

Lysimetermessungen und pflanzenbauliches Monitoring zum Nachweis der bodenverbessernden Wirkung von Klärschlammkompost am Beispiel der Braunkohlekippe Witznitz II

Ulrike Haferkorn^{1*}, Anke Winkler¹ und Sabine Bernsdorf²

Abstract

Water quality in lignite mining regions is often characterised by high concentrations of iron and sulphate as well as low pH-values due to the weathering of pyrite and marcasite containing minerals. One example is represented by the lignite dump Witznitz, which is 15 km south of Leipzig. During mining the river Pleiße was displaced and now crosses the dump. Due to the rising groundwater table dump groundwater has started to exfiltrate into the river. In order to minimize the ecological effect of the lakes and drivers, the exfiltration of the dump (currently used for agricultural) shall be reduced through applicable measures of soil improvements and cultivation. The aim is to increase the level of evaporation in order to minimize the amount of percolation water within the ground water. After the first two years a positive effect of the measures with different intensity was observed on the installed experimental lots and lysimeters, which now needs to be confirmed by further analysis in the following years.

Fließ- und Standgewässer eingetragen. Das Wasser der Pleiße erfährt so eine intensive Trübung und hat ein gelbbraunes bis ockerfarbenes Aussehen. Das Eisen führt im Fließgewässer zu einer Verockerung des Gewässerbodens und hat negative Auswirkungen auf das gesamte Gewässerökosystem.

Die Oberfläche der Kippe Witznitz wurde im Verlauf ihrer Entstehung soweit rekultiviert, dass die Flächen einer landwirtschaftlichen Nutzung zugeführt werden konnten. Der chemische Zustand des darunter liegenden Kippenkörpers ist nach wie vor durch die Folgen der Pyritoxidation geprägt und es existieren derzeit keine technischen Maßnahmen zur Senkung der hohen Eisen- und Sulfatkonzentrationen im Grundwasser. Da eine Trendumkehr erst nach 2100 erwartet wird (BÜTTCHER et al. 2010), sollen im Rahmen weniger strenger Umweltziele (GFI 2008) sogar zeitweise steigende Schadstofftrends zugelassen werden.

So ist der Kippenkomplex Witznitz II einer der insgesamt 12 deutschen Grundwasserkörper, die die Umweltziele nach EU-WRRL bergbaubedingt nicht erreichen und in die Ka-

Einleitung

Seit Beginn der Bergbautätigkeit im Mitteldeutschen Braunkohlenrevier vor mehr als 100 Jahren, entstand bisher allein südlich von Leipzig eine Bergbaubetriebsfläche von 247 km². Nach Einstellung der Tagebautätigkeit und nach Flutung bzw. natürlicher Wiederbefüllung der Restlöcher, wird der Südraum Leipzig über eine zusätzliche Wasserfläche von rd. 53 km² verfügen (LMBV 1999).

Der Kippenkomplex des ehemaligen Tagebaus Witznitz II mit drei nahezu gefüllten Restlöchern entstand in der Zeit von 1945 bis 1993, so wie andere Tagebauen auch, in der Abfolge von Grundwasserabsenkung, Abraumgewinnung, Kohleabbau, Abraumverkipfung, bergtechnischer Sicherungs-, Sanierungsarbeiten und Rekultivierungsmaßnahmen. Zwischenzeitlich ist der Grundwasserwiederanstieg im Kippenkörper soweit vorangeschritten, das die Pleiße, die den Kippenkörper nach ihrer Verlegung in den Jahren 1958-61 abschnittsweise durchfließt, aber im wesentlichen tangiert (Abbildung 1), wieder als Vorfluter wirkt und das aus der Kippe austretende Grundwasser aufnimmt.

Auf Grund der im Kippenkörper ablaufenden Pyritverwitterung werden mit dem exfiltrierenden Grundwasser neben Sulfat u. a. erhebliche Eisenmengen in die angrenzenden

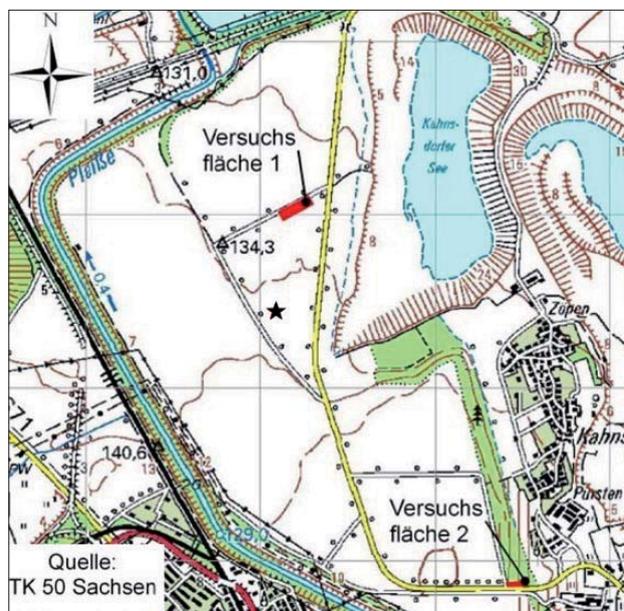


Abbildung 1: Skizze Ausschnitt Kippenkomplex Witznitz mit Lage der Lysimeterstation (Stern) und der Versuchsflächen (nicht maßstäblich)

¹ Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft, Kleinsteinberger Straße 13, D-04821 BRANDIS

² Martin-Luther Universität Halle-Wittenberg, Julius-Kühn-Straße 22, D-06112 HALLE/S.

