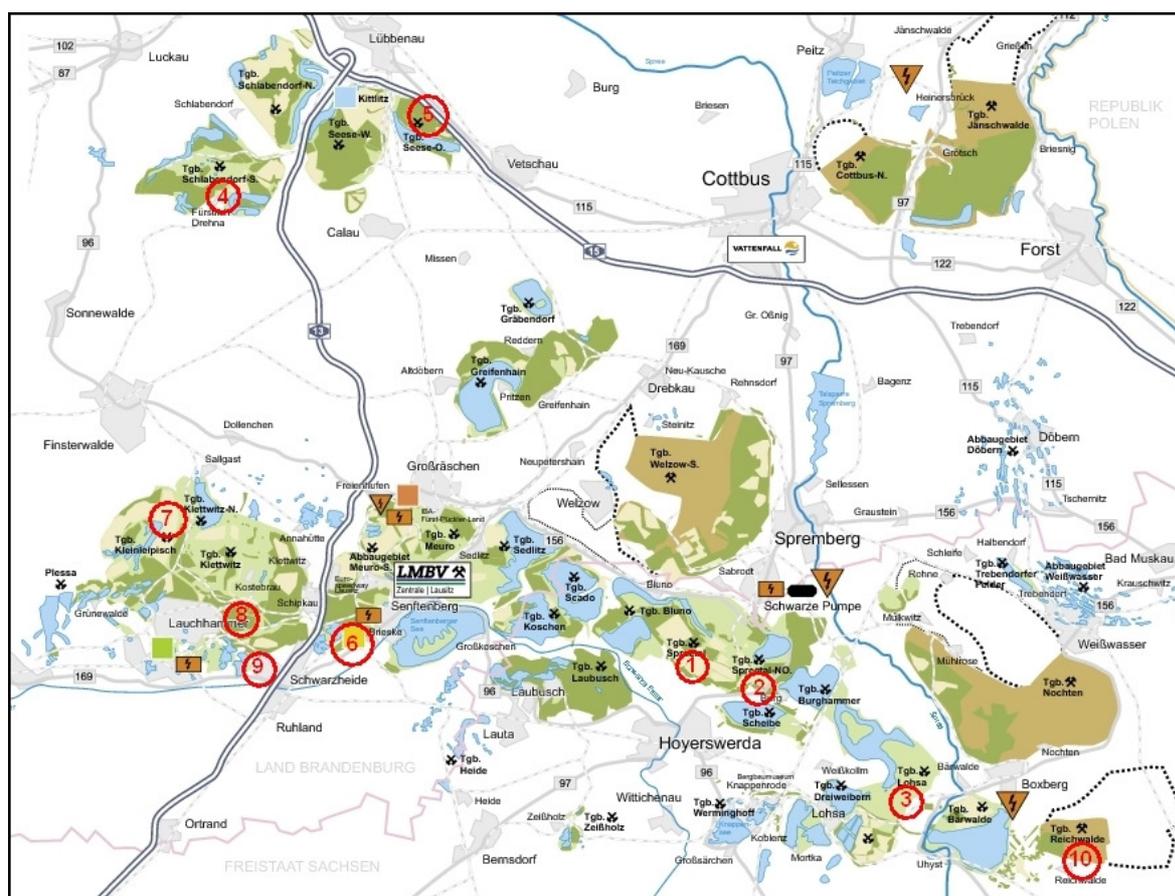


Abbildung 1: Braunkohlenbergbau in der Lausitz mit Angabe der untersuchten Innenkippenbereiche (Quelle: LMBV)

Drucksondierungen bei technologisch unterschiedlich hergestellten Kippen des Braunkohlentagebaues

Trotz der erheblichen Konstruktionsunterschiede mit einem oder mehreren Abwürfen und unterschiedlichen Mächtigkeiten der Kippscheiben ist die Abwurfhöhe der Massen für die Hoch- bzw. Hauptschüttung mit Ausnahme der Vorläufermodelle nicht signifikant unterschiedlich:



Abbildung 6: AFB F60 im Tagebau Jänschwalde (Quelle: VEM)

