

Wasser- und Stoffflüsse in rekultivierten, langjährig landwirtschaftlich genutzten Kippenböden im Südraum Leipzig

S. KNAPPE, U. HAFERKORN, J. MATTUSCH und R. WENNRICH

Abstract

The results of measurements of the water and pollutant balance over three years in a regosol typical of the post-opencast mining landscapes south of Leipzig are presented. The amounts of leachate and evapotranspiration are determined in the Quaternary upper stratum containing plant rooting irrespective of the heterogeneous Tertiary strata below. Drinking water quality requirements are almost fully satisfied as far as the inorganic components dissolved in the soil water of the recultivated upper stratum are concerned. The outcropping carboniferous sands below the recultivated, rooted zone contain high levels of pyrite, and have low pH values and high acid potential in the soil water. They cause very high conductivity and excessive concentrations of sulphate, iron, aluminium and heavy metal ions. The findings confirm the major significance of the surrounded, aerated, pyrite-containing dump substrates for the quality of natural groundwater recharge. It was found that the movement of leachate towards the groundwater does not take place via the even moistening of the body of the dump. Instead, the leachate formed in the recultivated upper stratum is mainly transported along substrate boundaries and through coarsely textured structures (preferential flow).

1. Einleitung

Die Braunkohlegewinnung im Mitteldeutschen Braunkohlenrevier südlich Leipzigs erfolgt seit 1920 in Großtagebauen. In dem ca. 700 km² großen, regionalgeologisch dem Weißelsterbecken zuzuordnenden Gebiet werden zukünftig 240 km² Land durch Tagebaue über-

baggert sein. Im Ergebnis des Braunkohlentagebaus werden hier rund 170 km² Kippenlandfläche sowie 70 km² See- fläche (HILDMANN, 1993) hinterlassen. Gegenwärtig wechseln aktiver Bergbau und Bereiche, die zur Flutung vorbereitet werden, mit gefluteten Restlöchern und rekultivierten Flächen, die z.T. bereits vor Jahrzehnten in die landwirtschaftliche Nutzung genommen wurden. Für den Wasser- und Stoffhaushalt der Bergbaufolgelandschaften und die Wechselwirkungen zwischen Kippe, See und Grundwasser ergeben sich dabei spezifische Probleme zur Stoff- und Wasserbewegung in der ungesättigten Zone. Hier soll über erste Ergebnisse aus Lysimeterexperimenten und Betrieb eines Sickerwasser-Grundwasser-Meßsystems (SGM) zur Quantifizierung der Wasserhaushaltsgrößen und der Migration von anorganischen Komponenten unter landwirtschaftlich genutzten, rekultivierten Kippenböden in der aeroben Phase berichtet werden.

2. Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden an drei, je 3m tiefen, monolithischen, wägbaren, mit Meßsensorik in drei Tiefen ausgestatteten Lysimetern, die auf der rekultivierten Kippe Espenhain gewonnen wurden, sowie an einem SGM mit Meßsensorik in 5 Tiefenstufen von 3-23 m Tiefe durchgeführt. Die Bodenform entspricht einem Regosol aus Kipp-Sand- lehm, schwach karbonathaltig, über tiefen Fein- und Mittelsand, schwach schluffig, schwach bis stark kohlehaltig (KA4, 1994; WÜNSCHE und THUM, 1990; WEISE, 1996). Am Substrat der Deckschicht ist vorwiegend Geschiebemergel und nur in geringem Maße Ge-

schiebelehm und Schmelzwassersand quartärer Herkunft beteiligt. Darunter steht die Absetzerverkipfung von Abraum aus flöznahen Bereichen (obereozäne bis mitteloligozäne Bornaer und Böhlener Schichten) an, die zu äußerst unregelmäßigem, kleinräumigen Wechsel von kohlefreien bis stark kohlehaltigen, meist feinkörnigen Sanden mit Schluff-, Ton- und Kohlebrocken führte. Die Herkunftsflächen der Lysimeterböden wurden über einen Zeitraum von ca. 30 Jahren landwirtschaftlich intensiv genutzt. Zum Zeitpunkt der Monolithentnahme wurde ein Klee-grasgemisch angebaut, dem in den Lysimetern Kartoffeln (1996), Sommerweizen (1997) und Winterroggen (1998) folgten.