* Ansprechpartner: Dr. Ulrike Haferkorn, ulrike.haferkorn@smul.sachsen.de

Tabelle 1: Horizont, Bodenart, Humusgehalt ($C_{org}/1,72$) und Korngrößenverteilung (Gesamtboden) auf Basis von Beutelpuben aus 6 Entnahmetiefen

Entnahmetiefen [cm]	Bodenart nach KA 4	Horizont	Humusgehalt [%]	Ton	Schluff	Sand	Kies	CaCO ₃ [%]
-10	SI4	Ap	0,80	12,9	30,8	43,2	13,1	0,47
-90	Ls2	ijlCv	0,44	16,9	40,0	34,8	8,3	-
-120	SI2	III ijICv	0,54	4,7	7,2	47,2	40,9	-
-140	Ss	IV ijICv	0,31	2,5	4,2	84,8	8,5	-
-230	Ss	I ijICv	0,28	3,0	6,3	57,3	33,4	-
-280	SI3	ijICv	0,36	5,8	15,4	42,6	36,2	-

Tabelle 2: Porenvolumen (PV), Trockenrohdichte (p_d), Wassergehalte bei pF 0, Feldkapazität sowie Totwassergehalte auf Basis der Stechzylinderproben aus 8 Entnahmetiefen

Entnahmetiefe GOK [cm]	p_d [g/cm ³]	Vol - % Wasser bei pF			
		0	1,8	2,5	4,2
-10	1,40	38,70	26,82	20,18	11,88
-20	1,36	36,85	25,71	19,07	11,13
-40	1,54	40,78	28,26	22,44	12,52
-80	1,49	43,08	29,20	25,12	13,88
-90	1,58	30,34	24,38	20,82	5,96
-120	1,45	29,76	20,34	17,12	9,42
-230	1,51	14,27	10,38	6,72	3,89
-280	1,58	30,25	24,52	17,80	5,73

Tabelle 3: Fruchtfolge, Frischmasseerträge am Standort der Lysimeterstation Witznitz (Schlagkartei, AG Kahndorf) sowie Ertragsbewertung natürlicher Böden gleicher Substrate

Jahr	Fruchtart	Ertrag (Schlag) (dt/ha)	Ertragsbewertung natürl. Boden (dt/ha)
2002	Wi Weizen	56	70
2003	Wi Gerste	42	65
2004	Silomais	510	450
2005	Erbsen	30	35
2006	Wi Weizen	56	70
2007	Wi Raps	27	35
2008	Wi Weizen	58	70
2009	Wi Weizen	70	70
2010	Wi Gerste	69	65

tegorie "schlechter chemischer Zustand" eingestuft werden mussten. Für diese Grundwasserkörper ist es erforderlich, Ausnahmeregelungen nach § 33a (a) des WHG in Anspruch zu nehmen. Die Zielverletzung gilt auch für die Beschaffenheit der mit dem Grundwasser in Verbindung stehenden Oberflächengewässer, in diesem Fall für die Pleiße und die drei angrenzenden Restlöcher Hainer See, Haubitzer See und insbesondere für den Kahndorfer See.

Für die betroffenen Oberflächengewässer, hier für den Vorfluter Pleiße, der im Stadtgebiet Leipzig in die Weiße Elster mündet und Bestandteil des Leipziger Gewässerverbundes ist, müssen jedoch dringend Maßnahmen zur Reduktion der Belastung gefunden werden. Die nachfolgend beschriebenen Untersuchungen sind Bestandteil eines von der Lausitzer und Mitteldeutschen Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH (LMBV) beauftragten und finanzierten Projektes zur Reduzierung der hoch belasteten, aus dem Kippengebiet ab und der Pleiße zufließenden Grundwassermengen (BEIMS und MANSEL 2009). Dies soll realisiert werden, indem mittels geeigneter Bodenverbesserungs- und Bewirtschaftungsmaßnahmen auf der Kippe, eine Erhöhung der Verdunstung und damit eine Reduzierung der dem Grundwasser zu fließenden Sickerwassermenge erreicht wird.

Material und Methoden

Ausgangssituation

Bodenphysikalische Eigenschaften und Bodenfruchtbarkeit

Zur Untersuchung des Wasser- und Stoffhaushaltes von Kippböden werden in der Lysimeterstation Brandis bereits seit 1996 Untersuchungen an drei auf der Kippe Espenhain

gewonnenen 3 m tiefen wägbaren Lysimetern durchgeführt (KNAPPE et al. 1999, SACHSE et al. 2011). Des Weiteren wurde im Auftrag des LfULG 2003 (HAFERKORN und SEYFARTH 2005) vor Ort auf der Kippe Witznitz eine Messanlage mit weiteren 2 Lysimetern (gleichfalls 3 m tief und wägbare) errichtet (Lage s. *Abbildung 1*). Während der Monolithentnahme im Dezember 2003 wurden an der Entnahmestelle auf der Kippe Witznitz 40 Stechzylinderproben (8 Entnahmetiefen mit je 5 Stechzylindern) und Beutelpuben aus verschiedenen Bodentiefen entnommen. Die Untersuchungsergebnisse wurden pro Entnahmetiefe gemittelt (*Tabelle 1 u. 2*).

