

Modell zum Wasser- und Stoffhaushalt eines landwirtschaftlich genutzten Kippenbodens in dem Braunkohlentagebau Espenhain

F. REINSTORF, A. GEISLER, M. ABO-RADY, S. KRÜGER und W. WALTHER

Zusammenfassung

Mit Hilfe des Modells WAVE werden mehrjährige Beobachtungsdaten einer Boden - Klima - Station auf der Braunkohlenkippe Espenhain in Mitteldeutschland ausgewertet. Es werden die Sickerwassermengen und die Stoffverfrachtungen von NO_3^- , SO_4^{2-} und Al^{3+} quantifiziert. Mit dem geeichten und verifizierten Modell werden Szenarien mit unterschiedlichen Ackerfrüchten simuliert und der Einfluss auf die Sickerwassermenge aufgezeigt. Die ermittelte durchschnittliche jährliche Versickerung für den Zeitraum 1994 - 97 beträgt 162 mm, die Verfrachtungen von Sulfat und Nitrat erreichen 2124 bzw. 332 kg/ha. Damit ist die Stoffbilanz des Standortes hinsichtlich der genannten Substanzen negativ.

Abstract

With the help of the model WAVE observation data of a 4-years time series of a soil - climate - station has been evaluated. The station was situated on a tip of the lignite open-cast mining in Central Germany nearby the city of Leipzig. The percolation water amount and the substance transport of nitrate, sulfate and aluminium are quantified. With the calibrated and verified model scenarios with different field fruits are simulated and the influence on the percolation water amount are shown. The estimated yearly average of the percolation water amount of the time series 1994 - 97 amounts to 162 mm, the substance transport of sulfate and nitrate reached an amount of 2124 bzw. 332 kg/ha. Therefore there is a negative substance balance of the location.

1. Einleitung

Die vom mitteldeutschen Braunkohlenbergbau hinterlassenen Kippenflächen

werden mit großem Aufwand sachgerecht rekultiviert. Generelle Forderungen des Bodenschutzes beziehen sich dabei u.a. auf:

- das Wiederherstellen und dauerhafte Erhalten der Bodenfruchtbarkeit
- die Verbesserung der Filter- und Puffereigenschaften des Bodens und
- die Vermeidung und Begrenzung des Schadstoffeintrages (Schwermetalle und Organika)

Über den Wasserhaushalt dieser gestörten Substrate ist jedoch bisher wenig bekannt. Noch größere Wissenslücken bestehen hinsichtlich des Stoffhaushaltes. Dabei sind von besonderem Interesse die Nährstoffauswaschungen aus der oberen Bodenzone und die Mobilisierungen von Sulfat und Aluminium. Zur Beobachtung der Vorgänge betrieb das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie auf der Kippe Espenhain im Zeitraum 1994 bis 1998 eine Boden - Klima - Station.

Das Ziel der hier vorgestellten Arbeiten war die Auswertung und die Interpretation der verfügbaren Messdaten der Wasser- und Stoffflüsse sowie die Untersuchung von Änderungen der Sickerwassermenge in Abhängigkeit von der Art der landwirtschaftlichen Bodennutzung. Für die Simulationen sollte das Modell WAVE [10] auf den Standort Kippe Espenhain angewendet werden.

2. Material und Methoden

2.1 Standortbeschreibung

Die Boden - Klima - Station am Standort des ehemaligen Braunkohletagebaus Espenhain befindet sich in der Leipziger Bucht etwa 12 km südlich der Stadt Leipzig. Die Flurkippe ist eben. Der Grundwasserspiegel liegt derzeit bei

23 m u. GOK. Der durchschnittliche langjährige Jahresniederschlag beträgt 590 mm/a und die Lufttemperatur 8,7 °C. Die Kippsubstrate am Untersuchungsstandort setzen sich aus pleistozänem Geschiebelehm, Geschiebemergel und Schmelzwassersand zusammen, die bis zu einer Mächtigkeit von ca. 80 cm über tertiärem kohlehaltigen Lehmsand als Rekultivierungsschicht aufgebracht wurden. Die Bodenform wird als Pararendzina aus Kipp - Kalksandlehm über tiefem Kipp - Kohlelehmsand angesprochen. Das Kippengelände ist als Flurkippe über Absetzer- und Brückenkippe ausgebildet. Seit der Urbarmachung der Kippe im Jahr 1965 wurde sie landwirtschaftlich bewirtschaftet und ab 1994 als Grünlandbrache genutzt, die einmal im Jahr gemäht wird. Im Jahr 1990 wurden ca. 30 t Klärschlamm pro ha aufgebracht. Bedingt durch pH-Werte bis unter 2,5 im tertiären Unterboden endet an der Grenze zwischen pleistozäner und tertiärer Bodenschicht die Durchwurzelung. Dieses stark saure Milieu basiert auf der Verwitterung von Pyrit und hat unter anderem hohe Auswaschungen von anorganischen Schadstoffen und Sulfat zur Folge, wie die Ergebnisse im Abs. 3.1 zeigen.