3. Ergebnisse

3.1. Wasserhaushalt

Geht man von dem sehr unterschiedlichen Schichtaufbau der drei Lysimetermonolithe aus, so wäre eine starke Differenzierung der Wasserhaushaltsgrößen zu erwarten. Aus *Abbildung 1* ist jedoch zu entnehmen, daß sowohl die Menge des in drei Meter Tiefe anfallenden Sickerwassers, als auch die Höhe der Evapotranspiration und die Bodenwasservorratsänderung für alle drei Lysimeter in den drei Untersuchungsjahren nahezu übereinstimmen. Sie entsprechen in Dynamik und Menge den Ergebnissen gleichartiger, natürlicher Bodenformen (KNAPPE und KEESE, 1997; KNAPPE et al., 1994). Man kann daraus schlußfolgern, daß Sickerwassermenge und Evapotranspiration rekultivierter und wieder in Nutzung befindlicher Bodenflächen im wesentlichen durch die ca. 70 bis 100 cm tiefe, kulturfähige Deck-

Autoren: Dr. Siegfried KNAPPE, Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Sektion Bodenforschung, Theodor-Lieser Straße 4, D-06120 HALLE, Ulrike HAFERKORN, Staatliche Umweltbetriebsgesellschaft, Lysimeterstation Brandis, Kleinsteiberger Straße 3, D-04821 BRANDIS, Dr. J. MATTUSCH und Dr. R. WENNRICH, UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle, Sektion Analytik, Permoserstraße 15, D-04318 LEIPZIG

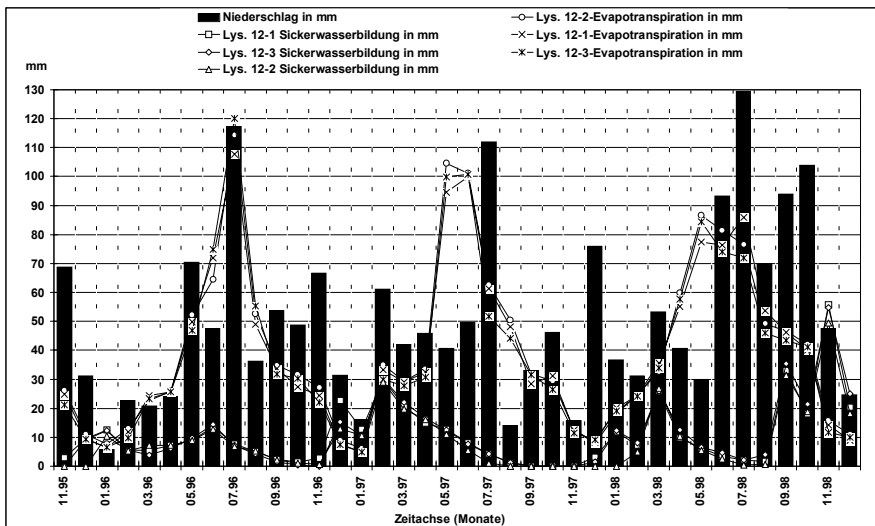


Abbildung 1: Sickerwassermenge, Evapotranspiration und Bodenwasservorratsänderung in Abhängigkeit vom Niederschlag auf drei Lysimetern mit rekultivierten Bergbauböden. Monatswerte der Periode 11/95 bis 12/98.

schicht geprägt werden. Sickerwasser, welches die Grenze zum Substrat der Absetzerkippe erreicht hat, gelangt, da keine Wurzeln in diese kulturfeindliche, sandige, extrem saure Schicht eindringen, mit entsprechender zeitlicher Verzögerung vollständig zum Sickerwasser- auslauf in 3 m Tiefe.