Im Verlauf des Tagebaubetriebes wurden oberflächennahe quartäre Substrate (vorwiegend Geschiebelehm, -mergel, aber auch Bändertone, Auelehme und Kiese), in geringem Umfang auch tertiäre Sande, Kiese und Tone verkippt. Im Anschluss daran wurden auf diesem Areal in den Jahren 1974-76 Rekultivierungsmaßnahmen, wie Grundmelioration, Tiefenfräsen unter Einarbeitung von organischem Material (Kompost und Güllesediment) und Braunkohleaschen und Düngekalk durchgeführt (KRUMMSDORF und MOEWES 2010). Seitdem werden diese Flächen landwirtschaftlich bewirtschaftet. Vergleichbare Rekultivierungs- und Bewirtschaftungsmaßnahmen wurden auch auf der inzwischen 40 Jahre alten Kippe Espenhain durchgeführt.

Auf den vorwiegend carbonatfreien Bereichen am Standort der Lysimeterstation entstand als Bodentyp ein ca. 30 cm mächtiger, flachgründiger Regosol, der im Jahr 2005 von der Oberfinanzdirektion Chemnitz mit einer Bodenzahl von 27 und einer Ackerzahl von 26 eingestuft wurde. Dieser Boden ist bei mittleren Lagerungsverhältnissen, schwach, teils sehr schwach humos, die Organikgehalte verweisen auf schwach kohlehaltige Bodensubstrate. Obwohl die Wasser-

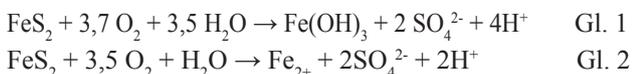
gehalte bei Feldkapazität auf einen sorptionsstarken Boden mit hohem Nährstoffbindungsvermögen und beachtlicher Wasserspeicherfähigkeit verweisen, neigt er u. a. infolge der Humusarmut und hoher Tongehalte, zu Staunässe und Austrocknung (LfULG 2000, GEISSLER 2008).

Ein, seit dem Jahr 2002 durchgeführter Vergleich zwischen den Erträgen auf dem Schlag am Standort der Lysimeterstation Witznitz, bzw. den Erträgen auf den Lysimetern und den Erträgen, die auf gewachsenen Böden gleicher Substrate unter den gegebenen klimatischen Bedingungen erwartet werden, zeigt am Untersuchungsstandort noch ein Potential zur Ertragssteigerung (Tabelle 3).

Chemische Eigenschaften der Kippenböden und des Sickerwassers

Die tertiären Substrate des geogenen Untergrundes im Südraum Leipzig sind stark pyritartig. Solange die Gesteine wassergefüllt sind, tritt nur eine unbedeutende Sulfidverwitterung auf, die durch den niedrigen Sauerstoffgehalt des Wassers (ca. 10 mg/l) begrenzt ist und nur eine geringfügige Erhöhung des Sulfatgehaltes (um 15 mg/l) bewirken kann (KÖLLING 1998).

Durch die Grundwasserabsenkung für den Tagebaubetrieb und die Umlagerung der tertiären Kohledeckschichten zu den heutigen Kippenkörpern, wurden die anaeroben pyritartigen Sedimente belüftet und es erfolgte eine intensive Sulfidverwitterung, wobei sicherlich nicht der gesamte Pyritgehalt des Abraums verwitterte. Die Verwitterung (=Oxidation), sehr vereinfacht in Gl. 1 und 2 dargestellt, wird durch Bakterien katalysiert und ist mit zahlreichen anderen hydrochemischen Prozessen verbunden.



Mit Einstellung der Wasserhaltung nach 1993 begann die Wiederauffüllung des Kippenkomplexes, der am Untersuchungsstandort Kippe Witznitz nahezu abgeschlossen ist. Ursache für die heutige und künftige Boden- und Grundwasserbeschaffenheit waren und sind zwei gleichzeitig ablaufende Prozesse:

(1) Im Verlauf der Wiederbefüllung durch lateral zufließendes Grundwasser aus den angrenzenden, unverritzten Gesteinen, gingen die Oxidationsprodukte Eisen und Sulfat in Lösung und auf Grund der hohen Azidität der

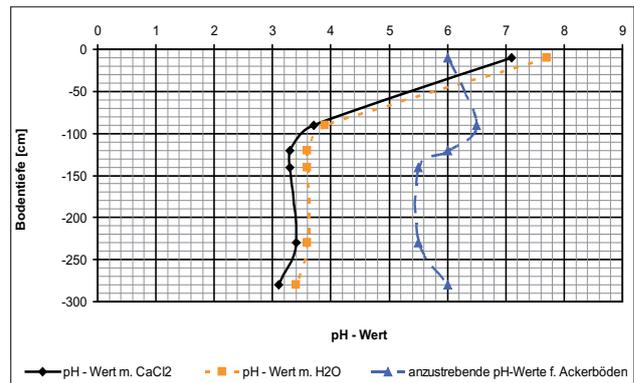


Abbildung 2: pH-Wert des Bodens

Substrate entstanden Grundwasser mit pH-Werten bis pH 1. Der Sauerstoff wird aus den Poren verdrängt, wobei auf Grund der heterogenen Kippensubstrate ein schlecht kalkulierbarer Restbestand an sauerstoffhaltiger Bodenluft in den Poren verbleibt. Es wird davon ausgegangen, dass die Pyritverwitterung nicht zum Erliegen kommt.

