

Digitale Bildverarbeitung als Hilfsmittel zur Quantifizierung von bevorzugten Fließwegen in der ungesättigten Zone

W. BERG, A. LEIS und J. FANK

Abstract

Because of the importance of macropores to solute transport during high intensity rainfalls, this study tries to quantify the flux that bypasses the matrix. At eight plots a high precipitation rate of 40 mm was simulated with Brilliant Blue FCF as a dye tracer and Bromide as a conservative tracer. One day after irrigation the plots were excavated and six profiles per site were photographed. Furthermore soil samples were taken off the stained surface. Then the dye was extracted from the samples and the visualisation and quantification of the flowpaths followed according to the Brilliant Blue FCF and Bromide concentrations, which showed an enormous heterogeneity.

Einleitung

Die Fließwege im Boden sind in den meisten Fällen sehr unregelmäßig. In gut strukturierten, lehmigen, tonigen Böden kann sich das Wasser entlang von Rissen bewegen, wohingegen es bei strukturlosen, sandigen Böden zu einem Instabilwerden der Feuchtefront und einem schnellen Vordringen einzelner Finger kommen kann. Diese bevorzugten Fließwege sind gewöhnlich eher die Regel als die Ausnahme. Als Indiz für solch eine rasche Verfrachtung kann das Auftreten von Pestiziden, die normalerweise stark an der Matrix adsorbiert werden, im Grundwasser gelten. Ziel dieser Arbeit ist es, den Makroporenfluß zu quantifizieren und zu untersuchen, ob sich zwischen diesem und den Bodenformen aus verschiedenen Kartierungen ein Zusammenhang erschließen läßt.

Untersuchungsgebiet

Die Versuchsfläche Wagna liegt auf der tieferen Flur der Niederterrasse (Würm) des westlichen Leibnitzer Feldes und ist von einem mächtigen Kieskörper aufgebaut, der durch eine unruhige wellige

Oberfläche gekennzeichnet ist. Daraus ergibt sich eine sehr engräumige Schwan- kung der Gründigkeit der nivellierend darüberliegenden lehmig-sandigen, silikatischen Braunerdedeckschichten.

Die Standorte für die Markierungsversuche, die alle auf landwirtschaftlichen Nutzflächen liegen, wurden anhand einer Bodenformendetailkartierung und der fiskalischen Bodenschätzung ausgewählt: auf jeder Bodenform sollten zwei Versuche durchgeführt werden, die sich aber durch den in der Bodenschätzung ausgewiesenen Grobanteil unterscheiden sollten (siehe *Abbildung 1*).

Verwendete Tracer

Als Farbstoff wurde Brilliant Blau FCF verwendet, da sich seine gute Eignung

schon bei einigen Versuchen (FLURY et al., 1994) gezeigt hatte. Der eingesetzte Farbstofftracer ist durch seine intensive Farbe im Boden gut erkennbar, besitzt eine hohe Mobilität und ist in den angewandten Dosen nicht toxisch. Für Brilliant Blau FCF (C₃₇H₃₄N₂Na₂O₉-S₃, C.I. 42090) (siehe *Abbildung 2*) sind auch die Namen C.I. Food Blue 2 und Vitasyn AE 85 in Verwendung; als Lebensmittelzusatz hat es die Bezeichnung E133. Als zweiter Tracer wurde Lithiumbromid verwendet, um die Ausbreitung der Farbe mit einem bekannten, konservativen Markierungsstoff vergleichen zu können.