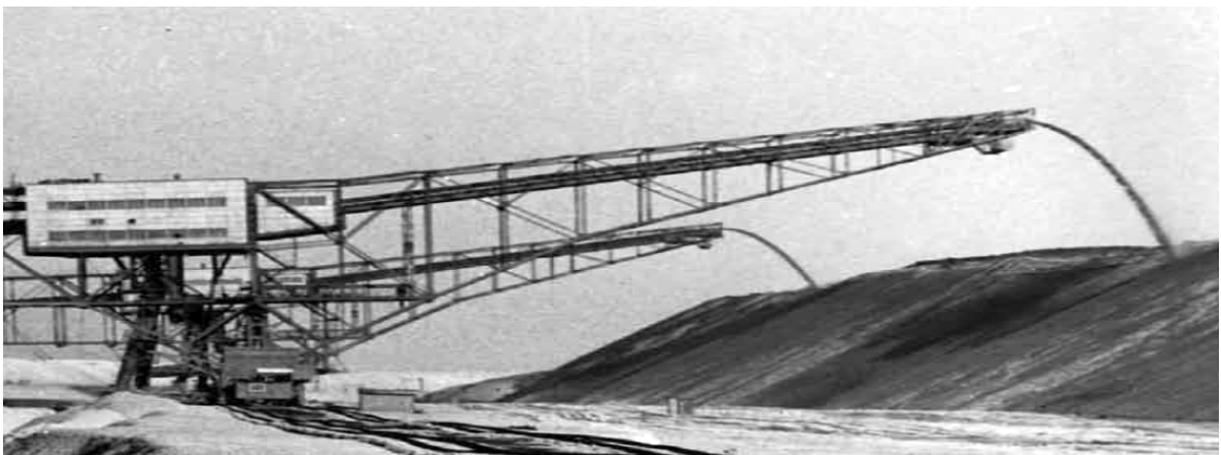


Abbildung 7: AFB F34 im Tagebau Lohsa (Quelle: LMBV, Wandlungen und Perspektiven)



Abbildung 8: AFB Kleinleipisch Umbau 1938 (Quelle: LMBV, Wandlungen und Perspektiven)

Drucksondierungen bei technologisch unterschiedlich hergestellten Kippen des Braunkohlentagebaues

1.3.2 Tagebaue mit Abraumzugbetrieb oder Abraubandbetrieb

Folgende Technologien kommen bzw. kamen meist auch bei Brückentagebauen z.B. für Vorschnittabraum oder zur Schließung von Randgräben und Tieflagen mit Fremdabraum zum Einsatz.

- Versturz mittels Absetzer
- Versturz in Pflugkippen
- LKW-Kippen

1.3.3 Tagebaue mit besonderen Kipptechnologien

Nicht unmittelbar zu den Standardtechnologien gehören z.B. folgende Versturzvarianten:

- Direktversturz mittels Absetzer
- Betrieb von Spülkippen (ggf. im Wechsel mit Pflugkippen)
- Einsatz der Kabelbaggertechnologie

1.3.4 Bodenmechanisch bedeutsame technologische Randbedingungen

Beim Versturz wird der Abraum in unterschiedlichem Maße von technologischen Randbedingungen beeinflusst:

- Anzahl der Abwürfe der AFB
- Abwurfhöhen der AFB bzw. des Absetzers
- Rückweiten und -zeiten des Versturzgerätes
- Liegezeit vor Überschütten mit Absetzer- Pflug-, oder LKW-Kippe
- Liegezeit vor Grundwasseranstieg

1.4 Verflüssigungsbedingte Geländebruch- und Geländeabsenkungsereignisse

In der jüngeren Vergangenheit haben sich in der Lausitz eine Reihe von verflüssigungsbedingten Geländebrüchen und Geländeabsenkungen ereignet.

Bis auf die Ereignisse in Spreetal (12.10.2010) und Lohsa (Ende Dez. 2010) sind alle untersuchten Ereignisse im Nordraum der Lausitz (Schlabendorf und Seese) konzentriert.

Ein Zusammenhang mit Kippentechnologie wird vermutet, lässt sich bisher aber weder beweisen noch negieren:

Für die Hypothese spricht:

Alle Ereignisse auf mit AFB F34 hergestellten Kippen.

Gegen die Hypothese spricht:

Nur zwei Ereignisse in der sächsischen Lausitz, von denen zudem das Spreetal-Ereignis durch eine Reihe ungünstiger geometrischer, hydrologischer und technischer Randbedingungen begünstigt wurde.

Drucksondierungen bei technologisch unterschiedlich hergestellten Kippen des Braunkohlentagebaues

Nach bisherigen Erkenntnis lag bei allen Ereignissen der Grundwasserstand kleiner als ca. 8 m (typische Werte 3 m bis 5 m) unter Gelände. Bei den mit Förderbrücken F45 und F60 hergestellten Kippen sind Flächen mit derartigen Grundwasserflurabständen noch anteilmäßig geringer, woraus resultiert, dass dort bisher keine Ereignisse stattgefunden haben.

1.5 Auswertung von Drucksondierungen

1.5.1 Kippenbodenklassifikationen

Es existiert eine Reihe von Ansätzen für die Klassifikation der in der Lausitz vorkommenden Kippenböden.

Klassifikation nach Reibungsverhältnis

- ▶ 4 Klassen

Klassifikation in Kippenmischbodengruppen

- ▶ ca. 20 Klassen

Gestützt durch Triaxialversuche aufbauend auf Korngrößenverteilungen

- ▶ > 100 Klassen

Für die Zwecke des Vergleiches von Drucksondierergebnissen werden aufbauend auf der einfachsten Klassifikation nur die Messwerte in Böden mit ausgesprochener Verflüssigungsneigung ($R_f < 1,5$, z.T. $R_f < 1,0$) ausgewertet.