(2) Parallel dazu werden die Kippenbereiche durch eintretendes sauerstoffhaltiges Niederschlagswasser aufgefüllt. Das Sickerwasser verlässt die bewirtschaftete Kulturbodenschicht in einer mit der von gewachsenen Böden vergleichbaren Qualität, wie aus den Untersuchungen von KNAPPE et al. (1999) hervorgeht. Erst in seiner weiteren Passage wird es mit den o. g. Verwitterungsprodukten angereichert und verlagert diese in Richtung Grundwasser. Da die Pyritverwitterung an die Anwesenheit von Wasser und Sauerstoff gebunden ist, wirkt die ungesättigte Zone nach wie vor als Verwitterungszone. Auch auf Grund der schlechten lateralen Leitfähigkeit der Kippen sind dies im Vergleich zu (1) die dominierenden Prozesse.

Erwartungsgemäß weisen die untersuchten Substrate noch immer eine hohe Azidität und hohe Gehalte der Verwitterungsprodukte auf, die Ursache für die außergewöhnliche Bodenwasserbeschaffenheit sind (Tabelle 4). In Abbildung 2 wird der anzustrebende Boden pH-Wert von landwirtschaftlich genutzten Böden den pH-Werten des Standortes gegenüber gestellt. Weitere, umfangreiche Bodenuntersuchungen im umliegenden Feld (GEISSLER 2008), zeigen eine sehr heterogene Verteilung der pH-Werte in der Fläche, wobei diese örtlich bereits in einer Tiefe von 15 cm bei pH < 4 liegen.

Tabelle 4: Leitfähigkeit (LF), pH-Wert, Sulfat-, Nitrat-, Eisen-, Aluminium- und Schwermetallgehalte der Lysimeter 13/1 und 13/2 auf der Kippe Witznitz (Mittelwerte der Zeitreihe Mai 2005 bis Nov. 2010 auf der Basis von monatlich mittels Saugkerzen entnommener Bodenwasserproben [mg/l])

Tiefe [m]	0,5	1,5	2,5	0,5	1,5	2,5	Grenzwerte (TrinkwV 2001)
	Lysimeter 13/1			Lysimeter 13/2			
pH [-]	4,5	3,1	2,7	3,6	4,6	2,9	6,5 – 9,5
LF [µS/cm]	948	2796	3421	2165	2308	2838	2500
SO ₄ ⁻	521	1675	2325	1371	1457	1823	240
NO ₃ ⁻	87	62	28	107	124	48	50
Fe _{gesamt} ⁻	2	54	265	2	6	183	0,2
Al	2	30	53	23	5	21	0,2
Ni	0,1	0,2	0,84	0,1	0,1	0,34	0,020
Zn	(27)	3,0	4,7	2,8	2,3	3,4	0,2*

*aus der Verordnung von 1986; in der neuen TrinkwV nicht mehr aufgeführt

Die in den Lysimetern am Standort Witznitz eingebauten Saugkerzen ermöglichen eine Entnahme von Bodenwasser in den Tiefen 0,5 m, 1,5 m und 2,5 m unter Gelände. Gleiches gilt für die Lysimeter von der Kippe Espenhain, deren Ergebnisse in *Tabelle 3* nicht dargestellt werden. Der Grundwasserspiegel im Lysimeter und der Umgebungsfläche bewegt sich zwischen 0,1 m und 1,7 m unter Gelände, so dass sich die Saugkerzen zeitweise sowohl im gesättigten als auch im ungesättigten Bereich befinden. Die hohen Stoffkonzentrationen im Boden- und Grundwasser (*Tabelle 4*) zeigen, dass das eindringende Niederschlagswasser auch rd. 34 Jahre nach Fertigstellung der Kippe vor allem durch Sulfat-, Eisen-, Aluminium- und die Schwermetallionen Nickel und Zink angereichert wird.

So kommt es während der Bodenpassage bis in 2,5 m Tiefe, bei steigender Tendenz, bereits zu Sulfatgehalten im Sickerwasser von 2838 mg/l, die Eisen-Konzentrationen liegen bei etwa 265 mg/l (Fe_{gesamt}), während die pH-Werte auf unter pH 3 sinken. Die saure Bodenlösung bedingt eine Schwermetallfreisetzung aus Tonmineralen, Humuskomplexen und Metalloxiden (Sesquioxide), wodurch die Grenzwerte der EU-WRRL insbesondere für die Schwermetalle Nickel und Zink überschritten werden.

Diese Untersuchungsergebnisse belegen, ebenso wie die Erkenntnisse von KNAPPE et al. (2003), den anhaltenden Einfluss der umgelagerten, belüfteten pyritartigen Kippsubstrate auf die Qualität des Sicker- und Grundwassers. Die Nachhaltigkeit der Pyritverwitterung ist Gegenstand weiterer Untersuchungen der ungesättigten Zone und hängt ab von

- der Sickerwassermenge, die den Abtransport der Reaktionsprodukte Richtung Grundwasser realisiert, aber auch Wasser und Sauerstoff für die Pyritverwitterung liefert,
- der Lage und vom Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels unter der Geländeoberfläche, da die darüber liegende wechselfeuchte Zone mit anteilig luftgefülltem

Porenraum als Reaktionsraum für die Pyritverwitterung wirksam ist, dies in Abhängigkeit vom

- noch umsetzbaren Pyritgehalt der Kippensubstrate.