Arbeiten im Gelände

Zur Besprühung der Versuchsflächen wurde die Anlage von THEURETZBA-

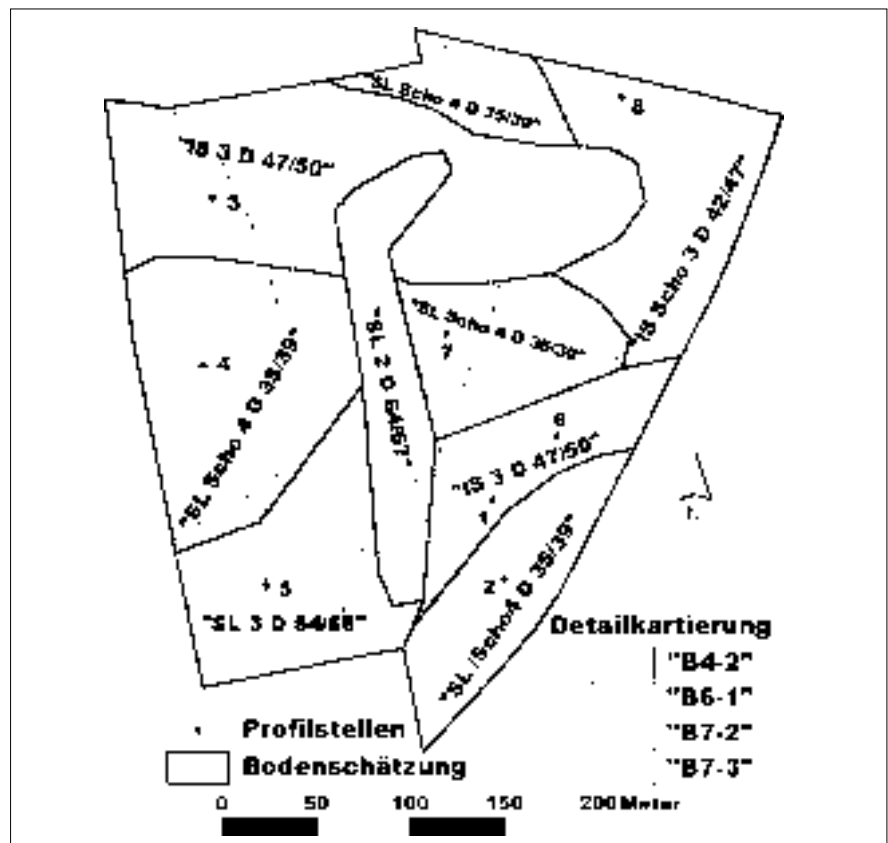


Abbildung 1: Bodenformen und Versuchstandorte

Autoren: Wilhelm BERG, Dr. Albrecht LEIS und Dr. Johann FANK, Joanneum Research, Institut für Geothermie und Hydrogeologie, Elisabethstraße 16/II, 8010 GRAZ

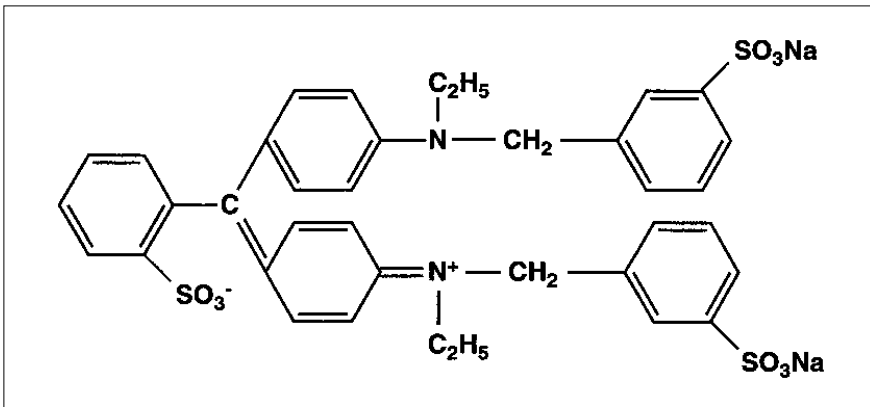


Abbildung 2: Chemische Struktur von Brilliant Blau FCF

CHER (THEURETZBACHER, 1997) übernommen, die eine weitgehend gleichmäßige Beregnung einer Fläche von etwa 1,4 x 1,4 m zulässt.

Unmittelbar vor der Beregnung wurden 80 l Grundwasser aus einem auf dem Versuchsgelände gelegenen Brunnen gepumpt und mit 1 kg Brilliant Blau und 30 g Lithiumbromid versetzt. Diese Menge wurde intermittierend in 80 bis 120 min aufgebracht; dies ergab eine effektive Beregnungszeit von 35 min bis 56 min mit einer Niederschlagsintensität von 40 mm. Niederschlagsereignisse dieser Größenordnung treten in diesem Gebiet an 1,4 Tagen pro Jahr ein (FANK et al., 1993).