1.5.2 Vereinbarungen

In Hinblick auf die vergleichende Auswertung ist eine Vereinfachung der komplizierten Zusammenhänge zwischen Kippenboden und Drucksondierergebnissen erforderlich:

- Nur Sande der Lausitzer Kippen mit geringem Feinkornanteil sind sehr verflüssigungsempfindlich und für die Untersuchungen maßgeblich. Sie sind durch ein Reibungsverhältnis $R_f < 1,5$ charakterisiert.
- Der Spitzenwiderstand steigt idealtypisch unterhalb des Grundwassers nahezu linear mit zunehmender Teufe an.
- Der Anstieg ist abhängig vom teufenbezogenen Spannungszustand und der Zunahme der Lagerungsdichte nach der Tiefe - jedoch ist eine hinreichend genaue Zuordnung der Anteile bisher nicht möglich.
- Die Lage der idealtypischen Gerade ist Ausdruck eines typischen „Ausgangswertes“ von Lagerungsdichte/Porenanteil.
- Eine Korrektur hinsichtlich unterschiedlichen Grundwasserflurabstandes ist nicht immer erfolversprechend und nur bei einheitlich großen Grundwasserflurabständen sinnvoll.

Drucksondierungen bei technologisch unterschiedlich hergestellten Kippen des Braunkohlentagebaues

1.5.3 Darstellungsweise der Drucksondierergebnisse

Die Drucksondierungen werden für Spitzenwiderstand und Reibungsverhältnis

- geglättet als gleitendes Mittel über 1 m,
- nur für $R_f < 1,5$ bzw. $R_f < 1,0$,
- nur im Teufenbereich bis 20 m unter Gelände,
- ohne Berücksichtigung von Grundwasserständen (bevorzugt verwendet: GWFA zwischen 3 m und 6 m) und
- zusammen mit einer Spitzenwiderstandslinie Tagebau Spreetal, die den typischen Verlauf der unteren Grenze der geglätteten Messwerte repräsentiert

dargestellt.

Die Kippenböden der untersuchten Bereiche besitzen überwiegend geringe Feinkornanteile zwischen 5% und 20%. Lediglich im Nordraum liegt der max. Feinkornanteil auf Basis der zur Verfügung stehenden Daten bei max. 5%.

1.5.4 Spitzenwiderstandverlauf für ausgewählte Innenkippen

Tagebau Spreetal im Umkreis der Rutschung vom 12.10.2010:

- Technologie: AFB F34 überwiegend mit As-Kippen aus Fremdbaum überzogen
- Liegezeit: AFB-Kippe seit ca. 1962 ... 1966, As-Kippen jünger
- ca. 80 % $R_f < 1,5$

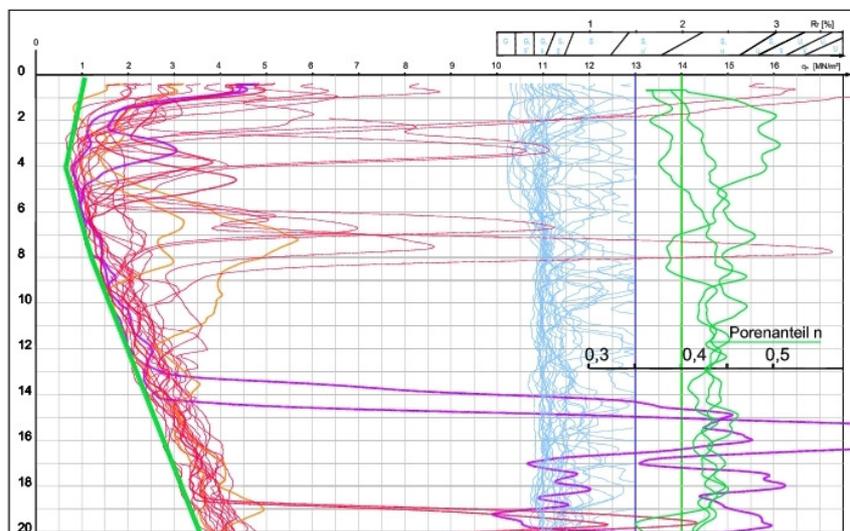


Abbildung 9: Drucksondierungen Tagebau Spreetal

Feststellungen:

- Sehr gleichmäßiger Verlauf mit deutlicher Untergrenze (Grüne Linie)

Drucksondierungen bei technologisch unterschiedlich hergestellten Kippen des Braunkohlentagebaues

Tagebau Brigitta (Vorläufer von Spreetal):