Untersuchungen mit einem am Standort eingebauten SGM zeigen, daß die im Lysimeter registrierten Sickerwasserströme auf dem Kippenstandort bereits in 3m Tiefe nur noch in abgeschwächter Form nachweisbar sind. Am konkreten, punktuell begrenzten Standort des SGM sind bei Feuchtegehalten des sandigen Substrates von konstant 4-5 Vol.% bis zu einer Tiefe von 18 m keine Sickerwasserbewegungen (zeitliche Veränderungen

des Feuchtegehaltes) mehr feststellbar (Abbildung 2). Bei 23 m Tiefe wird der durch das aufsteigende Grundwasser gesättigte Bereich mit gleichbleibend 43-44 Vol.% Wasser angezeigt. Es wird angenommen, daß auf Grund des heterogenen Kippenaufbaues mit stark wechselnden Substraten sowohl in der Absetzer- als auch in der Förderbrückenkippe der Wassertransport über bevorzugte Fließwege erfolgt.

3.2 Ionenbilanzen im Boden- und Sickerwasser der Lysimeter und in den Substraten der Kippe bis zum Grundwasser

Erwartungsgemäß dominiert bei der Ionenbilanz (Lysimeter) in den unteren Bodenschichten (Abbildung 3) auf der Sei-

te der Anionen das aus der Pyritverwitterung hervorgegangene Sulfat. Mit einem geringen Anteil ist noch Chlorid beteiligt. In der rekultivierten Deckschicht werden darüber hinaus relativ hohe Nitratwerte registriert. Auf der Seite der Kationen sind es im Lysimeter 12/1 die sicherlich aus der starken Zersetzung primärer Minerale resultierenden Aluminium- und Eisenionen sowie z. T. Protonen, die bei pH-Werten um 2,0 die Bilanz bestimmen. Steigt der pH-Wert wie im Fall des Lysimeters 12/3 an (3,8-7,4), so sind erwartungsgemäß kaum noch Al und Fe Austräge festzustellen, und die Bilanz wird vor allem von Mg und Ca bestimmt. Der absolute Gehalt von Ca bleibt dabei unabhängig vom pH-Wert in allen drei Lysimetern nahezu gleich. Der Mg-Gehalt steigt bei neutralem Sickerwasser (Lys. 12/3) deutlich an. Aus den Ergebnissen läßt sich des weiteren die hohe, kleinräumige Heterogenität, die innerhalb (von Schicht zu Schicht) und zwischen den drei Lysimetermonolithen auftritt, erkennen.

Mit dem Sickerwasser-Grundwasser-Meßsystem besteht die Möglichkeit, über die Lysimetertiefe von 3 m hinaus im Saugsondenwasser die stoffliche Zusammensetzung des Bodenwassers des Kippenkörpers bis zum Grundwasser zu erfassen. Aus den Ionenbilanzen (Abbildung 4) läßt sich zunächst die bereits aufgezeigte hohe Heterogenität zwischen den Schichten der Kippensubstrate und der bestimmende Einfluß des pH-Wertes auf die Stoffgehalte bestätigen. Auf der Seite der Anionen ist der Gehalt des aus der Pyritverwitterung stammenden Sulfates wiederum bestimmend. Chlorid hat noch einen bemerkenswerten Anteil an der Ionenbilanz, die übrigen Anionen sind in den tieferen Schichten zu vernachlässigen. Auf der Seite der Kationen wurden alle berücksichtigten Elemente aufgeführt. Für die Tiefe von 3 m treffen die weiter oben bereits für das Lysimeter 12/1 (Sickerwasser) aufgezeigten Aussagen voll zu. In den Tiefen von 8 m bis 28 m, die im wesentlichen aus tertiären Substraten bestehen, kann bei sinkenden pH-Werten eine Zunahme des Gesamteisengehaltes in der Bodenlösung festgestellt werden, während freie Aluminiumionen kaum noch auftreten (Fehlen primärer Tonminerale in den Sand- und Kiesschichten?). Die Bilanz