Innerhalb der folgenden 24 Stunden wurden jeweils 6 Profile im Abstand von 20 cm pro Versuchsstandort erschlossen.

Zur photographischen Aufnahme wurde die Profilgrube mit weißem Tuch ausgelegt, einer Plane abgedeckt und darunter mit zwei 800 Watt starken Scheinwerfern künstlich beleuchtet. Trotz dieser Maßnahmen war eine absolut homogene Beleuchtung der Profile nicht möglich. Um eine spätere Bearbeitung der Aufnahmen zu gewährleisten, wurde auf dem Profil ein selbst konstruierter Rahmen plaziert, der neben einem Maßstab auch noch mit geeichten photographischen Graukarten bestückt war.

Danach wurden aus den gefärbten Teilen der Matrix mehrere Proben mit einer Masse zwischen 1,5 g und 2,5 g entnommen.

Arbeiten im Labor

Im Labor wurden die Proben auf 1 g eingewogen und bei 105°C 24h lang ge-

trocknet. Nach neuerlichem Wiegen (zur gravimetrischen Bestimmung des Feuchtegehaltes) wurden 8 ml einer wässrigen Acetonlösung (Aceton/Aqua dest. 1/4 v/v) (FORRER, 1997) beigegeben, um den Farbstoff zu eluieren. Das Eluat wurde dann mit einem 0,45 µm Filter gefiltert und der Farbgehalt photometrisch bei einer Wellenlänge von 408,6 nm gemessen. Weiters wurden alle Proben ionenchromatographisch auf ihren Gehalt an Chlorid, Bromid, Nitrat und Sulfat untersucht. Die hohe Übereinstimmung zwischen den Konzentrationen von Brilliant Blau FCF und Bromid läßt den Farbstoff durchaus als geeigneten Tracer erscheinen.

Digitale Bildverarbeitung

Die digitalisierten Aufnahmen wurden in ein Geographisches Informationssystem, das vor allem für Satelliten- und Luftbildauswertung konzipiert ist, importiert und eine Entzerrung anhand von 40 GCPs (Ground Control Points) vorgenommen, um eine flächentreue Abbildung zu erhalten. Die ungleichmäßige Beleuchtung (siehe dunkle Bereiche links unten in *Abbildung 3*) wurde ausgeglichen, indem das, in Rot-, Grün- und Blaubene vorliegende Bild in IHS Werte (Intensity, Hue, Saturation) umgewandelt und aus den Pixelwerten der photographischen Graukarten des I-Layers mit Hilfe einer Polynomfunktion zweiter

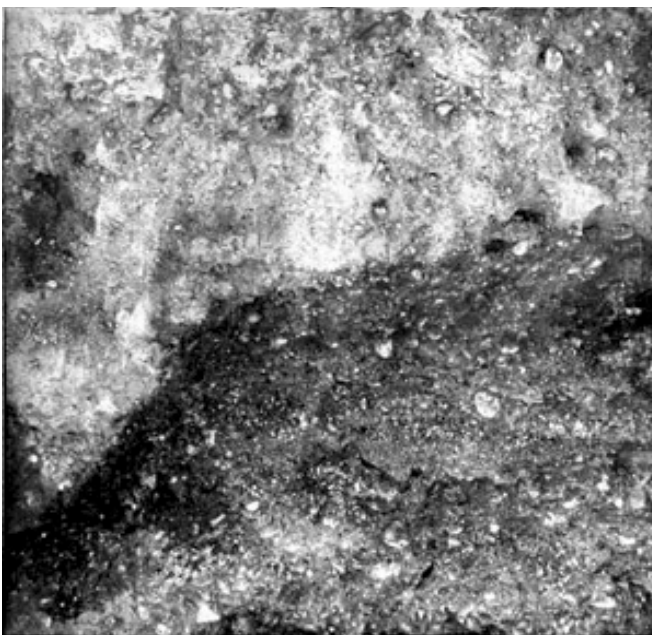


Abbildung 3: Entzerrtes, aber in der Belichtung noch nicht korrigiertes Profil 7-2