Versuchsaufbau

Vorstehend beschriebene Eigenschaften der ungesättigten Zone bestimmen auch die Wachstumsbedingungen der Pflanzen und damit Höhe der Verdunstung und der Sickerwassermenge. Um das Projektziel: bessere Wachstumsbedingungen für die Pflanzen, höhere Erträge, dementsprechend höherer Wasserverbrauch der Pflanzen und geringere Sickerwasserbildung, auf diesen Arealen erreichen zu können, sollen

- die Eigenschaften der Kulturbodenschicht (= Wasserhaushaltsschicht = effektive Wurzelzone) dauerhaft, möglichst weit über ihr derzeitiges Niveau hinaus, verbessert werden. Dies aber
- nicht nur für die bestehende Deckschicht, sondern es wird angestrebt, deren Mächtigkeit zu erweitern. Dies erfolgt mittels Tiefenmelioration (Tiefenfräsen max. möglich bis 80 cm Tiefe), Kalkung und Einarbeitung von organischem Material. Um die Kapazität (Verdunstungsleistung) der so erstellten „Wasserhaushaltsschicht“ effektiv nutzen zu können, wird
- mit Knaulgras und Luzerne, abweichend von der bisherigen Fruchtfolge, ein ganzjähriger Bewuchs etabliert, der ohne die bisherigen Brachezeiten während der gesamten Vegetationsperiode einen Bodenwasserverbrauch sicherstellt und sich im Verlauf seiner mehrjährigen Entwicklung, die gesamte Mächtigkeit der Deckschicht erschließt (insbesondere der Tiefwurzler Luzerne).

Zum Nachweis der Wirksamkeit dieser, in unterschiedlicher Kombination und Intensität zu realisierenden Maßnahmen, wurden im Jahr 2009 auf der Kippe Witznitz zwei Testflächen (*Abbildung 1*) mit insgesamt 10 Parzellen eingerichtet (*Tabelle 5*). Bei Versuchsfläche 2 handelt es sich um eine

Tabelle 5: Beschreibung der realisierten Versuchsvarianten (KSK-Klärschlammkompost)

Fläche-Variante	Charakteristik	Fruchtart
1-1	mit Kalk und Tiefenmelioration	Knaulgras
1-2	ohne Kalk, mit Tiefenmelioration	Knaulgras
1-3	ohne Kalk und ohne Tiefenmelioration	Knaulgras
1-4	mit Kalk und Tiefenmelioration	Luzerne
1-5	ohne Kalk, mit Tiefenmelioration	Luzerne
1-6	ohne Kalk, ohne Tiefenmelioration	Luzerne
2-1	ohne Kalk, mit Tiefenmelioration, 500 t/ha KSK	Knaulgras
2-2	ohne Kalk, mit Tiefenmelioration, 125 t/ha KSK	Knaulgras
2-3	ohne Kalk, mit Tiefenmelioration, 500 t/ha KSK	Luzerne
2-4	ohne Kalk, mit Tiefenmelioration, 125 t/ha KSK	Luzerne
Lysimeter	Charakteristik/Herkunftsfläche	Fruchtart
13/1	„0“-Variante/Kippe Witznitz	Wintergetreide geprägte Fruchtfolge
13/2	„0“-Variante/Kippe Witznitz	Wintergetreide geprägte Fruchtfolge
14/2	mit Kalk und Tiefenmelioration/Kippe Witznitz-Versuchsfläche 1	Knaulgras
14/4	mit Kalk und Tiefenmelioration, 125 t/ha KSK/ Kippe Witznitz-Versuchsfläche 1	Knaulgras
12/1	500 t/ha KSK/Kippe Espenhain	Luzerne
12/2	„0“-Variante/Kippe Espenhain	Wintergetreide geprägte Fruchtfolge
12/3	125 t/ha KSK/Kippe Espenhain	Luzerne

ehemalige, nicht landwirtschaftlich genutzte Brachefläche. Sie wurde gewählt, um die hohen, derzeit nicht genehmigungsfähigen Kompostgaben realisieren zu können. Auf der Versuchsfäche 1 wurden zwei weitere Lysimeter gewonnen (14/2 und 14/4), die am Standort Brandis betrieben werden. Die bereits vorhandenen Lysimeter wurden in das Untersuchungsprogramm einbezogen, wobei die Untersuchungen am Lysimeter 12/2 und an der Lysimeterstation Witznitz (13/1 und 13/2) als „0-Variante“ weiter laufen. Die Höhe der gewählten Kompostgaben orientiert sich an aktuellen Forschungsergebnissen der Martin-Luther-Universität Halle (Tauchnitz 2006, Tauchnitz et al. 2007, BERNSDORF und LIEMEN 2009) zur Gestaltung von nachhaltigen Rekultivierungs- und Wasserhaushaltsschichten.

Der verwendete Klärschlammkompost besteht aus 50 Vol% Klärschlamm (anaerob behandelt) aus kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen und 50 Vol% Strauchgut, Grünschnitt und Holz. Der Fertigkompost mit einem Rottegrad von IV bis V hat ein Reifealter von ca. 7 Monaten.