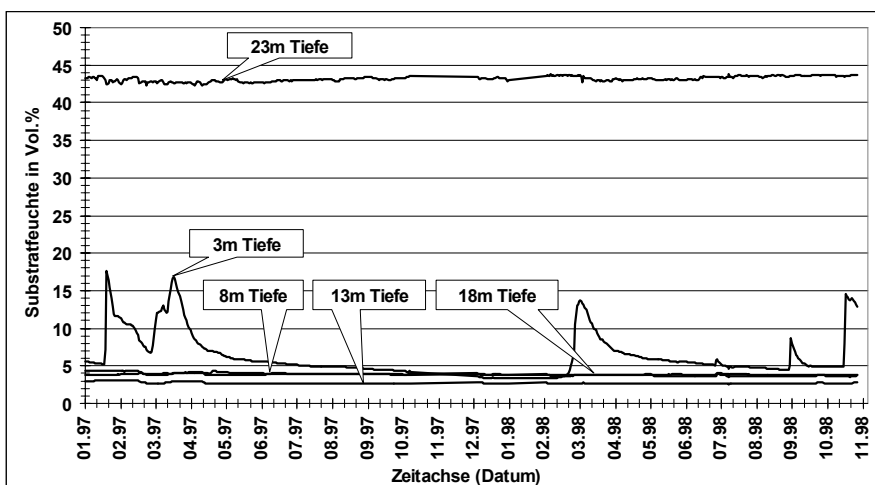


Abbildung 2: Zeitliche Veränderungen der Substratfeuchte in Vol.% in fünf Tiefen. Ergebnisse vom Sickerwasser-Grundwasser-Meßsystem auf der Kippe Rötha bei Espenhain

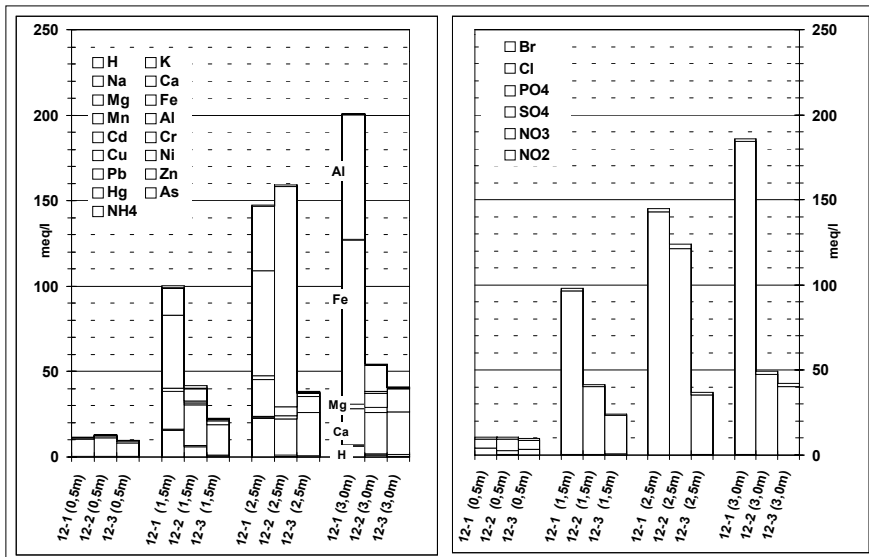


Abbildung 3: Anionen- und Kationengehalte in meq/l im Bodenwasser bei 0,5-1,5-2,5m Tiefe und im Sickerwasser bei 3,0m Tiefe von drei Lysimetermonolithen mit rekultiviertem Kippenboden der Kippe Espenhain.

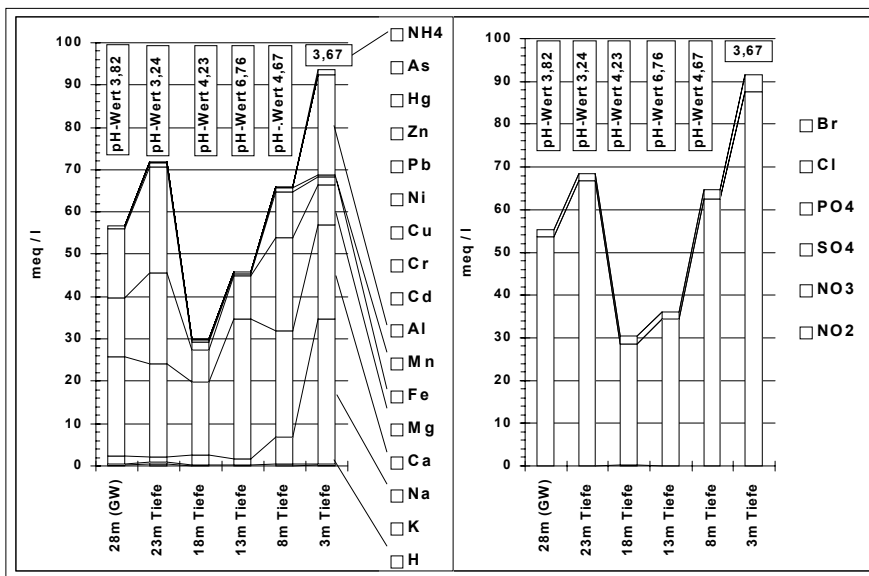


Abbildung 4: Anionen- und Kationengehalte in meq/l im Bodenwasser aus fünf Tiefen und im Grundwasser - Ergebnisse des Sickerwasser-Grundwasser-Meßsystems auf der Kippe von Espenhain/Rötha

wird neben Eisen vor allem von Mg und Ca bestimmt. Hohe Gehalte an Natrium in 3 m und z. T. noch in 8 m Tiefe dürften auf anthropogenen Einträgen von Stoffen (vorwiegend Aschen) beruhen, die zur Rekultivierung aufgebracht wurden.

3.3 Leitfähigkeit, pH-Wert, Nitrat- und Schwermetallgehalte in Boden- und Sickerwasser der Lysimeter 12/1 und 12/3

Aus Tabelle 1 ist zu erkennen, daß die pH-Werte im Bodenwasser in der oberen, rekultivierten, landwirtschaftlich nutzbaren Bodenschicht mit Werten von

7,4 bzw. 7,5 Verhältnissen entsprechen, die auf diesen Substraten unter ungestörten, natürlichen Bedingungen herrschten. Auch Leitfähigkeit, Sulfat- und m.E. Schwermetallgehalte im Bodenwasser entsprechen natürlichen Bedingungen von Böden dieses Substrates. Unmittelbar unter der Kulturbodenabdeckung liegen im Lysimeter 12/1 stark versauerte, tertiäre Substrate. Diese bedingen für alle diese Kompartimente pH-Werte um 2,0 und geringer. Es treten Leitfähigkeiten zwischen 8,9-13,1 mS/cm auf. Die Sulfatgehalte nehmen von 4,6 g/l bei 1,5 m Tiefe, über 6,9 g/l auf 8,8 g/l im Sicker-

wasser zu. Demgegenüber scheinen im tertiären Substrat der Bodensäule von Lysimeter 12/3 schluffige, kalk- und mergelhaltige Beimengungen vor allem in den Tiefen von 2,5-3 m konzentriert zu sein (pH-Werte von 5,0 und 6,3). Unter den aufgezeigten Bedingungen kommt es in diesem Lysimeter zwar noch zu erhöhten, im Vergleich zu Lysimeter 12/1 jedoch zu deutlich niedrigeren Leitfähigkeiten und Sulfatgehalten.

Es zeigt sich des weiteren, daß die Schwermetallgehalte im Sicker- und Bodenwasser mit pH-Werten um 2 und darunter die Grenzwerte für Trinkwasser deutlich übersteigen. Die Prüfwerte zur Sanierung des Grundwassers werden für SO_4^{2-} , Cd, Cr, Cu und besonders deutlich für Ni und Zn überschritten. Im neutralen Boden- bzw. Sickerwasser des Lysimeters 12/3 werden (außer bei Ni und Zn) Gehalte unter den Trinkwassergrenzwerten, im Bereich natürlicher Böden gemessen.

Abschließend soll auf die Nitratproblematik hingewiesen werden. Während in der kulturfähigen Schicht mit Nitratgehalten von über 200 mg/l im Bodenwasser hohe Werte auftreten, wurden für die stark bis mäßig versauerten Schichten darunter einheitlich Werte unter dem Grenzwert von 50 mg/l gemessen. Aus der zeitlichen Dynamik ist des weiteren zu entnehmen, daß vor allem in feuchteren Perioden sehr geringe bzw. nicht mehr meßbare Nitratgehalte vorliegen. Weitergehende Untersuchungen haben gezeigt, daß dies in den sauren, mit C aus den Kohlebeimengungen angereicherten Schichten der tertiären Kippen-substrate dem Ergebnis einer verstärkten Denitrifikation zuzuschreiben ist.

4. Schlussfolgerungen

❶ In der von den Pflanzen durchwurzelten, quartären Deckschicht werden Sickerwassermenge und Evapotranspiration unabhängig von den darunterliegenden heterogenen tertiären Schichten bestimmt. Sickerwassermenge und -qualität dieser Schicht entsprechen weitestgehend den Ergebnissen, die auf gewachsenen Böden dieser Substrate bei gleicher landwirtschaftlicher Nutzung erzielt werden.

❷ Am konkreten, punktuell begrenzten Standort auf der Kippe sind bei Feuch-

Tabelle 1: Leitfähigkeit, pH-Wert, Nitrat-, Sulfat- und Schwermetallgehalte im Boden- und Sickerwasser der Lysimeter 12/1 und 12/3.

Meßgröße	Lysimeter 12/1				Lysimeter 12/3				Grenzwert- Trinkwasser ¹	Prüfwert Sanierung GW ²
	0,5	1,5	2,5	3,0	0,5	1,5	2,5	3,0		
Tiefe (m)	0,5	1,5	2,5	3,0	0,5	1,5	2,5	3,0		
pH	7,5	1,8	1,6	2,2	7,4	3,8	5,0	6,3	6,5 - 9,5	-
LF [mS/cm]	1,15	13,1	10,6	8,99	1,01	2,16	3,05	3,08	2	-
SO ₄ ⁻ [g/l]	0,26	4,63	6,85	8,84	0,25	1,08	1,73	1,93	0,24	0,75
NO ₃ ⁻ [mg/l]	248	15	6	19	217	56	16	4	50	80
Cd [µg/l]	1,9	3,0	5,8	17,8	0,4	5,1	1,8	1,0	5	10
Cr [µg/l]	72	1225	2295	1912	39	33	49	11	50	200
Cu [µg/l]	8,4	408	600	301	8,0	63	21	7,9	100	200
Ni [µg/l]	57	465	1064	1021	129	155	789	292	50	200
Pb [µg/l]	16	174	521	37	32	80	25	3,5	40	200
Zn [µg/l]	880	1060	1920	7680	780	6800	13330	3980	100	800
As [µg/l]	38	127	194	42	34	28	25	2,8	40	100