- Technologie: Absetzer- und Pflugkippen
- Liegezeit: seit nach 1945, Oberfläche später durch Auffüllungen verändert
- Ca. 95 % $R_f < 1,5$

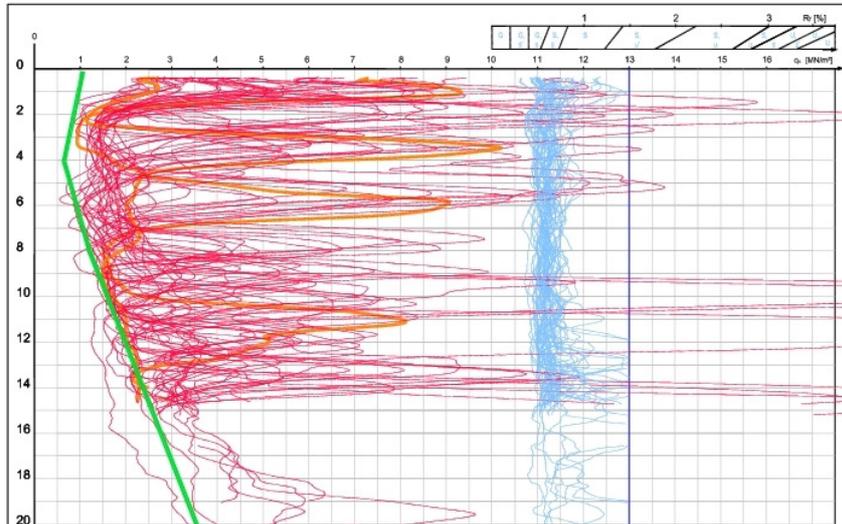


Abbildung 10: Drucksondierungen Tagebau Brigitta

Feststellungen:

- Ehemalige Arbeitsebenen meist bei höhengetreuer Darstellung identifizierbar.
- Trotz ggü. Tgb. Spreetal abweichender Technologie liegen untere Grenzen nahezu identisch.
- Auffällig: Lokale Abweichungen bei wenigen Drucksondierungen nach unten.
- Auffällige Häufung des Reibungsverhältnisses um $R_f = 0,7$.

Tagebau Lohsa im Umkreis des Geländebruches 12/2010 und auf analogen Flächen:

- Technologie: AFB F34 geplant
- Liegezeit: AFB-Kippe seit ca. 1963 ... 1971
- Ca. 95 % $R_f < 1,5$

Drucksondierungen bei technologisch unterschiedlich hergestellten Kippen des Braunkohlentagebaues

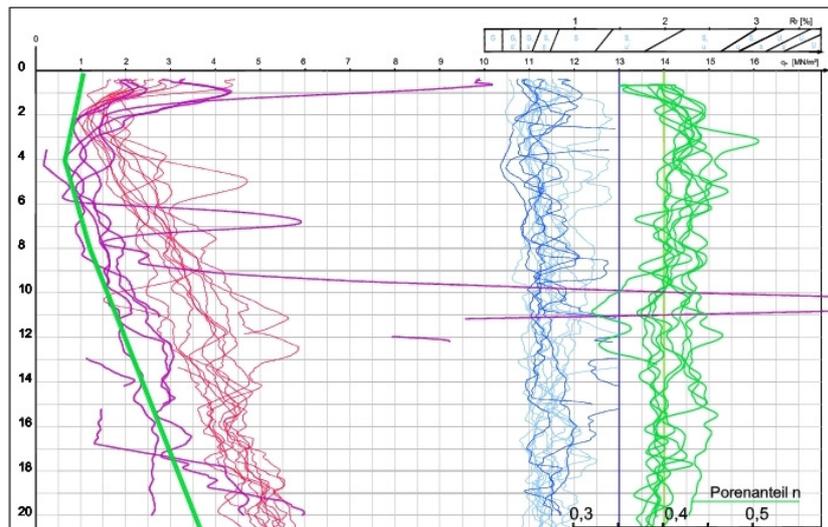


Abbildung 11: Drucksondierungen Tagebau Lohsa

Erkenntnis:

- Korrektur des Spitzendruckes in Bereichen mit sehr hohen Grundwasserflurabständen hinsichtlich der Überlagerungsspannung führt zu Widerstandsverläufen, die denen von Spreetal sehr ähneln - Zusammenhang sollte überprüft werden

Tagebau Schlabendorf Süd im Umkreis der Hauptereignisorte mehr oder weniger großflächiger Geländeabsenkungen:

- Technologie: AFB F34 planiert oder mit Pflugkippen überzogen
- Liegezeit: AFB-Kippe seit ca. 1977 ... 1990
- Pflugkippen bis > 16 Jahren nach AFB-Kippe
- Ca. 85 % $R_f < 1,0$