Erste Ergebnisse

Zum Nachweis der Wirksamkeit der Bewirtschaftungsmaßnahmen auf den Wasserhaushalt im Sinne des Projektzieles, werden auf den behandelten Feldparzellen und Lysimetern seit 2009 kontinuierlich folgende Parameter erhoben:

- Klimaparameter, Niederschlag, Verdunstung, Bodenwasservorrat Sickerwassermenge und -beschaffenheit
- bodenphysikalische und chemische Kennwerte, vor allem mit Bezug zu den Inhaltsstoffen des aufgebracht Klärschlammkompost
- Ernteerträge und Pflanzeninhaltsstoffe
- Wuchshöhe, Wurzeltiefe und Blattflächenindex bei relevanten Entwicklungsstadien u. a. als Eingangsdaten für die versuchsbegleitenden Modellrechnungen.

Nachfolgend werden ausgewählte Ergebnisse der Lysimeteruntersuchungen vorgestellt und Ergebnisse der Parzellenversuche nur ergänzend hinzugezogen.

Klimatische Randbedingungen und Ertragsbildung

Das Jahr 2009 (Aussaat von Knautgras und Luzerne erfolgt am 17.4.) war durch eine sehr inhomogene Niederschlagsverteilung gekennzeichnet, insbesondere waren der April, Juni und August deutlich zu trocken (*Abbildung 3*).

Deshalb etablierte sich der Pflanzenbestand im ersten Versuchsjahr 2009 nicht optimal. Die pflanzenphysiologischen Parameter auf den Lysimetern und allen Testflächen lagen unter den Literatur- und Erwartungswerten, wobei sich das Knautgras zunächst besser entwickelte als die Luzerne. In der Summe von 3 Ernten zeigten die Erträge auf den Versuchsfächen beim Knautgras bereits eine Abhängigkeit von der Höhe der Kompostgaben. Bei der Luzerne ist dieser Effekt noch nicht so deutlich.

Im 2. Versuchsjahr waren die klimatischen Randbedingungen gleichfalls nicht günstig. Die Monate Februar, April und Oktober waren extrem trocken, während die Niederschläge der anderen Monate seit Mai weit über den langjährigen

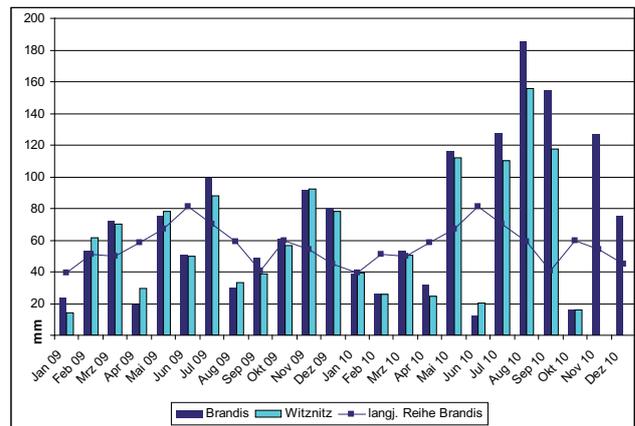


Abbildung 3: Monatssummen des Niederschlags [mm] der Stationen Brandis und Witznitz

Mittelwerten lagen. Trotz der ungünstigen Witterungsbedingungen entwickelte sich der mehrjährig angelegte Pflanzenbestand positiv. Auch im 2. Versuchsjahr zeigt das Knautgras auf den Versuchsparzellen deutlich höhere Erträge bei höheren Kompostgaben, während diese Abhängigkeit bei der Luzerne bisher nicht zu verzeichnen ist.

Verdunstung und Sickerwasserbildung

Dem Projektziel entsprechend liegt der Untersuchungsschwerpunkt bei der Ermittlung der Verdunstung. Sie spiegelt die bewirtschaftungsbedingte Ertragsentwicklung und den Wasserverbrauch der Pflanzen wider. Die Pflanzen rekrutieren ihren Wasserbedarf zum einen aus dem Niederschlag, der aber unter den gegebenen klimatischen Bedingungen, insbesondere im Verlauf ihrer Hauptwachstumszeiten, nicht ausreichend vorhanden ist. So wird von den Pflanzen auf den Bodenwasservorrat zurückgegriffen. Je besser es gelingt, eine möglichst große sommerliche Bodenwasserentnahme zu initialisieren, umso mehr Sickerwasser wird zur Wiederauffüllung benötigt und geht, so gewollt, der Grundwasserneubildung verloren.

Im 1. Versuchsjahr wurde im gewählten Vergleichszeitraum von April bis September auf allen Lysimetern eine Verdunstungsleistung in Höhe von rd. 450 mm gemessen (vgl. *Abbildung 4*) unabhängig davon, ob es sich um die mit Luzerne bzw. Knautgras bewachsenen Lysimeter oder um die weiter in der konventionellen Bewirtschaftung befindlichen Lysimeter 13/1 und 13/2 mit Winterweizen bzw. 12/2 mit Wintertraps handelt. Auch die Höhe der Bodenwasserausschöpfung war mit 120 bis 140 mm auf nahezu gleichem Niveau, zeigte aber beim Lysimeter 12/2 einen anderen zeitlichen Verlauf.

