

# Qualitative Unterbodenverbesserung aus Sicht des vorsorgenden Bodenschutzes

## Bodenphysikalische sowie bodenchemische Untersuchung zur Prüfung der Umweltrisiken einer Unterbodenstabilisation bei der Errichtung von Windkraftanlagen

Dr. Michael Link & Oliver Wegener

### 1. Einleitung

Das Verfahren zur „qualifizierten Bodenverbesserung“ (qBV) wird im Straßen- und Wegebau seit den 1950er Jahren eingesetzt (u. a. VOSTEEN 1995, WITT 2002) und findet, alternativ zum herkömmlichen Verfahren (Bodenabtrag, anschließende Verfüllung mit Schotter), seit jüngerer Zeit auch im Bereich der Errichtung von Windenergieanlagen (WEA) zur Unterbodenstabilisation Anwendung. Zur Verfestigung des Unterbodens wird meist ein Gemisch (50 % Kalk und 50 % Zusatzstoff) auf die Bodenschicht unter dem abgezogenen Oberbodenhorizont aufgebracht und eingefräst. Beim anschließenden Prozess der Puzzolierung (ca. 1 Monat) verändern sich u.a. die bodenphysikalischen (Lagerungsdichte, Scherfestigkeit etc.) sowie die chemischen Eigenschaften des Unterbodens (u.a. pH-Wert-Erhöhung, Anstieg der Leitfähigkeit des Sickerwassers).

Untersuchungen des HYGIENE-INSTITUT DES RUHRGEBIETS (2014) zum Einsatz des Zusatzstoffs „Dorosol C 50“ zeigen, dass der Baustoff die Prüfwerte zur Beurteilung des Wirkungspfad des Boden nach Grundwasser nach BBODSCHV (2012) sowie nach DIBT (2011) unterschreitet. Allerdings wird empfohlen, „vor dem Einsatz des Baustoffes in sensiblen Bereichen wie Trinkwassergewinnungsgebieten“ weitergehende Untersuchungen anzustellen. Da auf dem Areal des von der Firma Altus AG projektierten Windparks Bad Camberg zwei WEA-Standorte in einer Trinkwasserschutzzone III/IIIA liegen, war eine zusätzliche Untersuchung des Einsatzes von Zusatzstoffen angezeigt.

### 2. Versuchsaufbau

Um die herkömmliche Verfahrensweise des Baus einer Kranstellfläche (Einbau eines Schotterpaketes, Abb. 1) mit einer Puzzolierungsschicht (Abb. 2) zu vergleichen, wurde zunächst eine weitestgehend homogene Bodenfläche ausgewählt. Die beiden Grundvarianten des Versuchsaufbaus wurden nochmals in einen befahrenen und in einen nicht befahrenen Bereich unterteilt. Der nicht befahrene Bereich wurde störungsfrei am Rande der Kranstellfläche angelegt. Zudem wurde ein Kontrollprofil (Abb. 3) im Bereich autochthoner Böden direkt im Anschluss an die Kranstellfläche gegraben. Die Menge des eingearbeiteten Bindemittels im Bereich der puzzolierten Schicht entspricht im vorliegenden Fall des Windparks Bad Camberg ca. 5 % des Bodenvolumens (ca. 85 kg/m<sup>3</sup>).



Abb. 1: Bodenprofil (Versuchsfläche Sb) mit ca. 35 cm mächtiger Schotterauflage ohne Unterbodenstabilisierung.



Abb. 2: Profilwand im Bereich der mittels Puzzolierung im Unterboden stabilisierten Versuchsfläche Pb. Die Fläche wurde während der Bauarbeiten befahren.



Abb. 3: Profilwand mit autochthonen Bodenhorizonten außerhalb der Kranstellfläche (KraB).

