

Trends der Sickerwasserqualität in stark sauren Kippsubstraten des Lausitzer Braunkohlenreviers: Ergebnisse eines Langzeit-Lysimeterversuchs

Beate Zimmermann^{1*} und Christian Hildmann¹

Zusammenfassung

Im Lausitzer Braunkohlenrevier führt der Tagebaubetrieb zu einer intensiven Belüftung vormals anaerob lagernder Sulfidminerale. Die Verwitterungsprodukte Eisen und Schwefelsäure gelangen im Zuge des Grundwasserwiederanstiegs in die regionalen Oberflächengewässer, mit negativen ökologischen und wasserwirtschaftlichen Folgen.

Lysimeterversuche mit zwei schwefelsauren tertiären Kippsubstraten sollen helfen die Frage zu beantworten, wie lange mit der bergbaubedingten Beeinträchtigung der Wasserqualität gerechnet werden muss. Dazu werden über nunmehr 22 Jahre diskontinuierlich Sickerwassermengen und -qualitäten erfasst.

Ergebnisse der Langzeituntersuchung zeigen, dass auch zwei Jahrzehnte nach der Befüllung der Lysimeter die Sickerwässer pH-Werte im stark sauren Bereich, extrem hohe Sulfatkonzentrationen und hohe Eisenkonzentrationen aufweisen. Unterschiede im Kohlegehalt zwischen den zwei Substraten spiegeln sich insbesondere in den Ammoniumkonzentrationen wider, welche ebenfalls regionale Hintergrundwerte über die gesamte Zeitreihe überschreiten. Die Messdaten untermauern Prognosen, welche von einer über Jahrzehnte andauernden Säure- und Salzbelastung von Gewässern in den Bergbaueinzugsgebieten ausgehen.

Schlagwörter: Stoffausträge, Sulfat, Eisen, Ammonium

Summary

In the Lusatian lignite mining district, open cast mining caused the oxidation of sulfide minerals. The weathered materials, in particular iron and sulfuric acid, enter regional water bodies with detrimental effects on freshwater ecosystems.

Lysimeter trials with two acid mining soils were designed to measure the seepage water quantity and quality discontinuously over 22 years. The results show that even after two decades the pH values remain very low. Sulfate concentrations are still extremely large compared to local background values. To a somewhat lesser extent, this is also true for iron and ammonium concentrations. Our data support existing model predictions that the regional freshwater contamination with acids and salts will last for decades.

Keywords: element output, sulfate, iron, ammonium

Einleitung

Im Lausitzer Braunkohlenrevier führt die großflächige Grundwasserabsenkung für den Tagebaubetrieb zu einer intensiven Belüftung vormals anaerob lagernder Sulfidminerale (Pyrit, Markasit). In Folge der Oxidation entstehen je nach Bedingungen gelöstes Eisen oder Eisenhydroxide und Schwefelsäure. Mit dem Grundwasserwiederanstieg gelangen die Produkte der Pyritverwitterung auch in die Oberflächengewässer. Daraus resultieren vielfältige ökologische und wasserwirtschaftliche Probleme, insbesondere im Zusammenhang mit der Versauerung, Verockerung und Versalzung von Fließgewässern und Bergbaufolgeseen.

Es ist daher von praktischer Bedeutung abzuschätzen, über welche Zeiträume mit einer Beeinträchtigung der Wasserbeschaffenheit in der Lausitz gerechnet werden muss. Dies ist jedoch schwierig, da Langzeituntersuchungen zu Stoffaus-

trägen weitestgehend fehlen. Ziel des Lysimeterversuchs ist es daher, über einen Zeitraum von mehr als 20 Jahren die Sickerwasserbeschaffenheit in tertiären Kippsubstraten zu analysieren und vorhandene Modellprognosen zur Entwicklung der Sickerwasserqualität zu überprüfen.

Material und Methoden

In der Lysimeterstation des Forschungsinstituts für Bergbaufolgelandschaften e.V. fand in den Jahren 1994 bis 2003 ein Großlysimeterversuch mit der Fragestellung statt, inwieweit bodenverbessernde Substrate zur Aufwertung verschiedener Kippsubstrate für die landwirtschaftliche Rekultivierung nutzbringend eingesetzt werden können (Gast & Haubold-Rosar 2003). Bei den vier Lysimetern, die für die hier vorgestellte aktuelle Langzeitstudie ausgewählt wurden, handelt es sich um Großlysimeter aus Polyethylen mit einer

¹ Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V., Brauhausweg 2, D-03238 FINSTERWALDE

* Ansprechpartner: Dr. Beate Zimmermann, b.zimmermann@fib-ev.de



kreisrunden Grundfläche von 1,02 m² und einer Mantelhöhe von 3,10 m. Sie sind in einfacher Wiederholung mit zwei schwefelsauren tertiären Kippsubstraten befüllt, welche sich insbesondere im Kohlegehalt unterscheiden (kohleführender Kipp-Lehmsand (oj-(x)ls) sowie Kipp-Kohlelehmsand (oj-xls)). Die Substrate in den Lysimetergefäßen wurden nach der Befüllung bis in ein Meter Tiefe mit Braunkohlensasse melioriert. In die oberen 30 cm wurde Klärschlamm eingemischt, wobei die applizierte Menge einer Gabe von 5 Tonnen Klärschlamm pro Hektar entspricht (geringste getestete Gabenhöhe). Über den Versuchszeitraum fand eine intensive Bewirtschaftung der Lysimeter mit einer Wintergetreide-Luzernegras dominierten Fruchtfolge statt. Zwischen 2003 und 2015 waren die Lysimeter mit extensiv genutzter Grünlandvegetation bedeckt. Eine Beprobung der Sickerwässer fand in diesem Zeitraum nicht statt.

Für die aktuelle Studie erfolgte im März 2015 eine Auffüllung der vier Lysimeter mit Kippboden aus dem Bereich der ursprünglichen Entnahmestelle, um Sackungsverluste auszugleichen. Nach dem Einarbeiten des Füllsubstrates in die oberen 30 cm eines jeden Lysimeters wurde Luzernegras eingesät. Die Beprobungen des Sickerwassers in drei Meter Tiefe wurden im April 2015 wieder aufgenommen und seitdem monatlich wiederholt. Von den im Labor bestimmten Parametern, Elementen und Verbindungen werden im Beitrag die Ergebnisse für den pH-Wert, Eisen, Sulfat und Ammonium vorgestellt.

Ergebnisse

Im Verlauf von zwei Jahrzehnten nach der Befüllung der Lysimeter mit den tertiären Kippsubstraten ist der pH-Wert der Sickerwässer kontinuierlich leicht angestiegen, liegt aber noch immer mit Werten unter 3 im stark sauren Bereich (*Abbildung 1*). Die Sulfatkonzentrationen sind zum Zeitpunkt der Wiederaufnahme der Messungen zwar von ursprünglich über 15.000 mg/l deutlich zurückgegangen, liegen aber mit ca. 1.800 mg/l im Kipp-Lehmsand und 2.800 mg/l im Kipp-Kohlelehmsand nach wie vor auf einem sehr hohen Niveau

(*Abbildung 1*). Im Sickerwasser eines Referenzlysimeters, welches mit einem gewachsenen Boden gefüllt ist, betragen die mittleren Sulfatkonzentrationen im Zeitraum 1994 bis 2003 im Mittel 80 mg/l. Auch die Eisenkonzentrationen sind insbesondere beim Kipp-Kohlelehmsand noch nicht auf das Niveau von Hintergrundwerten zurückgegangen (*Abbildung 1*). Bei den Ammoniumkonzentrationen zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den zwei untersuchten Substraten, die auf den höheren Kohlegehalt des Kipp-Kohlelehmsandes zurückzuführen sind (*Abbildung 1*). Während beim Kipp-Lehmsand die Ammoniumkonzentrationen stetig abnehmen, stiegen sie beim Kipp-Kohlelehmsand in den ersten Jahren stark an und sind nach wie vor mit ca. 40 mg/l wesentlich höher als im Sickerwasser des Referenzlysimeters mit dem gewachsenen Boden (*Abbildung 1*).

Die jährlichen Austräge von Schwefel und Eisen, welche auf Basis der gemessenen Sickerwassermengen und Sulfat- sowie Eisenkonzentrationen berechnet wurden, übersteigen auch nach zwei Jahrzehnten regionale Hintergrundwerte deutlich: So beläuft sich z. B. der Schwefelaustrag für das vergleichsweise schwächer kohlehaltige Substrat, den Kipp-Lehmsand, auf 930 kg ha⁻¹ a⁻¹, was dem 24-fachen des Austrags aus dem gewachsenen Vergleichsboden entspricht (*Tabelle 1*). Die regionaltypischen Eisenausträge werden beim selben Substrat sogar um das 300-fache überschritten. Noch gravierendere Unterschiede zwischen Kippsubstrat und gewachsenem Boden zeigt aufgrund des höheren Kohlegehaltes der Kipp-Kohlelehmsand, bei dem die sickerwassergebundenen Eisenausträge auch zwei Jahrzehnte nach „Verkippung“ mehr als anderthalb Tausend mal so hoch sind wie für den Vergleichsboden mit neutralem pH-Wert (*Tabelle 1*).

Diskussion

Die Entsäuerung tertiärer Kippsubstrate in der ungesättigten Zone kann erst nach vollständiger Oxidation der Sulfide und Auswaschung der freien Schwefelsäure und der wasserlöslichen Hauptverwitterungsprodukte wie Eisen- und

Tabelle 1: Schwefel- und Eisenausträge aus den vier Großlysimetern mit den zwei Substratvarianten kohleführender Kipp-Lehmsand (oj-(x)ls) und Kipp-Kohlelehmsand (oj-xls). Vergleichsdaten für einen gewachsenen regionalen Boden lieferte ein Großlysimeter, welches im Jahr 1975 mit einem Acker-Braunerde-Podsol schicht- bzw. horizontweise befüllt und bis zum Jahr 2003 als Referenz zum Großlysimeterversuch betrieben wurde. Für das Jahr 22 nach Inbetriebnahme wurde für diesen Boden der Mittelwert der Jahresausträge von 1994 bis 2003 herangezogen.

Element	Substrat	Jahr seit Inbetriebnahme in 1994				
		1	4	8	22	
Schwefel	Mittelwert (kg ha ⁻¹ a ⁻¹)	oj-(x)ls	14.261	2.644	1.424	930
		oj-xls	17.984	3.630	2.466	1.410
	Standardabweichung (kg ha ⁻¹ a ⁻¹)	oj-(x)ls	125	844	313	73
		oj-xls	235	69	105	49
	Vielfaches des Braunerde-Podsols ¹	oj-(x)ls	158	147	36	24
		oj-xls	200	202	62	37
Eisen	Mittelwert (kg ha ⁻¹ a ⁻¹)	oj-(x)ls	2.665	601	215	29
		oj-xls	7.837	1.350	754	144
	Standardabweichung (kg ha ⁻¹ a ⁻¹)	oj-(x)ls	161	241	102	8
		oj-xls	552	23	124	32
	Vielfaches des Braunerde-Podsols ¹	oj-(x)ls	53.300	30.025	860	317
		oj-xls	156.740	67.475	3.016	1.594

¹ Relation zum Austrag aus dem Braunerde-Podsol, zum Beispiel 158 (oj(x)ls): 1(Braunerde-Podsol).

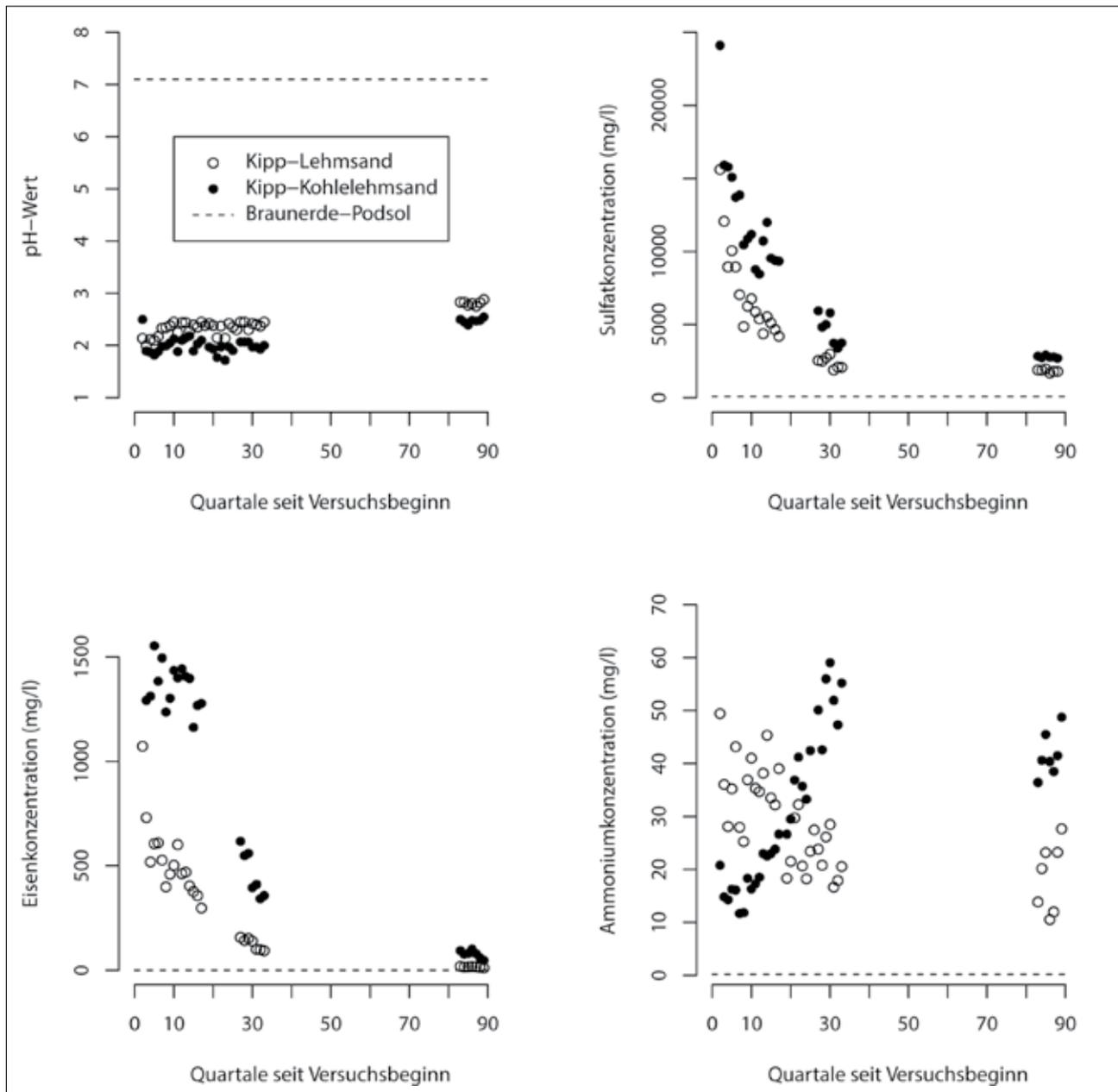


Abbildung 1: Zeitlicher Verlauf der pH-Werte sowie der Sulfat-, Eisen- und Ammoniumkonzentrationen, welche die Sickerwässer der beiden untersuchten Substrate charakterisieren. Datengrundlage sind die Mittelwerte für die zwei Wiederholungslysimeter je Substrat. Zusätzlich ist der Mittelwert für den Braunerde-Podsol (siehe Tabelle 1) dargestellt.

Aluminiumsulfate stattfinden (Katzur & Böcker 2010). Ein Andauern dieser Verwitterungs- und Austragungsprozesse in den Lysimetergefäßen wird durch die auch nach 20 Jahren Versuchsdauer immer noch sehr hohen Sulfat- und Eisenkonzentrationen belegt. Die bei niedrigen pH-Werten stattfindende Desorption von Ammonium durch höherwertige Kationen aus der Kohle (Wilden 2000) könnte die mit der Versuchsdauer zunächst sogar steigenden Konzentrationen dieser Stickstoffverbindung für den Kipp-Kohlelehm-sand erklären.

Die aktuellen Ergebnisse des Versuchs bestätigen die Prognose, dass die Säurenachlieferung verbunden mit den hohen Salzfrachten mehrere Jahrzehnte andauert (Katzur & Liebner 2000). Ein vertieftes Verständnis der zeitlichen Dynamik von Verwitterungs- und Auswaschungsprozessen

in den tertiären Substraten bedarf weiterer umfassender Analysen Lysimeterdaten.

Schlussfolgerungen

Mit pH-Werten unter 3, Sulfatkonzentrationen von 1.800-2.800 mg/l, Eisenkonzentrationen von 20-60 mg/l und Ammoniumkonzentrationen von 15-40 mg/l weisen die Sickerwässer tertiärer Kippsubstrate auch zwei Jahrzehnte nach ihrem Einbau in Lysimeter einen extremen Chemismus auf. Die bisher meist auf Hochrechnungen und Modellen basierende Aussage, dass eine bergbaubedingte Beeinflussung von Grund- und Oberflächengewässern im Lausitzer Braunkohlenrevier über mehrere Jahrzehnte andauern wird, wird durch den Langzeit-Lysimeterversuch untermauert.

Literatur

- Gast M., Haubold-Rosar M. (2003) Einfluss organischer Massenabfälle auf den N-Haushalt landwirtschaftlich rekultivierter Kippsubstrate. BAL-Bericht: 10. Gumpensteiner Lysimetertagung. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, 137-140.
- Katur J., Böcker L. (2010) Chronik der Rekultivierungsforschung und Landschaftsgestaltung im Lausitzer Braunkohlenrevier bis 1990. Weißensee Verlag, Berlin.
- Katur J., Liebner F. (2000) Sickerwasserqualität und Stoffaustrag in den Kippen des Lausitzer Braunkohlenreviers. Wasser & Boden, 52, 44-51.
- Wilden R. (2000) Beschreibung des Bodenlösungsschemismus und der Elementbilanzen von vier forstlich genutzten Kippenstandorten im Lausitzer Braunkohlerevier unter besonderer Berücksichtigung des Einsatzes von Klärschlamm und Kompost bei der Rekultivierung. Cottbuser Schriften zu Bodenschutz und Rekultivierung, Bd. 12.