

Bodenwasserhaushalt einer Rekultivierungsschicht unter dem Einfluss einer Fotovoltaikanlage

(Teilbeitrag im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsprojektes
„Ableitung, Erstellung und experimentelle Prüfung von Richtlinien
für die Errichtung von Fotovoltaikanlagen auf Deponien und Bergbauhalden“)
Von Dipl.-Ing. Uwe Bartholomäus

Zusammenfassung zum Vortrag auf dem Statusseminar am 07.06.2013

Untersuchungsgebiet und Messkonzept

Das Untersuchungsgebiet stellt die Deponie Bautzen/Nadelwitz dar, die sich durch einen Kamm mit Nord-Süd-Verlauf in einen Ost- und einen Westhang gliedert.

Im Projekt liegen Klimadaten seit 15.06.2011 und Daten zum Bodenwasserhaushalt seit 29.09.2011 fortlaufend vor. Ausgewählte Messergebnisse sind im Internet unter www.upgmbh-logstar.de oder www.cwh-ing.de für die Stationen „Bautzen“ und „Nadelwitz“ frei zugänglich.

Das angewendete Messkonzept besteht in Folgendem:

- Klimamessstation mit WXT520-Senor als Kombinationsmessinstrument zur Messung von Niederschlag (Regen, Hagel mit Menge und Dauer), Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftdruck. Sensor in 2 m Höhe am Mast.
- Am Mast befindet sich außerdem ein Globalstrahlungsmesser 8101-Sternpyranometer.
- Am Boden in Nähe des Mastes befindet sich zusätzlich für die Niederschlagsmessung ein Kippzähler (Niederschlagswippe) als zweite eigenständige Messung dieser Größe.
- Die Bodenfeuchte wird mit zwei Verfahren erfasst: PR2-Profilsonden am Gestänge in einem Hüllrohr mit Messebenen von 10 cm, 20 cm, 40 cm, 60 cm und 100 cm Bodentiefe; ML2x-Theta-Sonden als Einzelsonden im Boden auf 20 cm, 40 cm und 100 cm Tiefe eingegraben. Diese Messanordnung als Paket ist einheitlich auf 6 Bodenmesspunkten installiert. Diese Messpunkte wurden planmäßig in verschiedener Lage bezüglich Richtung (Osthang, Westhang) und Lage (unter Solarmodulen, auf Freiflächen) angeordnet.
- Die Messung der Bodenfeuchte wird ergänzt durch eine nicht ständige manuelle Messung an 27 Stellen, wo Hüllrohre 2011 in den Boden unter den Solarmodulen eingebracht worden waren. Hierfür werden mobile PR2-Sonden mit den gleichen Messebenen, wie oben genannt, verwendet.

- Mit der Saugspannung wird eine weitere bodenphysikalischen Größe mittels pF-Metern an den 6 Messpunkten in 20 cm, 40 cm und 60 cm Tiefe gemessen. Zusätzlich fällt im gleichen Umfang die Bodentemperatur an.