### 3. Bodenchemische sowie bodenphysikalische Untersuchungen

Um die Ergebnisse des Laborversuchs von 2014 unter Feldbedingungen zu validieren sowie mögliche Einflüsse der Puzzolierung auf die Grundwasserqualität zu erfassen, wurde auf den Puzzolierungsvarianten mittels einer zuvor installierten Drainage im Januar und Februar 2016 Sickerwasser entnommen und untersucht. Für weitere Untersuchungen wurden zudem Saugkerzen auf der puzzolierten Fläche sowie auf einer unbehandelten Kontrollfläche eingebaut und im August und Oktober 2017 zwei weitere Probenahmen durchgeführt. Folgende relevanten Parameter wurden 2017 untersucht: pH-Wert, Leitfähigkeit, Chlorid, Natrium, Sulfat, Ammonium-N, Fluorid, Aluminium, Blei und Bor.

Für bodenphysikalische Untersuchungen wurden ein komplettes Stück der puzzolierten Schicht sowie jeweils unterhalb der Puzzolierungsschicht und des Schotterpakets Stechzylinderproben entnommen und Penetrometermessungen durchgeführt. Im Labor wurden Rohdichte, Gesamtporenvolumen, Dichte der Festsubstanz, Anteile am Boden < 2 mm sowie Bodenbestandteile > 2 mm bestimmt.

### 4. Ergebnisse

Die im Sickerwasser gemessenen Frachten sind bis auf einen Wert als unbedenklich einzustufen. Nur ein im Januar 2016 im Drainagewasser unter der puzzolierten Fläche ermittelter Fluorid-Messwert von 1,20 mg/l Sickerwasser liegt geringfügig über den Grenzwerten (BBODSCHV 2012, Anhang 2 sowie LAWA 2017). Bereits zum folgenden Entnahmeterrain lag der Wert mit 0,82 mg/l unter der Geringfügigkeitsschwelle von 0,90 mg/l nach LAWA (2017).

Mittels Penetrometermessung wurde für den Unterbodenhorizont der Kontrollfläche (autochthone Boden) ein durchschnittlicher Eindringwiderstand von 1,00 kg/cm<sup>2</sup> festgestellt (Abb. 4). Bei den Schottervarianten war eine deutliche Verdichtung des Unterbodens festzustellen (2,20 kg/cm<sup>2</sup> nicht befahrene Variante, 2,73 kg/cm<sup>2</sup> befahrene Variante). Die Eindringwiderstände der beiden puzzolierten Varianten liegen deutlich unter denen der Schottervarianten (0,95 kg/cm<sup>2</sup> nicht befahrene Variante, 1,60 kg/cm<sup>2</sup> befahrenen Variante).

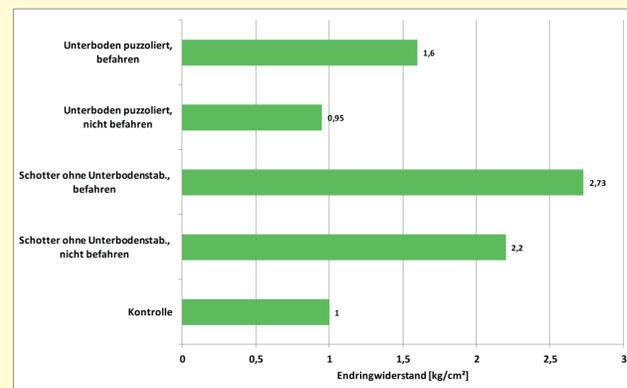


Abb. 4: Ergebnisse der Eindringwiderstandsmessung der fünf bodenphysikalischen Prüfvarianten.

Im Bereich der Probefläche mit Unterbodenstabilisation ohne Befahrung (Pnb), wurde mit einem Eindringwiderstand von im Mittel 0,95 kg/cm<sup>2</sup> in etwa der gleiche Wert wie für die Kontrollfläche KaB gemessen. Wie bereits für die geschotterte Kontrollfläche festgestellt, liegt der Wert der befahrenen Variante Pb mit durchschnittlich 1,60 kg/cm<sup>2</sup> über dem Wert der unbefahrenen Puzzolierungsfläche. Die Eindringwiderstände der beiden puzzolierten Kontrollvarianten liegen deutlich unter denen der Schottervarianten.