¹ TrinkwV vom 22. Mai 1986 (BGBl.I)² Niederländischer Leitfaden zur Bodenbewertung und Bodensanierung (1990)

tegehalten des sandigen Substrates von konstant 4-5 Vol.% bis zu einer Tiefe von 18 m keine Sickerwasserbewegungen mehr feststellbar. Das in der rekultivierten Deckschicht gebildete Sickerwasser wird auf Grund des heterogenen Kippenaufbaues mit stark wechselnden Substraten sowohl in der Absetzer- als auch in der Förderbrückenkippe vorwiegend entlang von Substratgrenzen (Kapillarsprünge) und in grobtexturierten Strukturen (Preferential Flow) transportiert.

③ Aus der Sicht der im Bodenwasser der rekultivierten Deckschicht gelösten anorganischen Komponenten werden die Anforderungen der Trinkwasserqualität weitestgehend erfüllt. Erhöhte Gehalte

bei einigen Schwermetallen sind auf die zur Rekultivierung verwendeten Stoffe wie Kraftwerksasche, Klärschlamm und Gülle zurückzuführen und durch entsprechende pH-Wertssteuerung beeinflussbar. Das aus der landwirtschaftlich beeinflussten Deckschicht austretende Sickerwasser ist vom Potential her nicht in der Lage, eine bemerkenswerte Sickerwasserqualitätsänderung in den darunterliegenden Substraten herbeizuführen.

④ Die stark pyrihaltigen Kohlesande mit niedrigen pH-Werten und hohem Säurepotential im Bodenwasser bewirken sehr hohe Leitfähigkeiten. Diese basieren auf sehr hohen Konzentrationen von Sulfat-, Eisen-, Aluminium- und

Schwermetallionen. Die Ergebnisse bestätigen die große Bedeutung, die die umgelagerten, belüfteten, pyrihaltigen Kippensubstrate für die Qualität der Grundwasserneubildung haben.

5. Literatur

- AG BODEN, 1994: Bodenkundliche Kartieranleitung. 4. Aufl., 392 S., 33 Abb., 91 Tab., Hannover
- HILDMANN, E., 1993: Braunkohlenbergbau und Landschaftseingriffe - neue Orientierung für die Folgelandschaft. Ber. Z. Dt. Landeskunde, Trier 1, p. 55-56
- KNAPPE, S., C. MORITZ und U. KEESE, 1994: Grundwasserneubildung und N-Austrag über Sickerwasser bei intensiver Landnutzung - Lysimeteruntersuchungen an acht Bodenformen in der Anlage Brandis. Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd. 38, S. 393-403
- KNAPPE S. und U. KEESE, 1997: Untersuchungen zum Einfluß von N-Bilanzen auf den N-Austrag und den Nitratgehalt im Sickerwasser bei ackerbaulicher Nutzung und Flächenstilllegung - Lysimeteruntersuchungen an vier Bodenformen. VDLUFA-Schriftenreihe, 46, S. 587-590, Kongreßband 1997
- NIEDERLÄNDISCHER LEITFADEN ZUR BODENBEWERTUNG UND BODENSANIERUNG., 1990: in Rosenkranz/Eisele/Harreb, Bodenschutz, Pkt.8935
- VERORDNUNG ÜBER TRINKWASSER UND ÜBER WASSER FÜR LEBENSMITTELBETRIEBE (Trinkwasserverordnung - TrinkwV) vom 22. Mai 1986 (BGBl.I)
- WEISE, E., 1996: Dokumentation der Lysimetersäulenentnahmestellen auf der Innenkippe im Braunkohlentagebau Espenhain. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Bereich Boden und Geologie, Freiberg/Sachs.
- WÜNSCHE, M. und J. THUM, 1990: Bodensubstrate und Bodenentwicklung der landwirtschaftlich genutzten Flurkippe Espenhain. Arch. f. Naturschutz und Landschaftsforschung. 4, S. 217-229