2.2 Beschreibung des Modells WAVE

Das angewendete Simulationsprogramm WAVE [10] ist ein mathematisches Modell zur Beschreibung des 1D-Transportes und der Umsetzung von Wasser, Agrochemikalien und Wärme im wasserungesättigten Boden. Das Modell erlaubt die Berücksichtigung beliebig vieler Substratschichten. Diese Substratschichten werden wiederum in eine beliebige Anzahl sogenannter Kompartimente untergliedert in deren Mittelpunkt die Ri-

Autoren: Dr. Frido REINSTORF, Dipl.-Ing. Andreas GEISLER und Univ. Prof. Dr. Wolfgang WALTHER, Technische Universität Dresden, Institut für Grundwasserwirtschaft, D-01062 DRESDEN, Dr. Mustafa ABO-RADY und Dipl. Forst. Ing. Sebastian KRÜGER, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Halsbrückerstraße 31a, D-09599 FREIBERG

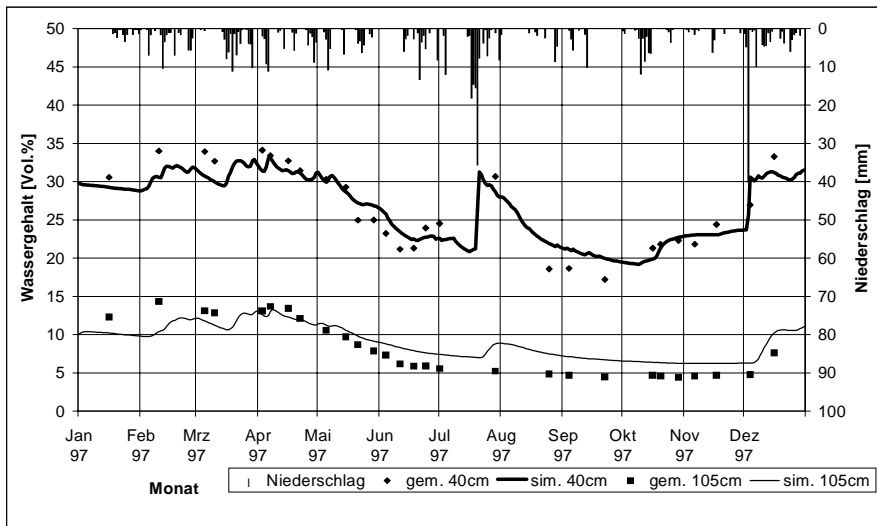


Abbildung 1: Vergleich simulierter und gemessener Wassergehalte im Eichzeitraum 1997 für die Kippe Espenhain.

chards - Differentialgleichung mit Hilfe der Methode der finiten Differenzen gelöst wird. Der Berechnungszeitschritt kann kleiner als ein Tag gewählt werden. Dies ist bei Prozessen mit hoher Dynamik, wie z.B. der Wasserbewegung, nützlich, um den Massenbilanzfehler, der bei der Lösung der Wassertransport - Gleichung im Tagesschritt auftritt, gering zu halten. Ein weiterer Fehler resultiert aus der expliziten Linearisierung der differentiellen Wasserkapazität. Er wird durch die Verwendung des Newton - Raphson - Verfahrens reduziert.

Die Eingangswerte des Modells sind die meteorologischen Daten Niederschlag, tägliches Minimum und Maximum der Lufttemperatur, potentielle Evapotranspiration und Globalstrahlung. Diese

Daten müssen in der zeitlichen Auflösung eines Tages vorliegen. Die Bodenhorizonte werden durch die Parameter der Saugspannungs - Wassergehalts - Kurve (SWK) und durch die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit (k_f -Wert) charakterisiert.