Im Jahr 2010 wurde auf den Vergleichslysimetern („0“-Variante) mit Wintergerste (Lysimeter 13/1 und 13/2) bzw. Winterweizen (Lysimeter 12/2) eine Verdunstung von 460 mm bzw. 470 mm erzielt. Eine deutlich höhere Verdunstung, bei gleichen Witterungsbedingungen, konnte bei den Lysimetern mit Knautgras (rd. 570 mm) und Luzerne (rd. 700 mm) erzielt werden. Die Zunahme der Verdunstungsleistung der Luzerne resultiert aus der Zunahme der Wurzeltiefen von rd. 11 cm im 1. Versuchsjahr auf rd. 30 cm im 2. Versuchsjahr (Zunahme der Wurzeltiefen beim Knautgras im gleichen Zeitraum von rd. 9 cm auf rd. 16 cm).

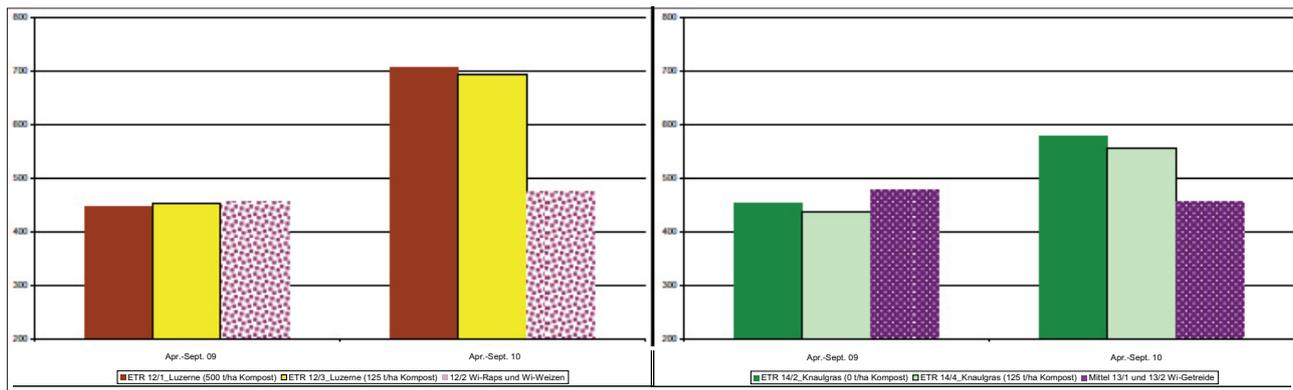


Abbildung 4: Bewirtschaftungsbedingte reale Verdunstung im Vergleichszeitraum April bis September in den Jahren 2009 und 2010

Dabei wurde ein Bodenwasservorrat von max. 110 mm bzw. 150 mm in Anspruch genommen, der bei den konventionell bewirtschafteten Lysimetern aber im Juli schon wieder aufgefüllt war. Deshalb wurden bereits ab August die hohen Niederschläge Neubildungswirksam. Bei den mit Knaulgras bewachsenen Lysimetern 14/1 und 14/2 war der Bodenwasservorrat im September, bei den mit Luzerne bewachsenen erst im Dezember 2010 wieder aufgefüllt, so dass bis dahin kein Sickerwasser zu verzeichnen war. Dementsprechend staffelt sich im 2. Versuchsjahr im Zeitraum von August bis Dezember die Höhe der Grundwasserneubildung, wobei die Sickerwasserperiode noch nicht abgeschlossen ist:

Lys. 12/2 mit Winterweizen: 236 mm
 Mittel Lys. 14/2 und 14/4 mit Knaulgras: 130 mm
 Mittel Lys. 12/1 und 12/3 mit Luzerne: 28 mm.

Veränderungen der Sickerwasserbeschaffenheit werden erstmals am Ende des 3. Versuchsjahres bewertet, dies auch vor dem Hintergrund der Frage, inwieweit durch die veränderten Eigenschaften und die andere Bewirtschaftung der Deckschicht („Wasserhaushaltschicht“) reaktive Prozesse, sowie Anreicherungs- und Verlagerungsprozesse, beeinflusst werden.

Diskussion und Ausblick

Nach den ersten beiden Versuchsjahren kann auf den Versuchspartellen und den Lysimetern ein positiver Effekt der Bewirtschaftungsmaßnahmen und der unterschiedlichen KSK-Gaben in Form einer Verbesserung der Bodeneigenschaften, der Steigerung der Biomasserträge und daraus resultierend, der Verdunstung festgestellt werden. Bereits im 2. Versuchsjahr zeigt sich eine deutliche Staffelung der Sickerwassermengen. Die höchsten Sickerwassermengen werden erwartungsgemäß unter den Vergleichsflächen mit Wintergetreide registriert, die geringsten unter den Flächen mit Luzerne. Dabei resultiert die positive Entwicklung der Luzernebestände auf Grund ihres Luftstickstoffbindungsvermögens, nicht so nachhaltig vom Nährstoffangebot höherer KSK-Gaben wie das der Knaulgrasbestände, sondern eher von der Tiefgründigkeit des Bodens.

Diese, unter speziellen Witterungsbedingungen erzielten Ergebnisse, wobei zunächst die Etablierung des mehrjährigen Pflanzenbestandes im Vordergrund stand, müssen durch

weitere Untersuchungsjahre manifestiert werden. Dies vor allem auch deshalb, weil die Untersuchungsergebnisse durch die unterschiedlichen Ausgangseigenschaften der Versuchsfelder 1 und 2 und der für die Untersuchungen verfügbaren Lysimeter beeinflusst werden. Dies sind, insbesondere bei Untersuchungen auf Kippenarealen unvermeidbare Randbedingungen, die mit Hilfe von versuchsbegleitenden Modellrechnungen quantifiziert werden. Letztlich sollen auf der Basis von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen neue Nutzungsempfehlungen für die Kippen abgeleitet werden.