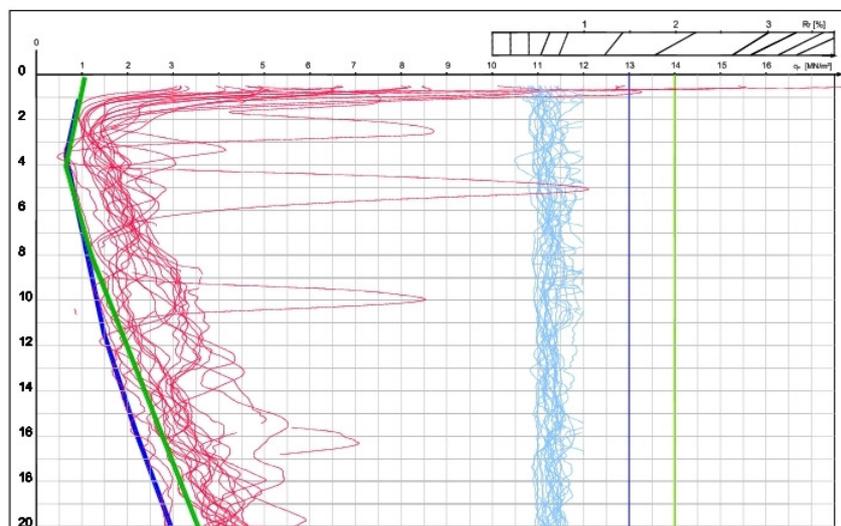


Abbildung 12: Drucksondierungen Tagebau Schlabendorf Süd, ohne Pflugkippen

Drucksondierungen bei technologisch unterschiedlich hergestellten Kippen des Braunkohlentagebaues

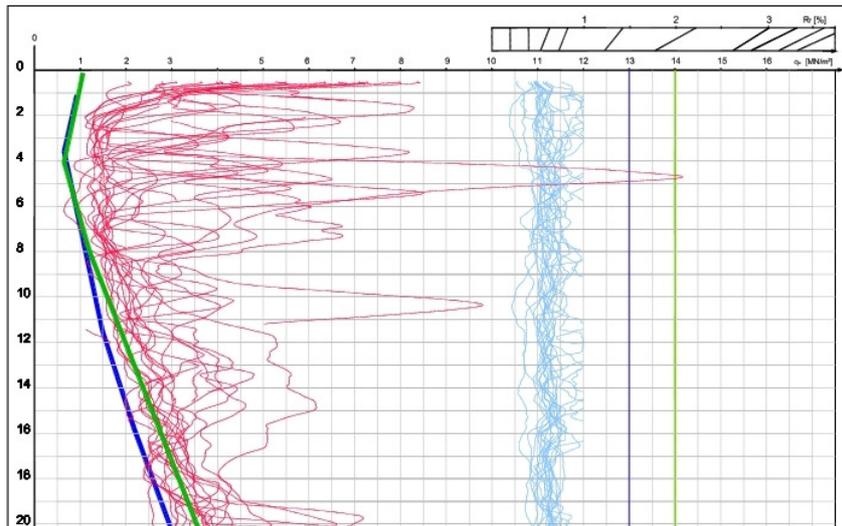


Abbildung 13: Drucksondierungen Tagebau Schlabendorf Süd, Pflugkippen 11 ... 16 Jahre nach AFB

Feststellungen:

- Verlauf der unteren Grenze des Spitzenwiderstands weicht in einer Vielzahl von Sondierungen deutlich um ca. 0,5 MPa gegenüber Spreetal nach unten ab (blaue Linie).
- Ab 10 m Tiefe sind kaum Unterschiede beim Spitzenwiderstandsverlauf hinsichtlich Existenz bzw. Zeitpunkt der Überschüttung mit Pflugkippen zu erkennen.
- Bei der lediglich planierten AFB-Kippe ist bis 8 m Tiefe eine deutliche Abweichung gegenüber den Darstellungen mit Pflugkippe erkennbar. Der Spitzenwiderstand steigt überwiegend linear mit der Tiefe an, um im Bereich des Grundwasseranschnittes stark abzufallen. In Spreetal ist diese Tendenz nur untergeordnet zu beobachten.
- Auffällige Häufung des Reibungsverhältnisses um $R_f = 0,6$ in der AFB-Kippe. Pflugkippen mit stärkerer Streuung.