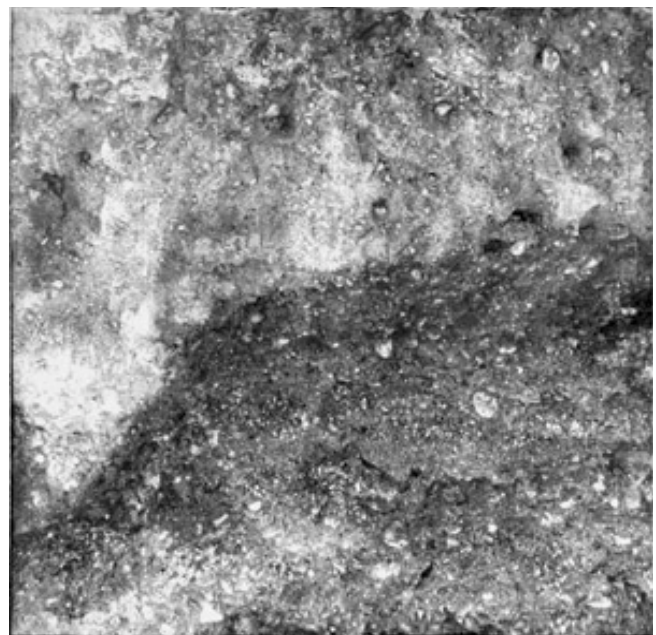


Abbildung 4: Korrigiertes Profil 7-2

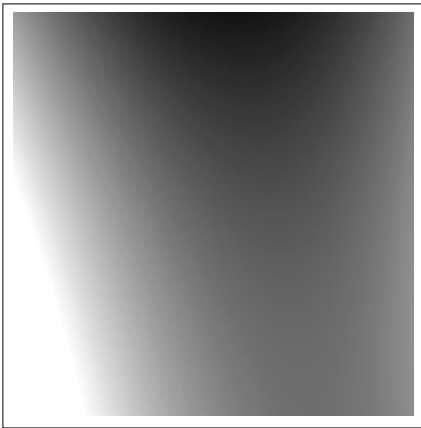


Abbildung 5: Backgroundimage zur Beleuchtungskorrektur des Profils 7-2

Ordnung ein „Backgroundimage“ (RUSS, 1995) errechnet (siehe *Abbildung 5*) und mit dem Ausgangs-I-Layer verschnitten wurde. Der so korrigierte Helligkeitlayer wurde wieder mit den H und S-Ebenen zusammengesetzt und in ein RGB-Bild rückkonvertiert. Anhand der gemessenen Farbkonzentrationen der Bodenproben und den Pixelwerten der Farbebenen konnte nun eine Klassifizierung und Quantifizierung der Farbmuster durchgeführt werden, die in mg Brilliant Blau FCF pro g getrocknetem Boden angegeben wurde.

Ergebnisse

Besonders eindrucksvolle Effekte waren bei Böden mit einem höherem Schluffanteil zu beobachten: die obersten Bodenschichten waren zumeist homogen gefärbt, im Bereich bis zum unterlagernden Schotter fand sich der Farbstoff oft nur in Makroporen biogenen Ursprungs, während gleichzeitig das darunterliegende Grobmaterial nahezu über die gesamte Profildbreite gleichmäßig mit dem Tracer erfüllt war. Auch die Eindringtiefen des Tracers waren teilweise überraschend hoch. So ließ sich beispielsweise an einem Versuchsstandort der Farbstoff nach nicht einmal 24h Eindringzeit bis in eine Tiefe von über 1.7 m nachweisen. Bei den stärker schluffigen Böden traten die Makroporeneffekte besonders deutlich hervor. Allerdings ist auch bei den sandigeren Böden in den mei-