Das Ziel der Sickerwasserreduzierung auf den belasteten, teils vernässten und wechselfeuchten Kippenstandorten durch hohe Biomasseproduktion und Verdunstung, als nachlaufende Rekultivierungsmaßnahme, lässt sich auf ideale Weise mit der Produktion alternativer Energien in Form nachwachsender Rohstoffe verbinden. Neben Gras und Luzerne können auch Pappeln und Weiden in schnell wachsenden Waldplantagen (Energieholzgewinnung) angebaut und zur Biogas- (Biomethan-)Gewinnung verwendet werden.

So könnten Braunkohlerekultivierungsflächen durch die Erzeugung erneuerbarer Energien einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz liefern. Es wird eine wirtschaftliche und eine ökologische Verantwortung wahrgenommen und eine regionale Wertschöpfungskette aufgebaut. Durch diese Nutzungsalternative auf ertragsschwachen und belasteten Standorten gehen der Landwirtschaft für die Nahrungsgüterproduktion keine wertvollen, ertragreichen Anbauflächen verloren.

Literatur

- LMBV, 1999: Schaffung von Tagebaueisen im mitteldeutschen Bergbau-revier. Broschüre, Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH.
- BÜTTCHER, H., H. MANSEL, L. WEBER, CH. UHLIG und K. HÄFFNER, 2010: Räumlich differenzierte reaktive Stofftransportmodellierung zur Prognose des Stoffaustauschs aus der Braunkohlenbergbaukippe Witznitz in den Vorfluter Pleiße im Südraum von Leipzig. Tagungsband 61. Berg- und Hüttenmännischer Tag.
- GFI, 2008: Ableitung weniger strenger Umweltziele in braunkohlebergbau-beeinflussten Grundwasserkörpern der Flussgebietsgemeinschaft Elbe, Grundwasserforschungsinstitut GmbH Dresden.

- BEIMS, U. und H. MANSEL, 2009: Durchführung eines Pilotversuches zur Reduzierung der Exfiltration von eisenbelasteten Grundwasser aus den Kippen des ehemaligen Tagebaues Witznitz in die Fließgewässer Pleiße und Whyra. 12. Dresdner Grundwasserforschungstage 15./16. Juni 2009.
- KNAPPE, S., U. HAFERKORN, J. MATTUSCH und J. WENNRICH, 1999: Wasser- und Stoffflüsse in rekultivierten, langjährig landwirtschaftlich genutzten Kippenböden im Südraum Leipzig. Tagungsband 8. Gumpensteiner Lysimetertagung.
- SACHSE, L., U. HAFERKORN und G. STRAUCH, 2011: Entwicklung des Austragsverhaltens von Kippenböden am Beispiel des Langzeitmonitorings der Lysimeter der Kippe Espenhain. Veröff. in Vorbereitung.
- HAFERKORN, U. und M. SEYFARTH, 2005: Lysimeteruntersuchungen zum Wasser- und Stoffhaushalt rekultivierter wiedervernässter Kippenstandorte. Tagungsband 11. Gumpensteiner Lysimetertagung.
- KRUMMSDORF, A. und K. MOEWES, 2010: Landschaftsgestaltung der Braunkohleindustrie durch Wiederurbarmachung und Rekultivierung in der Region Leipzig. Sonderdruck aus „Industrie der Stadt Leipzig 1945-1990“, GNN-Verlag, Schkeuditz.
- LfULG, 2000: Landwirtschaft auf Rekultivierungsflächen. Broschüre Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (S. 7-11).
- GEISSLER, 2008: Repräsentanzanalyse für den Wasserhaushalt der Böden im Bereich der Lysimeterstation Witznitz. Diplomarbeit an der Hochschule Zittau-Görlitz.
- KÖLLING, M., 1998: Abhängigkeit der Sulfidverwitterung von der diffusen Sauerstoffnachlieferung. Projektbeschreibung Universität Bremen (1995-1998).
- KNAPPE, S., H. RUPP, J. WENNRICH, J. MATTUSCH und R. MEISSNER, 2003: Entwicklung der Boden-, Sicker- und Grundwasserbeschaffenheit in der Kippe Niemeck (Bitterfeld) im Zuge der Restlochflutung. Tagungsband 10. Gumpensteiner Lysimetertagung.
- TAUCHNITZ, S., 2006: Untersuchungen zum Wasserhaushalt und Stickstoffumsatz von Rekultivierungsschichten aus Klärschlammkomposten. Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle.
- TAUCHNITZ, S., F. LIEMEN, S. BERNSDORF und R. MEISSNER, 2007: Bestimmung der nutzbaren Feldkapazität von Rekultivierungsmaterialien mittels Vegetationstest. DBG Mitteilungen, Band 110, S. 631.
- BERNSDORF, S. und F. LIEMEN, 2009: Besondere Anforderungen an den Bewuchs und den Oberboden bei der Gestaltung von Rekultivierungswasserhaushaltsschichten unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeitskomponente. Tagungsband 5. Leipziger Deponiefachtagung. Stilllegung, Sicherung, Nachsorge und Nachnutzung von Deponien.