Tagebau Seese Ost:

- Technologie: AFB F34, z.T. als Sanierungsmaßnahme mit As-Kippe überzogen
- Liegezeit: AFB-Kippe seit ca. 1985 ... 1990, As-Kippscheibe bis ca. 1997 aufgebaut
- Ca. 85 % $R_f < 1,5$

Drucksondierungen bei technologisch unterschiedlich hergestellten Kippen des Braunkohlentagebaues

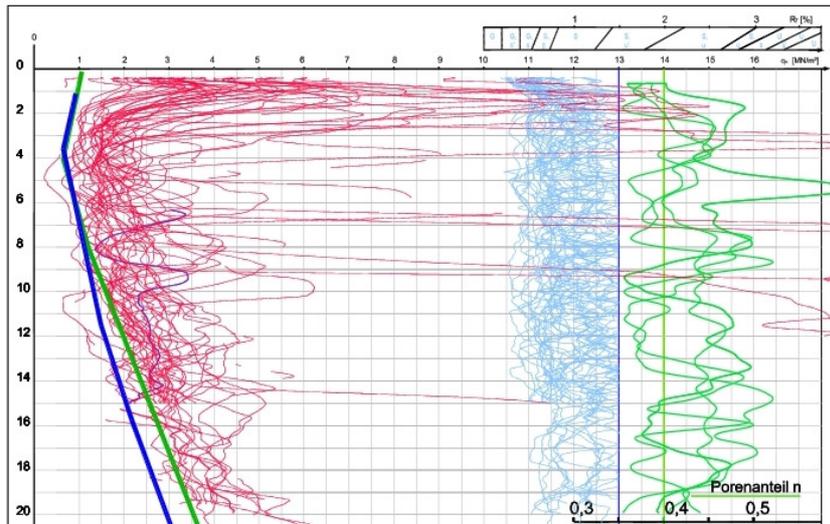


Abbildung 14: Drucksondierungen Tagebau Seese Ost

Feststellungen:

- Spitzenwiderstandsverlauf ähnelt eher den Spreetaler Verhältnissen mit Tendenz zur Schlabendorf-Kurve.
- Lokale große Abweichungen nach unten in mehr als einer einzelnen Sondierungen
- Reibungsverhältnis schwankt stark zwischen 0,5 und der berücksichtigten Untersuchungsgrenze von 1,5 (u.a. wg. Fremdmaterial in As-Kippe)

Tagebaufelder Meuro Süd: Tagebau Victoria III u.a.

- Technologie: Pflugkippen und Kabelbaggerkippe, von Spülkippen unterlagert
- Liegezeit: jüngstens seit ca. 1945 ... 1950
- Ca. 90 % $R_f < 1,5$

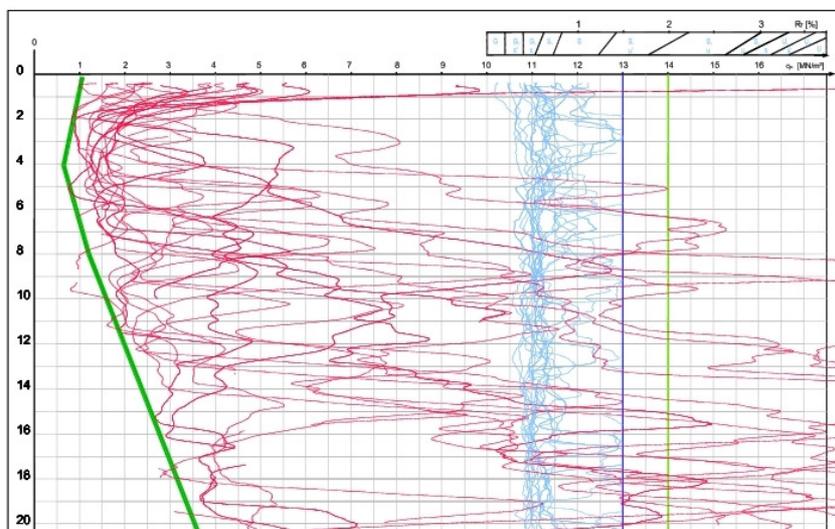


Abbildung 15: Drucksondierungen Tagebaufelder Meuro Süd

Drucksondierungen bei technologisch unterschiedlich hergestellten Kippen des Braunkohlentagebaues

Feststellungen:

- Häufig Oberflächen von Spülkippen anzutreffen
- Verlauf untere Grenze Spitzenwiderstand nahe an Spreetalkurve
- Geringe Streuung des Reibungsverhältnisses um $R_f = 0,5$.

Tagebau Kleinleipisch (Lauchhammer I):

- Technologie: AFB "Kleinleipisch" oder "Marie-Anne" seit 1931, (AFB F34), mit Pflugkippen überzogen
- Liegezeit: seit ca. 1947 ... 1960
- Kippenboden: überwiegend geringer bis mittlerer Feinkornanteil (5 ... 20 %), starke Inhomogenitäten
- Ca. 80 % $R_f < 1,5$