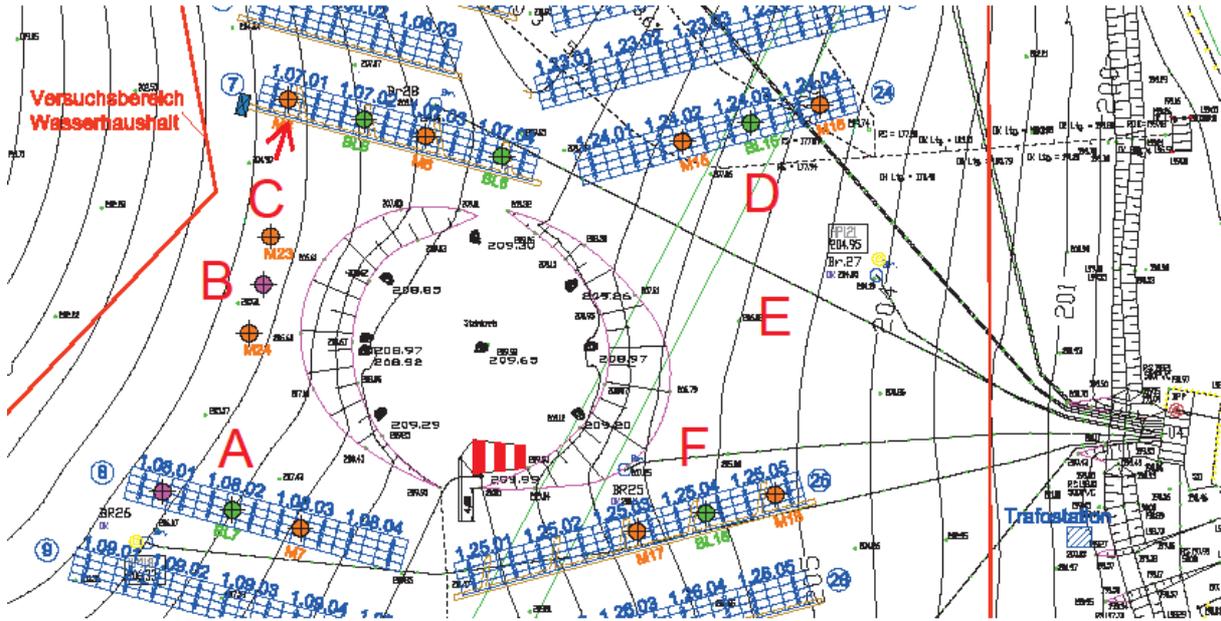


Abb. 1: Anordnung der Messbereiche A bis F und der Klimastation auf dem Top der Deponie Bautzen-Nadelwitz



Abb. 2a: Mast und Messgeräte der Klimastation. Gesamtansicht.



Abb. 2b: Bodenmessstelle unter Solarmodulen mit PR2-Sonde als Gestänge, ML2x-Sonden (eingegraben) und pF-Metern (eingegraben).

Ausgangsthese

Mit dem Projekt- und Förderantrag wurde eine wissenschaftliche These aufgestellt, die sich auf die Beurteilung der Verträglichkeit von Fotovoltaik-Anlagen auf Deponien auswirkt. Diese These lautet: „Wird die Rekultivierungsschicht zusätzlich durch Fotovoltaikelemente gestört, ist eine Änderung des bodenwasserhaushaltlichen Regimes die Folge. Neben temporär stark mit Wasser beaufschlagten Arealen (Abschlagsbereich des Niederschlagswassers vom Solarmodul auf den Rekultivierungsboden) werden sich Regionen herauskristallisieren, die im Extremfall sogar trocken fallen können. Die daraus resultierenden lokal unterschiedlichen Situationen innerhalb der Rekultivierungsschicht können im Extremfall zu Erosionserscheinungen (Starkregeneinfluss) bzw. zu Vegetationsstörungen (Austrocknung) führen.“

Abriss der Witterungsbedingungen 2012

Mit den Wetterdaten der Klimastation 2012 sollen die Bedingungen (Versuchsbedingungen des „Großlabors“), unter denen die Aussagen gelten, gekennzeichnet werden.

Lufttemperatur:

Jahresdurchschnitt 9,8°C; tiefste Temperatur -20,6°C; höchste Temperatur: 36,1°C. Verlauf in Abbildung 3.

- Frostperiode vom 13.01. bis 25.01. mit Frost im Boden; Frost am 27./28.10. und 01.12. bis 14.12.
- Kaum deutliche Hitzeperioden. Nur am 26.07., 28.07., 02.08., 19.08. und 20.08. maximale Tagestemperaturen über 30°C.
- An 39 Tagen über 20°C Mitteltemperatur, davon an 3 Tagen über 25°C Mitteltemperatur.
- Auffallend sind sehr schnelle Temperaturwechsel über kurze Zeit. Nahezu konstante oder stetig verlaufende Temperaturen über längere Perioden haben sich nicht eingestellt.