Zum einen kann aus den hier vorliegenden Daten geschlossen werden, dass die Unterbodenstabilisation mittels Puzzolierung nur eine geringe Auswirkung auf die Gefüge- sowie Aggregatstabilität bzw. die Lagerungsdichte des Bodens unterhalb der Puzzolierungsschicht hat. Weiterhin ist festzustellen, dass sich die Befahrung der Flächen - wie im vorliegenden Falle mit schwerem Gerät - sowohl bei der Schottervariante als auch bei der Probefläche mit Unterbodenstabilisierung, negativ auf die Lagerungsdichte des Unterbodens auswirkt.

Zurückzuführen ist dies u. a. darauf, dass die puzzolierte Schicht die Auflast wie eine Platte auf eine größere Fläche verteilt, wodurch die so genannte Druckwiebel nicht so weit in den Untergrund reicht. Bei der Schotterfläche wird der Schotter zwar eingeriegelt, jedoch ist dieser insgesamt noch relativ flexibel, wodurch der Druck tiefer in den Boden abgeleitet wird (siehe Abb. 5).

Das Ergebnis der bodenphysikalischen Laboruntersuchungen fiel indifferent aus und konnte im Gegensatz zur feldbodenkundlichen Messung nicht eindeutig interpretiert werden.

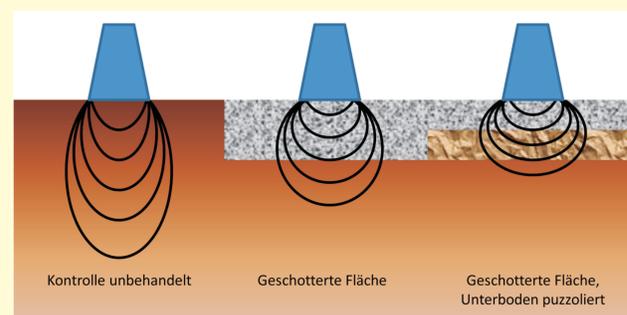


Abb. 5: Schematische Darstellung der Druckverteilung (Druckwiebeln) bei verschiedenen Varianten (gleiche Auflast) im Vergleich zur Kontrolle.

### 5. Bewertung der Umweltverträglichkeit

Nach vorliegender Untersuchung hat die Substitution eines bis zu 80 cm mächtigen Schotterpakets durch die Puzzolierung des Unterbodens keine Auswirkungen auf die Grundwasserqualität. Aus bodenphysikalischer Sicht ist die festgestellte Verringerung der Verdichtungsgefährdung unterhalb der Puzzolierungsschicht als positiv zu bewerten.

### 6. Literatur

BBODSCHV Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 (BGBl. I S. 1554) zuletzt geändert am 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212).  
DIBT Deutsches Institut für Bautechnik (Hrsg.) (2011): Grundsätze zur Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser. Berlin.  
HYGIENE-INSTITUT DES RUHRGEBIETS (2014): Baustoffe „Dorosol C 30“, „Dorosol C 50“ und „Dorosol C 70“. Zusammenfassende wasserhygienische Beurteilung gemäß der relevanten Vorgaben der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung / des DIBT-Merkblattes für die Bewertung und Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser. Gelsenkirchen.  
LAWA Bund- / Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (Hrsg.) (2017): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser. Aktualisierte und überarbeitete Fassung 2016, Stuttgart.  
VOSTEEN, B. (1995): Bodenverfestigungen und Bodenverbesserungen mit Kalken. Ausführungsbeispiele und Langzeitbeobachtungen. Erd- und Grundbau 4.  
WITT, K. J. (2002): Zement Kalk Stabilisierung von Böden. Schriftenreihe Geotechnik 5, Weimar.

### Autoren

Dr. Michael Link

Büro für multifunktionale Umweltplanung und Beratung (UP&B), Höhenstr. 10, 35428 Langgöns, E-Mail: info@upb-service.de

Dipl.-Ing. agr. Oliver Wegener

AGROFOR Consulting & Products, Wiesenstr. 36, 35435 Wettenberg, E-Mail: agrofor@t-online.de