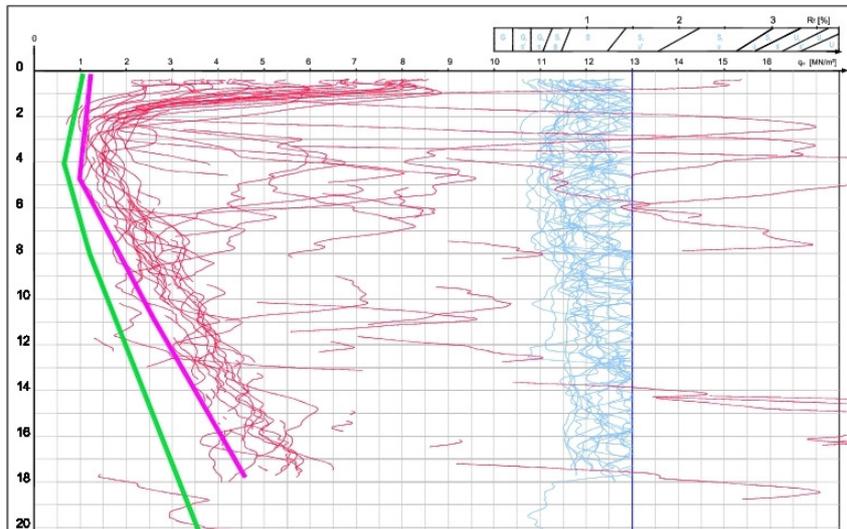


Abbildung 16: Drucksondierungen Tagebau Kleinleipisch

Feststellungen:

- Deutlich von den bisher dargestellten Spitzenwiderstandkurven abweichender Verlauf. Andere Neigung - um 1 bis 2 MPa höhere q_c -Werte (magenta Linie)
- Nur in Geländenähe (bis ca. 5 m Tiefe) Ähnlichkeit.
- Starke Streuung des Reibungsverhältnisses.

Tagebau Friedländer (Lauchhammer I):

Feststellungen:

- Ähnlicher Verlauf und Feststellung wie bei Tagebau Kleinleipisch (Lauchhammer I).

Drucksondierungen bei technologisch unterschiedlich hergestellten Kippen des Braunkohlentagebaues

Tagebau Ferdinand - Westfeld (Lauchhammer II):

Feststellungen:

- Geringer Stichprobenumfang, Erkenntnisse unsicher
- Vermutlich ähnlicher Verlauf wie Kleinleipisch und Friedländer (magenta Linie aus Kleinleipisch)

Tagebau Ferdinand - Ostfeld (Lauchhammer II):

- Technologie: Pflugkippen ohne genauere Kenntnisse
- Liegezeit: wahrscheinlich jüngstens seit ca. 1945
- Ca. 85 % $R_f < 1,5$

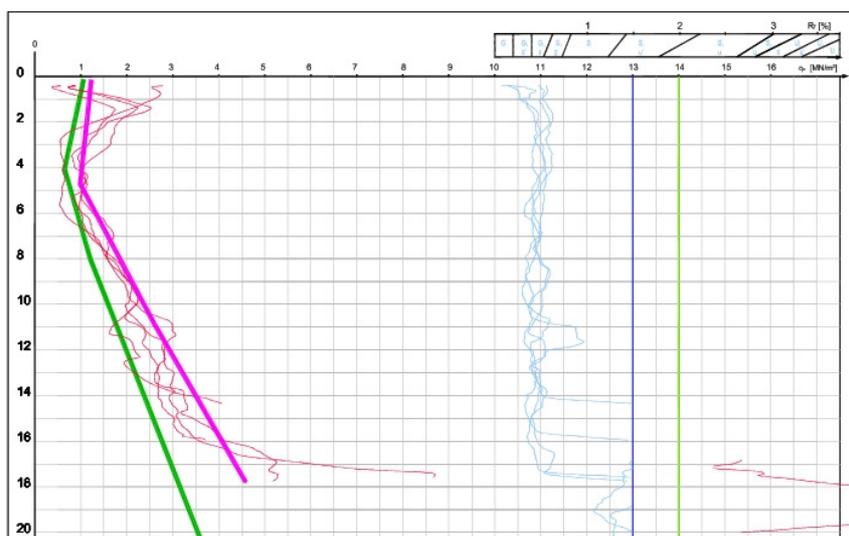


Abbildung 17: Drucksondierungen Ferdinand (Ostfeld)

Feststellungen:

- Relativ geringer Stichprobenumfang, wegen gleichartigem Verlauf der Kurven Feststellungen sicherer
- Verlauf liegt zwischen Kurven Kleinleipisch (magenta Linie) und Spreetal (grüne Linie). Bei größerer Stichprobenzahl: Vermutlich Annäherung der unteren Grenze an Spreetalkurve.
- Geringe Streuung des Reibungsverhältnisses um $R_f = 0,6$.

Tagebau Reichwalde

- Technologie: AFB F 60
- Liegezeit: jüngstens seit ca. 1982
- Ca. 85 % $R_f < 1,5$

Drucksondierungen bei technologisch unterschiedlich hergestellten Kippen des Braunkohlentagebaues

Digital auswertbare Drucksondierergebnisse lagen zum Zeitpunkt der Erarbeitung der Textfassung des Vortrags noch nicht vor.