2.3 Modelleingangsdaten und Modellanwendung

Die Modellierung für den beschriebenen Standort erfolgte für den Simulationszeitraum 01.01.94 - 20.09.98 und erfasst eine Teufe von 3 m. Zur Charakterisierung des Substratprofils wurden für 4 Horizonte jeweils 3 SWK - Wertepaare, Porenvolumina und k_f -Werte ausgewertet. Auf der Grundlage aller gemessenen SWK-Werte wurden, mit dem Pro-

Tabelle 1: Schichtenaufbau und bodenphysikalische Eingangsparameter für die Kippe Espenhain.

Nr. der Schicht	Mächtigkeit der Schicht [m u. GOK]	Sättigungswassergehalt (θ_s) [cm ³ /cm ³]	Restwasser-gehalt (θ_r) [cm ³ /cm ³]	gesättigte hydraulische Leitfähigkeit (k_f) [cm/d]
1	0,00 - 0,20	0,39	0,02	480
2	0,20 - 0,30	0,42	0,12	505
3	0,30 - 0,85	0,39	0,08	50
4	0,85 - 3,00	0,33	0,04	600

Tabelle 2: Jahressummen des Niederschlages, der Verdunstung und Versickerung sowie Anteil der Versickerung vom Niederschlag auf der Kippe Espenhain.

Jahr	Niederschlag [mm]	Verdunstung [mm]	Versickerung [mm]	Anteil Versickerung am Jahresniederschlag [%]
1994	729	491	238	33
1995	766	544	222	29
1996	545	476	69	13
1997	617	500	117	19
Mittelwert	664	503	162	24

gramm SHYPPFIT [3], die optimalen SWK der einzelnen Bodenhorizonte ermittelt. Tabelle 1 verdeutlicht den Schichtaufbau und wesentliche bodenphysikalische Parameter, die Eingang in das Modell fanden. Die Klimadaten Niederschlag und potentielle Evapotranspiration nach PENMAN wurden zu Tagessummen zusammengefasst. Sie basieren auf Loggerdaten der Intensivmessfläche aus 200 cm und 40 cm Höhe und entsprechen der Empfehlung des DVWK [4] bzw. der Niederschlags - Korrektur nach [9]. Außerdem wurden Korrekturen bei Bodenfrost sowie Schneedeckenaufgabe eingearbeitet.

Um eine Wasserhaushaltsbilanzierung mit Versickerungsanteil zu ermöglichen, musste die Modellierung ganzjährig auch Bereiche unterhalb der hydraulischen Wasserscheide erfassen. Dies ist bei einer Profiltiefe von 3 m ganzjährig gegeben.

Die für das Jahr 1997 vollständig vorliegenden Zeitreihen der Saugspannung für Teufen unter 40 cm bildeten die Grundlage für die Eichung des Modells. Zur Überprüfung der Genauigkeit der Eichung wurden diese Werte mit den Simulationen verglichen. Da die Eichung an den Messdaten aus verschiedenen Tiefen (40 cm und 105 cm) überprüft wurde, besteht die Gewähr, dass das Modell optimal an die Wasserhaushaltsprozesse innerhalb des Profils angepasst ist. Abbildung 1 zeigt beispielhaft die gemessenen und simulierten Wassergehalte im Jahr 1997 in den Teufen 40 cm und 105 cm.

Anhand der Ganglinien der im gesamten Simulationszeitraum gemessenen Wassergehalte und Tensionen erfolgte die Verifikation des Modells. Dabei sind die Eichparameter nicht mehr verändert worden. Im folgenden Kapitel werden ausgewählte Ergebnisse der Modellsimulation vorgestellt.

3. Ergebnisse

3.1 Wasser- und Stoffhaushalt im Beobachtungszeitraum

In Tabelle 2 werden die Jahressummen des Niederschlages, der realen Verdunstung und der Versickerung in 3 m Tiefe für den Simulationszeitraum zusammengefasst. Die ermittelten Sickerwasser-

Tabelle 3: Verfrachtung von Nitrat, Sulfat und Aluminium in 140 cm Tiefe auf der Kippe Espenhain.