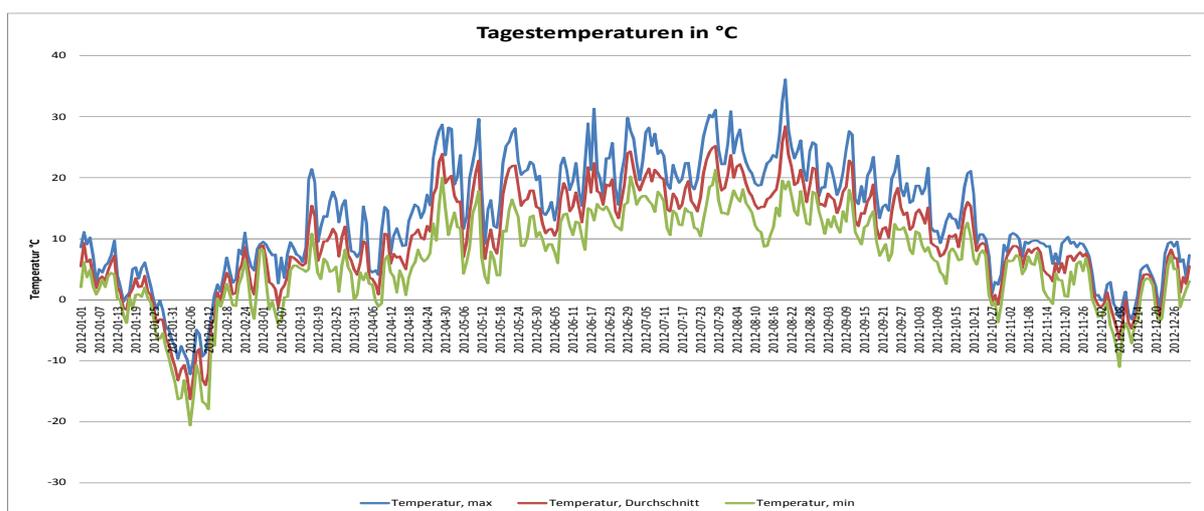


Abb. 3: Verlauf der Tagestemperaturen (Minimum, Tagesmittelwert, Maximum) vom 01.01.2012 bis 31.12.2012 auf der Deponie Bautzen-Nadelwitz

Niederschlag:

- 652 mm kumulativ im Jahr (meteorologisch korrigierter Wert). Verlauf in Abb. 4.
- Niederschlagsperiode vom 01.07. bis 07.07., die auch Hochwasser verursachte. Weitere Niederschlagsperiode vom 19.08. bis 24.08.
- Trockene Frühjahrsperiode vom 22.01. bis 10.04.
- Trockene Herbstperiode vom 01.09. bis 27.10.
- Keine extreme Trockenheit im Jahresverlauf. Jedoch sind gerade diese Perioden in der Wirkung auf die Rekultivierungsschicht untersuchenswert.

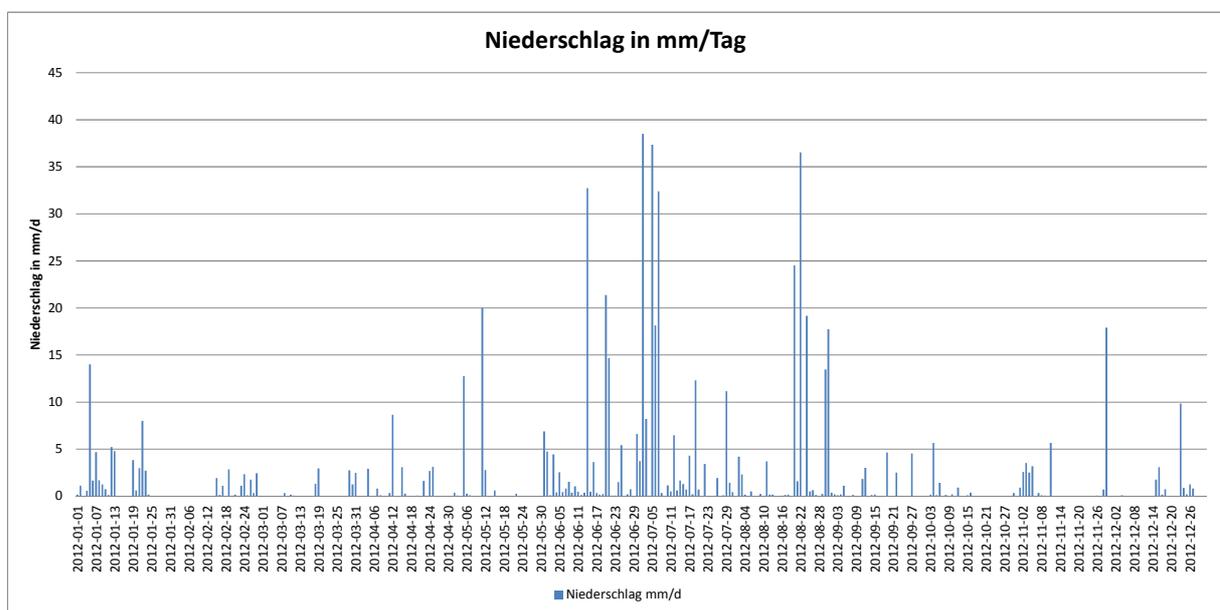


Abb. 4: Verlauf der Niederschläge vom 01.01.2012 bis 31.12.2012 auf der Deponie Bautzen-Nadelwitz

Die kurzen Angaben verdeutlichen, dass besondere Extremperioden (Hitze, Kälte, Trockenheit, langandauernder Starkregen) nicht aufgetreten sind.

Messergebnisse

Auswertung für die Freiflächen zwischen den Modulen:

- Von Beginn an war klar, dass die Bodenfeuchte im Jahresverlauf erheblichen Änderungen unterliegt. Das Auftreten sehr starker Sprünge im zeitlichen Verlauf, nicht nur im oberflächennahen Bereich, war nicht so deutlich erwartet worden. Diese natürlich vorhandenen Sprünge sind mit laborativen Methoden nicht zu dokumentieren.
- Im Falle des Messpunktes E pausen sich Sprünge zwar vermindert und verzögert bis in den Unterboden bei 1,00 m Tiefe durch.

- Die verwendeten Theta-Sonden liefern auch in Frostperioden (13.01. bis 25.01) Messwerte, die nicht als falsch anzusehen sind. Flüssiges und damit pflanzenverfügbares Wasser geht auf unter 10% Bodenfeuchte zurück. Hier besteht folglich eine andere Ursache als bei den späteren Senken unter 10%, die fehlende Niederschläge als Ursache haben.
- Bessere Aussagen über die Pflanzenverfügbarkeit von Wasser sind über die Saugspannung zu ermitteln (Abb. 5). Im Jahresverlauf 2012 wurde am Punkt E nie eine Situation erreicht, dass der Permanente Welkepunkt überschritten wurde. Den meisten Pflanzen stand auch auf der Freifläche Bodenwasser mindestens ab 20 cm Tiefe zur Verfügung.
- Im Gegenteil war die Saugspannung mehrmals so gering, dass ein Bodenwasserüberschuss bestand, der gravitativ nach unten oder zur Seite versickert ist. Im Januar und Dezember sowie kurzzeitig Anfang März, Mitte April, Ende Juni / Anfang Juli und Anfang September versickerte Wasser in tiefere Schichten und floss den Drainageelementen zu.
- Die Messwerte deuten in diesem Moment auf eine leichtere laterale Wasserabgabe an Flächen unter den Modulen hin.

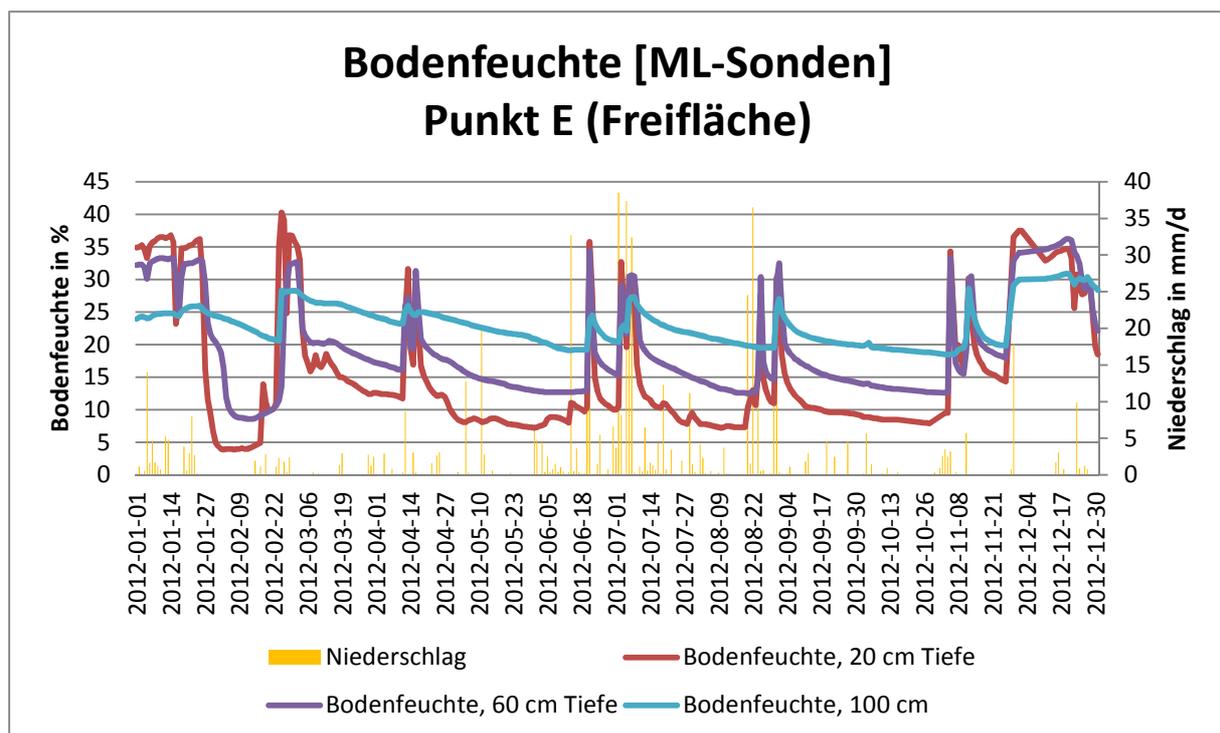


Abb. 5: Verlauf der Bodenfeuchte auf Freiflächen vom 01.01.2012 bis 31.12.2012 auf der Deponie Bautzen-Nadelwitz, gemessen mit ML-Theta-Sonden

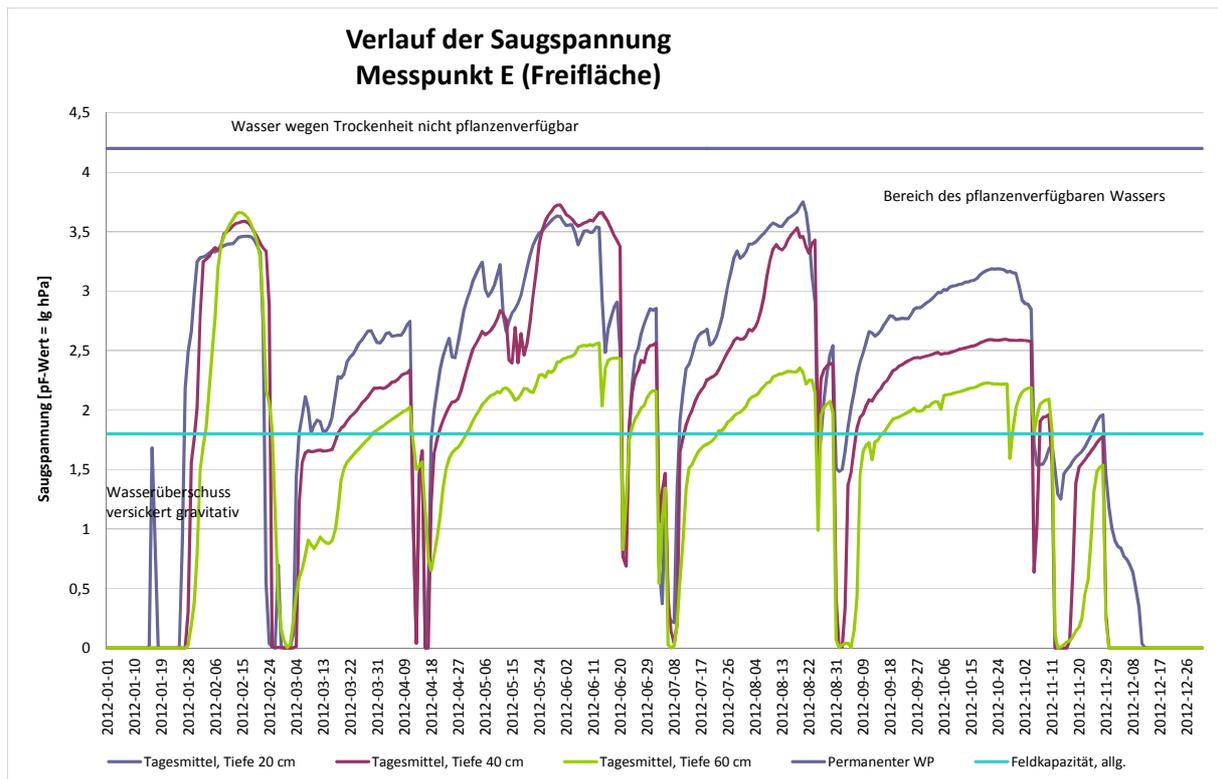


Abb. 6: Verlauf der Saugspannung auf Freiflächen vom 01.01.2012 bis 31.12.2012 auf der Deponie Bautzen-Nadelwitz, gemessen mit pF-Meter

Auswertung für Flächen unter den Modulen:

- Auf diese Fläche trifft kein unmittelbarer Niederschlag auf. Die erwartete Trockenheit hat sich nicht deutlich eingestellt.
- Die Bodenfeuchte in 1,00 m Tiefe liegt um 5% bis 10% höher als im Freiland mit tendenziell fast gleichem Verlauf. Die Oszillation der Kurve ist größer: Hier um 15%, im Freiland um 10%. Am Messpunkt F pausen sich Sprünge im Verlauf der Bodenfeuchte bis 1,00 m unter Oberfläche durch.
- Ähnliche Tendenzen zeigt die Bodenfeuchte in 60 cm Tiefe, jedoch mit einem etwa 10% geringerem Feuchtigkeitsniveau.
- Oberflächennah bei 20 cm Tiefe erscheint eine erheblich größere Oszillation mit 25% Differenz. Entsprechend besteht eine Schwankung von 7% bis 40% der Bodenfeuchte. Eine deutlich höhere Bodenfeuchte unter den Modulen gegenüber dem Freiland ist in dieser Schicht nicht feststellbar.
- Die Frostperioden (13.01. bis 25.01) wird in Messwerten der Bodenfeuchte und der Saugspannung sichtbar. Flüssiges und damit pflanzenverfügbares Wasser geht auf 5% Bodenfeuchte bei 20 cm Tiefe zurück. Die Saugspannung steigt fast bis an den Permanenten Welkepunkt, weil in den oberen Schichten der Boden gefroren ist. An gleicher Stelle ist die Reaktion in 1,00 m Tiefe minimal. Die Bodenfeuchte verharrt oberhalb von 35%. Während der Auftauprozesse in den oberen Bodenschichten steigt die Bodenfeuchte sprunghaft an, wetterbedingt durch Tagesmitteltemperaturen über 5°C und Regen verursacht.

- Im Jahresverlauf der Saugspannung wurde 2012 am Punkt F unter den Modulen nie eine Situation erreicht, dass der Permanente Welkepunkt überschritten wurde.
- Mehrmals war die Saugspannung so gering, dass auch hier Bodenwasserüberschuss bestand, der gravitativ nach unten versickert ist. Die Zeiträume liegen ähnlich wie im Freilandbereich. Der Zeitraum Mitte April, der im Freiland sichtbar wird, zeichnet sich nicht ab.
- Schnelle Änderungen der Bodenfeuchte und der Saugspannung bei größeren Niederschlägen werden auch unter Modulen deutlich, obwohl der Regen nicht im unmittelbaren Messareal niedergeht. Es wird laterale Bodenwassermigration infolge der Hangneigungen und der Verfügbarkeit von freiem Wasser, weil auf der Freifläche der pF-Wert der Saugspannung gegen Null geht, deutlich.

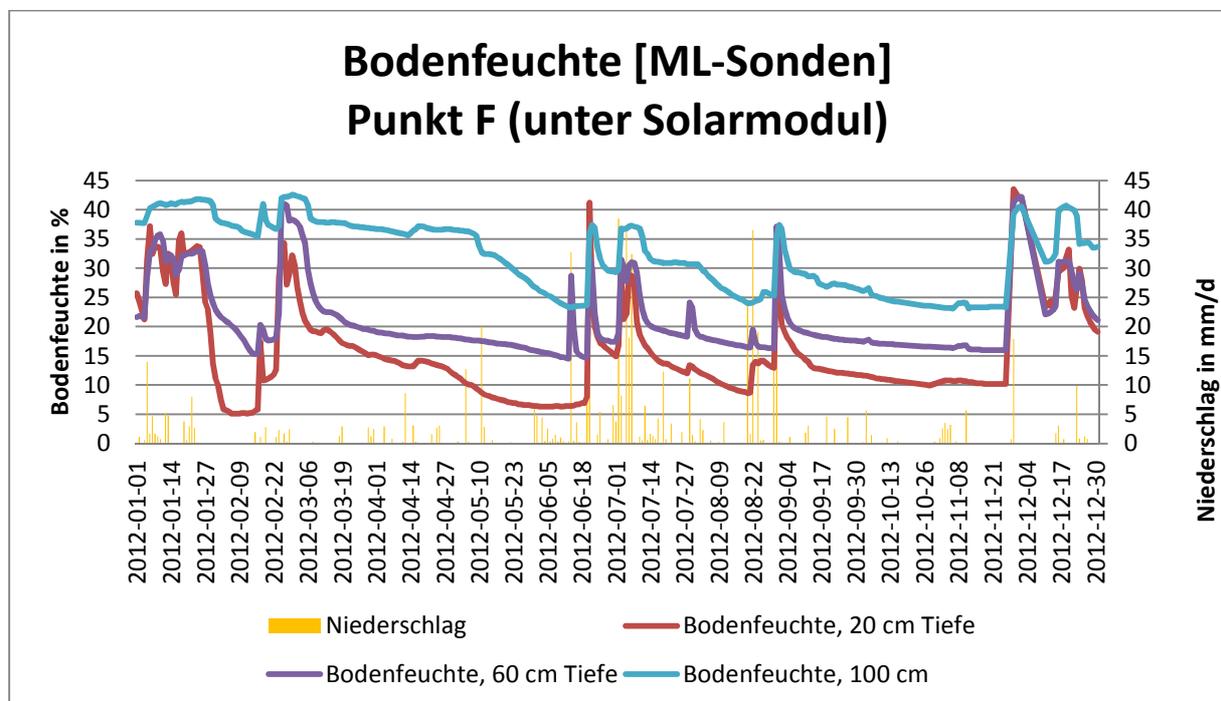


Abb. 7: Verlauf der Bodenfeuchte unter Solarmodulen vom 01.01.2012 bis 31.12.2012 auf der Deponie Bautzen-Nadelwitz, gemessen mit ML-Theta-Sonden

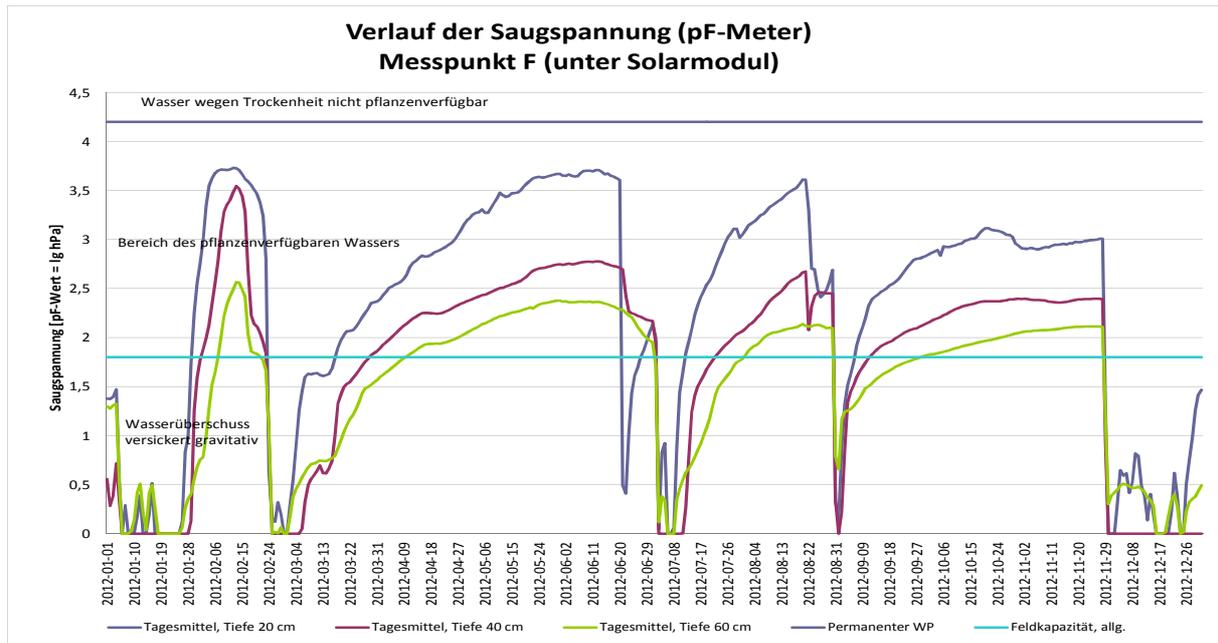


Abb. 8: Verlauf der Saugspannung unter Solarmodulen vom 01.01.2012 bis 31.12.2012 auf der Deponie Bautzen-Nadelwitz, gemessen mit pF-Meter

Zum Boden der Rekultivierungsschicht:

Es wird der Boden der Rekultivierungsschicht im jetzigen Zustand beurteilt, unabhängig von Planvorgaben und Kennwertbestimmungen der Bauphase. Die Auftragung erfolgte abschnittsweise bis 2008. In der zweiten Jahreshälfte 2010 wurde der Boden mit dem Bau der Fotovoltaikanlagen beansprucht und stellenweise umgearbeitet.

Die Zusammensetzung des Feinbodens mit rund 16 Masse-% Ton, 33 Masse-% Schluff und 51 Masse-% Sand sowie die Körnungssummenkurve für den Feinboden (Partikelgröße 2 mm und kleiner) verweisen auf einen stark lehmigen Sand „SI 4“ im Feinbodendiagramm der bodenkundlichen Kartieranleitung. Der Boden entspricht der gut geeigneten Kategorie „A“ im Bodendreieck gemäß BQS 7-1.

Die Körnungslinie weist auf weit gestuftes Gesamtgefüge hin. Der „Praxistest“ beweist Widerstand gegen Erosion. Der guten Standsicherheit steht die vermutlich schlechtere Beurteilung für die Vegetation gegenüber.

Zusammenfassung:

Die eingesetzte Messtechnik liefert erstmalig kontinuierliche Kurven über einen Jahresverlauf. Zu dem liegen hier Messergebnisse in einem flächenmäßigen und räumlichen Umfang vor, wie sie selbst bei einem Modellaufbau im Labor mit langen zeitlichen Messreihen nicht zu erreichen sind.

Unter den Bedingungen der flächenmäßigen Modulanordnung, wie diese auf der Deponie Nadelwitz besteht, und den Wetterverhältnissen von 2012 haben sich keine deutlichen Unterschiede zwischen Freilandflächen und von Modulen überdachten Flächen unter den Fotovoltaik-Anlagen eingestellt. Die Messergebnisse deuten an, dass auf beiden Arealen

tendenziell mehrmals eine Versickerung in tiefere Bodenschichten erfolgt sein wird, folglich die Drainageelemente beansprucht worden sein könnten. Die Rekultivierungsschicht erwies sich bisher als stabil gegenüber Erosion.

Diese tendenzielle „Trockenheitsthese“ haben die Messungen über das gesamte Jahr 2012 nicht bestätigt. Vorerst ist diese Aussage auf den Standort Deponie Nadelwitz mit den gegebenen Böden, den 2012 existierenden Witterungsverhältnissen und der Flächenanordnung der Module zu beschränken.