1.5.5 Zusammenfassung der Feststellungen

Die Zusammenstellung der v.g. Feststellungen bezieht neben der Technologie auch die Lage der Tagebaue und beschreibende Kenngrößen der Kippenböden ein.

Den in den Abbildungen farblich gekennzeichneten, als typisch angesehenen Spitzenwiderstandskurven für Spreetal, Schlabendorf Süd und Kleinleipisch werden alle anderen untersuchten Innenkippen wie oben beschrieben zugeordnet.

Tabelle 1: Charakteristik der Drucksondierungen der untersuchten Innenkippenflächen

<i>Tagebau, Tagebauteilfeld</i>	<i>Lage</i>	<i>Technologie</i>	<i>Anteil Rf<1,5 in %</i>	<i>Typischer FKA in %</i>	<i>Charak- teristische qc-Kurve</i>
Spreetal	Südraum	AFB F 34, As	80	5 - 10	Spreetal
Brigitta	Südraum	As, Pflug	95	5 - 10	Spreetal
Lohsa (Werminghoff III)	Südraum	AFB F34	95	< 5 - 10	Spreetal
Schlabendorf Süd	Nordraum	AFB F34 z.T. Pflug	85	5	Schlab. S
Seese Ost	Nordraum	AFB F34, As	85	< 3	Spreetal nach Schlab. S
Meuro Süd	Südraum	Pflug, Kabelbagger	90	5 - 10	Spreetal
Kleinleipisch	Südraum	AFB (F 34), Pflug	80	5 - 20	Kleinleipisch
Friedländer	Südraum	AFB, Pflug	80	5 - 20	Kleinleipisch
Grube Ferdinand (Westfeld),	Südraum	wahrsch. überw. Hand, Pflug	85	5 - 20	Kleinleipisch
Grube Ferdinand (Ostfeld),	Südraum	wahrsch. überw. Pflug	85	5 - 20	Spreetal
Meuro Süd	Südraum	Pflug, Kabelbagger	90	5 - 10	Spreetal
<i>Reichwalde</i>	<i>Südraum</i>	<i>AFB F 60</i>	<i>85</i>	<i>5 - 10</i>	-

Drucksondierungen bei technologisch unterschiedlich hergestellten Kippen des Braunkohlentagebaues

2 Schlussfolgerungen und Zusammenfassung

Ein Zusammenhang zwischen Verkippungstechnologie (Trockenkippen) und dem die Lagerungsverhältnisse charakterisierenden Verlauf des Spitzenwiderstandes von Drucksondierungen ist nicht erkennbar.

Unabhängig davon, ob es sich um freiliegende planierte oder durch Pflug- bzw. Absetzerkippen überschüttete AFB-Kippen handelt, scheint eher der typische Feinkornanteil der Kippenböden den Verlauf des Spitzenwiderstandes zu beeinflussen.

Bei der Untersuchung zeigen sich 3 typische Spitzenwiderstandskurven, die annähernd territorial zuzuordnen sind (Schlabendorf Süd = Nordraum, Spreetal = Südraum und Kleinleipisch = Südraum mit Klettwitz und Lauchhammer).

Es wird als sehr wahrscheinlich angesehen, dass die dargestellte qc-Kurve für Schlabendorf Süd charakteristische Eigenschaften von Kippenböden des Nordraumes der Lausitz beschreibt, die nur in Ausnahmefällen in anderen Bereichen der Lausitz anzutreffen sind.

Es wird als sinnvoll angesehen - neben der weiteren, analoge Auswertung von Drucksondierungen für noch nicht betrachtete Tagebaufelder - im vorliegenden Fundus an Feld- und Laboruntersuchungen Zusammenhänge (z.B. Kornverteilungsparameter wie Ungleichförmigkeit, Krümmung) ausfindig zu machen.

Aufgrund der überwiegend sehr hohen Grundwasserflurabstände bzw. stark abweichender Kippenbodenzusammensetzung ist es dabei derzeit nicht zielführend, umfangreiche Vergleichsuntersuchungen an durch eine AFB F 45 (Klettwitz, Meuro) entstandenen Kippen durchzuführen.

3 Literatur

Ergebnisse der wissenschaftlich-technischen Auswertung von bisherigen Geländeeinbrüchen an Lausitzer Kippenflächen, Vortrag Herr Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfram Kudla im Rahmen des Geotechnischen Beirates der LMBV mbH am 02.05.2012

Taschenbuch Tagebaugroßgeräte, VEB Wärmeanlagenbau Berlin, 1985

LMBV-Veröffentlichungen "Wandlungen und Perspektiven" verschiedener Tagebaubereiche, www.lmbv.de

Ergebnisse von Drucksondierungen, ausgeführt 2009 bis 2012