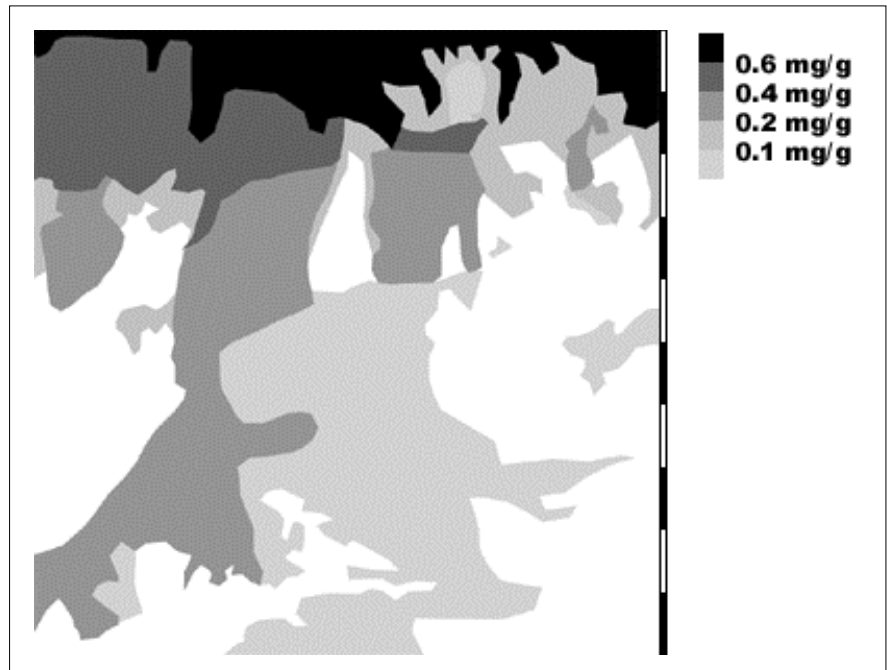


Abbildung 6: Mit BB FCF-Konzentrationen quantifiziertes Profil 7-2

sten Fällen kein gleichmäßiges Vordringen der Feuchtefront gegeben (siehe *Abbildung 6*). Dies verdeutlicht, daß unter bestimmten Bedingungen das Vordringen des Sickerwassers im Bodenprofil wesentlich schneller vor sich gehen kann als oft angenommen. Auch wenn die Arbeit unter anderem gezeigt hat, daß eine direkte Korrelation zwischen Bodenform und auftretenden Makroporeneffekten nicht zulässig ist, da noch mehrere andere Aspekte (Biomasseverteilung im Profil, Durchwurzelung, Bewirtschaftungsform der letzten Jahre, ...) eine wichtige Rolle spielen, ist der Ansatz bei der Bodenform dennoch ein gute Ausgangsbasis für tiefergehende Untersuchungen.

Trotz des relativ hohen Aufwandes hat sich die digitale Bildverarbeitung als sehr gute und genaue Ergänzung zur Profilerhebung im Gelände erwiesen, da selbst nach geometrischer Korrektur und Auflösungsreduzierung ein Pixel im digitalen Bild etwa 0.25 mm² in der Realität entspricht.

Literatur

FLÜHLER, H., M. FLURY, W.A. JURY, J. LEUBENBERGER, K. ROTH und B. STUDER,

1994: Pesticide Transport through Unsaturated Field Soils: Preferential Flow. A research report submitted to Ciba Ltd. Schlieren.

THEURETZBACHER, H., 1997: Makroporosität und präferentielle Fließbewegung in der wasserungesättigten Zone des Kleinzugsgebietes Höhenhansl/Pöllau. Diplomarbeit am Inst.f.Geographie, K.F. Univ. Graz.

FANK, J., A. JAWEKI, H.P. NACHTNEBEL und H. ZOJER, 1993: Hydrogeologie und Grundwassermodell des Leibnitzer Feldes. 1. Teil: Bericht. Berichte der wasserwirtschaftlichen Planung. Bd 74/1. Graz, Wien.

FORRER, I., 1997: Solute Transport in an Unsaturated Field Soil: Visualisation and Quantification of flow patterns using Image Analysis. Diss. ETH No. 12476. Zürich.

RUSS, J. C., 1995: The Image Processing Handbook. CRC Press, Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokyo.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde durch das BMWV und das BMLF im Rahmen des Forschungsvorhabens „Entwicklung, Validierung und Umsetzung von Regionalisierungsverfahren zur Entwicklung flächendeckender Informationen über Grundwasser; über Grundwasserneubildung und Stoffbefrachtung aus punktuellen Modellberechnungsergebnissen“ gefördert.