Quartal	SW-Menge [mm]	NO ₃ ⁻ Konz. [mg/l]	NO ₃ ⁻ Verfracht. [kg/ha]	SO ₄ ²⁻ Konz. [mg/l]	SO ₄ ²⁻ Verfracht. [kg/ha]	Al ³⁺ Konz. [mg/l]	Al ³⁺ Verfracht. [kg/ha]
IV/96	41,5	245,0	101,7	1.528,7	634,4	8,7	3,6
I/97	67,7	250	169,3	1.500,0	1.015,5	-	-
II/97	37,8	151,4	57,2	1.187,5	448,9	5,3	2,0
III/97	1,5	230,2	3,5	1.674,7	25,1	8,0	0,1
	148,5 ¹⁾	219,2 ²⁾	331,7 ³⁾	1.472,7 ³⁾	2123,9 ³⁾	-	-

SW = Sickerwasser, ¹⁾ Summe, ²⁾ Mittelwert

mengen stimmen mit den Beobachtungswerten von [2] und [6] (beide anhand von Felduntersuchungen) sowie von [7] (anhand von Lysimetermessungen) gut überein.

Auf der Intensivmessfläche wurden vom Herbst des Jahres 1996 bis August 1997 mehrere Sickerwasserproben gewonnen und Stoffkonzentrationen ermittelt. Für die Stoffe Nitrat, Sulfat und Aluminium wurden Verfrachtungsberechnungen durchgeführt. Dabei wurde die zu einem bestimmten Zeitpunkt gemessene Stoffkonzentration mit dem simulierten Sickerwasserfluss des Messzeitraumes in den zugehörigen Tiefen multipliziert und so teufenbezogene Stofffrachten, zusammengefasst zu Jahresquartalen, berechnet. Da in den ersten Wintermonaten des Jahres 1997 keine Bodenlösung gewonnen werden konnte, jedoch eine Jahresbilanzierung der Stoffverfrachtungen wünschenswert ist, wurden die Stoffkonzentrationen von Nitrat und Sulfat für das 1. Quartal 1997 geschätzt (bei Aluminium gab es zu hohe Unsicherheiten, weshalb auf eine Schätzung verzichtet wurde) und Frachtmengen für den untersten mit Messwerten belegten Horizont errechnet (Tabelle 3). Es ist allerdings zu beachten, dass Sickerwassermengen in einer Tiefe von 140 cm zu-

mindest in einigen Sommerwochen noch der Beeinflussung der Verdunstung unterliegen können (vgl. z.B. [8]). Die Ergebnisse zeigen hohe Frachten sowohl an Nitrat als auch an Sulfat, insbesondere in den tertiären Substraten des Unterbodens. Dies ist im Falle des Nitrates durch die Klärschlammaufbringung und beim Sulfat durch die immer noch intensive Pyritoxidation zu erklären (vgl. [5], [6]).

3.2 Szenariobetrachtungen

Nach der erfolgreichen Eichung und Verifizierung wurde das Modell für Szenariountersuchungen verwendet. Das Simulationsprogramm WAVE erlaubt, unterschiedliche klimatische Verhältnisse und Vegetationssituationen bei konstanten oder variablen bodenphysikalischen Kennwerten zu berücksichtigen. Für eine vergleichende Analyse wurden für den Zeitraum Januar bis Dezember 1997 die Bewuchsarten Sommerweizen und Kartoffeln der auf der Bergbaufläche vorhandenen Grünlandbrache gegenübergestellt. Somit mussten die tatsächlichen klimatischen Verhältnisse, die bodenphysikalischen Kennwerte und die Anfangsbedingungen der Simulationen konstant gehalten werden. Die sich im Jahresverlauf unterschiedlich entwi-

ckelnde Sickerwassersituation in 3 m Tiefe verdeutlichen die Summenkurven in *Abbildung 2*. Besonders die Zeiten der Frühjahrs- und Herbstbrache bei Weizen- und Kartoffelanbau zeigen vergleichsweise hohe Sickerwassermengen. Außerdem verzögert der höhere Wasserbedarf der Kartoffeln im Vergleich zum Weizen die Herbstsickerung.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Die zur Verfügung stehende Datenbasis der Boden - Klima - Station bietet eine gute Grundlage zur Modellierung des Wasser- und Stoffhaushaltes mit dem Modell WAVE. Im Rahmen der Eichung und Verifizierung konnte gezeigt werden, dass das Modell den Anforderungen des vertikal stark heterogenen Substratprofils gerecht wird. So konnte die Simulation der Wassertransportprozesse und die Ermittlung der Stoffverfrachtung durchgeführt werden. Weiterhin konnten Szenarien zu Auswirkungen von Änderungen der Bewirtschaftung des Kippenstandortes auf die Sickerwassermenge untersucht werden. Der in den Szenariobetrachtungen durchgeführte Vergleich der unterschiedlichen Bewuchsarten ist dahingehend fortführungsfähig, dass fachgerecht abgestimmte Fruchtfolgen über mehrere Jahre hinweg simuliert werden. Das Ziel könnte z.B. eine langfristige Minimierung der Sickerwassermenge und der damit verknüpften Stoffauswaschungen bei landwirtschaftlichem Marktfruchtanbau sein.

Die hinsichtlich ihrer Substratausstattung ausgesprochen heterogenen Kippenböden der Kippe Espenhain [1] erschweren eine Übertragung der Berechnungsergebnisse auf die gesamte Kippe. Insbesondere betrifft dies die Stoffauswaschung. Die Auswirkungen der Substratheterogenität auf Wasser- und Stoffhaushalt sind nicht ausreichend bekannt. Für eine fundierte Regionalisierung müssten deshalb weitere Simulationen mit Modellparametern benachbarter Standorte durchgeführt werden.

5. Literatur

[1] ABO-RADY, M. und A. WEISE, 1994: Kippsubstratarten von Neulandböden in den Braunkohlenrevieren Sachsens i. M. 1:10 000, 98 Blätter. - Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Bereich Boden und Geologie, Freiberg.

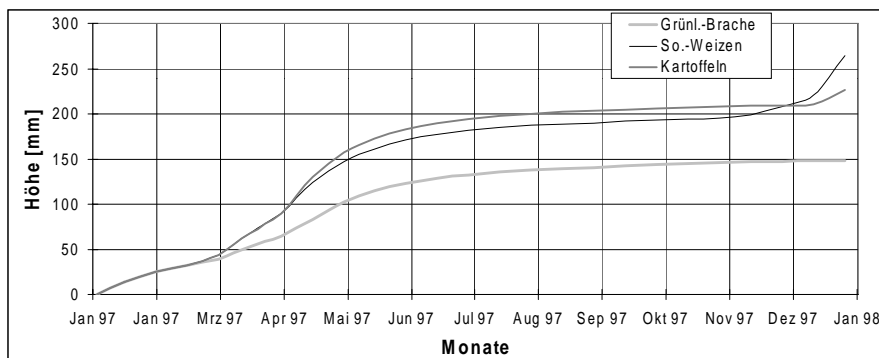


Abbildung 2: Vergleich der Sickerwassersummenlinien der simulierten Bewuchsarten für die Kippe Espenhain.

- [2] BRÄUNIG, A., 2000: Entwicklung forstlich rekultivierter sowie renaturierter Böden und Simulation ihres Wasserhaushaltes in der Mitteldeutschen Braunkohlen-Bergbaufolgelandschaft, Diss., TU Bergakademie Freiberg.
- [3] DURNER, W., 1994: SHYFIT User's Manual, Draft Version 0.2. April 11, Research Report 93.11, Soil Physics, ITOE, ETH Zürich, Switzerland
- [4] DVWK-Merkblätter, 1996: Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. Heft 238, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn
- [5] HORNBY, W.J., K.W. BROWN und J.C. THOMAS, 1986: Nitrogen mineralisation potentials of revegetated lignite overburden in the Texas Gulf Coast. Soil Sci. Soc. Am. J. 50, 1691- 1698.
- [6] KATZUR, J. und F. LIEBNER, 1997: Stofffrachten der Sickerwässer und Entwicklung des Entsorgungspotentials landwirtschaftlich genutzter Kippböden. Abschlussbericht zum BMBF - Forschungsvorhaben 0339393, Finsterwalde, 1-159.
- [7] KNAPPE, S., U. HAFERKORN, R. RUSSOW, J. MATTUSCH und R. WENNRICH, 1999: Lysimeteruntersuchungen zum Wasser- und Stoffhaushalt eines langjährig landwirtschaftlich genutzten Regosols von der Kippe des Braunkohlentagebaus Espenhain im Südraum Leipzig. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Bd. 91, Heft 2.
- [8] REINSTORF, F. und U. KEESE, 1999: Parametergewinnung und physikalisch begründete Modellierung zur Beschreibung der Sickerwasserbewegung am Beispiel eines Lysimeters der Station Brandis. Mitteilungen der GSF Neuherberg.
- [9] RICHTER, D., 1995: Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Messfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers. Berichte des Deutschen Wetterdienstes.
- [10] VANCLOOSTER, M., J. VIAENE, J. DIELS und K. CHRISTIAENS, 1994: WAVE (a mathematical model for simulating water and agrochemicals in the soil and vadose environment). Reference & user's manual (release Management, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium. 2.0), Institut for Land and Water Management, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium.