

BAND/VOLUME 56, JAHRGANG/ISSUE 2007/08

J. FANK & Ch. LANTHALER (Hrsg.): Diffuse Einträge in das Grundwasser: Monitoring – Modellierung – Management. Landwirtschaft und Wasserwirtschaft im Fokus zu erwartender Herausforderungen. Publikation zur internationalen MMM-Konferenz vom 29. bis 31. Jänner 2007 in Graz (Steiermark, Österreich).

Inhalt

- A. BERNSTEINER, M. CASPER, A. DALLA-VIA, J. FANK, G. FASTL, F. FEICHTINGER, A. GOBIET, A. HEUER, M. HÖFFERER, K. ISERMANN, R. ISERMANN, H. KÖSTENBAUER, H. KUPFERSBERGER, Ch. LANTHALER, J. MAßWOHL, F. PRETTENTHALER, J. ROBIER, G. ROCK, H. TRUHETZ & Th. ÜBLEIS:
Grundwasserverträgliche ackerbauliche Bewirtschaftungsformen über seichtliegenden gering mächtigen Grundwasserleitern
Groundwater Protective Agricultural Cropping Systems above Low Lying Aquifers of Shallow Depth
- W. BERGER, N. BÖTTCHER, W. DURNER, J. FANK, S. C. IDEN, U. JANSEN, Ch. LANTHALER, P. MALOSZEWSKI, Th. PÜTZ, Th. REIMANN, G. ROCK, H. RÜTZEL, M. SCHEITHAUER, I. SCHEUERING, A. STEINS, E. STENITZER, W. STICHLER, C. STUMPP, G. VON UNOLD & H. VERECKEN:
Lysimeter – ein Werkzeug zur genauen Erfassung von Wasser- und Stoffkreislaufparametern
Lysimeter – a Tool for Precisely Determining Water and Nutrient Balance Parameters
- L. ALLETTO, M. BACH, B. BEUDERT, A. P. BLASCHKE, L. BREUER, St. BÜRGER, M. CASPER, Y. COQUET, P. VAN DIJK, U. FRANKO, H.-G. FREDE, H. FRIESE, M. GEBEL, H. GÖMANN, N. GRAVELINE, J. GRIMM-STRELE, K. GRUNEWALD, Th. GUDERA, D. GUTKNECHT, St. HALBFASS, St. HANNAPPEL, M. KAISER, B. KLÖCKING, S. KNOBLAUCH, Ch. KONRAD, St. KORTE, P. KREINS, H. KROISS, R. KUNKEL, Ch. LABAT, H. LAMBRECHT, R. LIEDL, M. PÄTSCH, V. PRASUHN, I. PRUTZER, M. PUHLMANN, Th. REIMANN, Ch. SCHILLING, J. O. SKØIEN, E. SPIESS, F. SUCKOW, B. SZYSKA, J. ULLRICH, K. B. VACHÉ, H.-J. VOIGT, W. WALTHER, R. WELL, F. WENDLAND, R. WOLTER, M. ZESSNER & M. ZWEIG:
Diffuse Einträge in das Grundwasser – internationale und regionale Studien
Diffuse Inputs into the Groundwater – International and Regional Studies

Autorenverzeichnis

R. BENISCHKE: Buchbesprechung

R. BENISCHKE: Buchbesprechung

A. BERNSTEINER, M. CASPER, A. DALLA-VIA, J. FANK, G. FASTL, F. FEICHTINGER, A. GOBIET, A. HEUER, M. HÖFFERER, K. ISERMANN, R. ISERMANN, H. KÖSTENBAUER, H. KUPFERSBERGER, Ch. LANTHALER, J. MAßWOHL, F. PRETTENTHALER, J. ROBIER, G. ROCK, H. TRUHETZ & Th. ÜBLEIS:

Grundwasserverträgliche ackerbauliche Bewirtschaftungsformen über seichtliegenden gering mächtigen Grundwasserleitern
Groundwater Protective Agricultural Cropping Systems above Low Lying Aquifers of Shallow Depth

Schlüsselwörter: Landwirtschaft, Grundwasserschutz, Bodenwassermodellierung, Grundwassermodellierung, Versuchsfeld Wagna

Keywords: agriculture, groundwater protection, soil water modelling, groundwater modelling, test site Wagna

Zusammenfassung (J. FANK, Zusammenstellung)

Seicht liegende gering mächtige Grundwasserleiter stellen aufgrund ihrer leichten Erschließbarkeit für die Wassergewinnung eine wesentliche Basis für die Trinkwasserversorgung im kommunalen und regionalen Maßstab dar. Aufgrund der oft gut durchlässigen und gering mächtigen Böden und Deckschichten stellt die intensive ackerbauliche Bewirtschaftung ein Risiko für die Grundwasserqualität dar.

Gerade in den Tallandschaften ist die Landwirtschaft ein bedeutender Betriebszweig in der Flächennutzung. Eine Fülle legislativer Maßnahmen wurde ergriffen, um die gewässerrelevanten Emissionen der Landwirtschaft zu verringern. In Österreich werden vor allem Gebote und Verbote erlassen, seit 1995 haben jedoch auch marktkonforme Instrumente deutlich an Gewicht gewonnen. Durch die Agrarreform 2003 wurden Anreize geschaffen, um die landwirtschaftliche Produktion zu senken. Viele der von den Landwirten zu setzenden Umweltmaßnahmen sind jedoch sehr spezifisch auf die jeweiligen Bedingungen in den einzelnen Betrieben abzustimmen.

Für eine hohe Akzeptanz grundwasserschonender Maßnahmen durch die Landwirte müssen ökologische mit ökonomischen Ansätzen vernetzt sein. Aus diesem Grund ist das Aufzeigen wirtschaftlicher Vorteile durch die Umsetzung landwirtschaftlichen Grundwasserschutzes in der Beratung wichtig. Mehrere Beispiele zeigen, dass die Umsetzung grundwasserschonender Maßnahmen auch ohne Förderungsabgeltungen positive Auswirkungen bringt: Ökonomie und Ökonomie sind in den meisten Fällen vereinbar.

Maßnahmen zur ursachenorientierten und hinreichenden Minderung der Stickstoff- und Phosphoreinträge aus dem Einzugsgebiet in die Donau und ihre Nebenflüsse und somit in das vornehmlich durch Phosphor limitierte westliche Schwarze Meer müssen im gesamten Ernährungsbereich ansetzen: Landwirtschaft mit Pflanzen- und Tierproduktion(-ernährung), Humanernährung (Haushalte, Konsumenten) sowie Abwasser- und Abfallwirtschaft (Punktquellen). Nur nachhaltige Maßnahmenkonzepte basierend auf einer gesunden Humanernährung (Suffizienz) mit entsprechender Nahrungsmittelproduktion, insbesondere an emissionsreichen tierischen Nahrungsmitteln, aber zugleich flankiert durch beste verfügbare Techniken (Effizienz), sind in der Lage, ursachenorientiert und hinreichend die Einträge zu vermindern (Konsistenz).

Mit Hilfe mathematischer Modelle werden immer häufiger Quantifizierungen und daraus abgeleitet Prognosen der Auswirkungen umweltschonender Bewirtschaftung erarbeitet. Die zur Modellberechnung punktuell ermittelten Daten lassen jedoch höchstens schlagbezogene Aussagen zu, eine Differenzierung in der Fläche kann nicht nachgezeichnet werden. Unter Nutzung von a-priori-Informationen aus Fernerkundungsdaten soll ein flächendifferenzierter Modelleinsatz erfolgen. Ziel ist es, die durch Fernerkundungsdaten gewonnene flächenhafte Differenzierung der Dynamik der Biomassenentwicklung durch die Modelle nachzuzeichnen. Spezifische parallele Datenerhebungen im Gelände während der phänologischen Entwicklung der Kulturart sowie GPS-gestützte Erntedaten erlauben im weiteren Verlauf einen Abgleich mit den Fernerkundungsdaten und entsprechend eine wiederholte Rekalibrierung der Modelle. STOTRASIM ist ein solches Werkzeug, um die Versickerung von Wasser und Stickstoff ins Grundwasser für landwirtschaftlich genutzte Böden zu bewerten. Die Anwendung dieses Rechenmodells zur Quantifizierung von Grundwasserneubildung und Stickstoffversickerung wird für verschiedene Regionen und unterschiedliche Bewirtschaftungen von Agrarland beispielhaft dargelegt. Derartige Modelle zur Bestimmung der Sickerwassermenge und des Stoff-

austrages aus der ungesättigten Zone werden zum Vergleich von Bewirtschaftungssystemen eingesetzt und helfen dadurch Landwirten oder Umweltberatern bei der Düngemengenermittlung; Modelle werden auch von Behörden zur Entscheidungsfindung verwendet. Für die Szenarienrechnung wird dazu ein komplexer Datensatz benötigt, wobei die Parameter auch regional kalibriert werden müssen. Das Modell CropSyst wurde anhand von Lysimeterdaten und Modellvergleichen validiert und anschließend für Simulationen im Bereich des Murtal-Grundwasserleiters herangezogen.

Zur Prognose der Verteilung von Stoffen im Grundwasser aus vornehmlich punktuellen Quellen wird schon seit längerer Zeit die Stofftransportmodellierung in unterschiedlicher Detaillierung eingesetzt. Bei Fragen der Prognose der Auswirkung von Änderungen der Landnutzung auf die Grundwassersituation allerdings liegt der Ort des Eintragsgeschehens im Prognosegebiet. Gleichzeitig erfolgt der Stoffeintrag in zeitlich hochgradig variablen Frachten praktisch an jedem Punkt des Untersuchungsgebietes. Am Versuchsfeld Wagna (Steiermark – Österreich) mit insgesamt 32 Versuchsfeldern von je 1000 m² Fläche wurde die Grundwasserneubildung und ihre Stickstoffbefruchtung langfristig durch Modellrechnungen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Bodenverhältnisse und unterschiedlicher Nutzung auf Tagesbasis berechnet. Die Grundwassersituation wird durch ein kleinräumiges Grundwasserströmungsmodell, das in das regionale Modell des westlichen Leibnitzer Feldes eingebettet ist, sehr detailliert beschrieben. Auf Basis von Markierungsversuchen wurden hydrodynamische Transportparameter ermittelt und darauf basierend ein Grundwassertransportmodell für konservative Tracer kalibriert. Die sequentielle Kopplung des Stickstoffaustragsmodells der ungesättigten Zone und des Grundwassertransportmodells brachte auf Jahresmittelwertbasis eine sehr gute Übereinstimmung der berechneten Nitratwerte im Grundwasser mit Messdaten. Im Feldversuch Wagna, der sich auf leichten Böden mit sehr unterschiedlicher Mächtigkeit befindet, ergeben sich signifikante pflanzenbauliche Unterschiede. Der Versuch beschäftigt sich mit der Minderung des Nitrataustrages ins Grundwasser. Dementsprechend sind in der 17-jährigen Laufzeit verschiedenen Varianten vor allem in Bezug auf Düngung im Körnermaisbau untersucht worden. Mit Hilfe von numerischen Modellen zur Beschreibung des Bodenwasserhaushalts bzw. der Stickstoffumsetzung wird der Stickstoffaustrag unter jedem einzelnen Hydrotop (Kombination aus Bewirtschaftung, Feinbodenmächtigkeit und Bodenform) berechnet. Die Maismonokultur führt unabhängig von der Düngevariante zu geringeren Stickstoffausträgen als die Fruchtfolgen, die aus einem zweijährigen Wechsel des Anbaus von Mais sowie Gerste, Weizen oder Kürbis bestehen. In Abhängigkeit von der Bewirtschaftung kann der gemittelte Stickstoffaustrag unter einer Parzelle um mehr als das Doppelte schwanken. Unterschiedliche Bodenformen können den Stickstoffaustrag um bis zu 50 % beeinflussen, wohingegen die Feinbodenmächtigkeit nur von untergeordneter Bedeutung scheint.

Für landwirtschaftlich intensiv genutzte Gebiete in der Südsteiermark wurden anhand von Langzeit-Simulationsrechnungen verschiedene Fruchtfolge- und Maismonokulturvarianten hinsichtlich der Sickerwassermenge, des Stickstoffaustrages und der Erntemengen miteinander verglichen. Da einzelne Parameter des Modells CropSyst aufgrund fehlender Daten nicht angepasst werden konnten, sind nur Relativvergleiche der Varianten möglich. Die Sickerwassermengen werden durch die unterschiedlichen Bewirtschaftungsformen/Düngestrategien nicht beeinflusst. Stickstoffausträge der Maismonokultur liegen in jedem Fall unter jenen der Fruchtfolgen, wobei bei Mais in der Fruchtfolge höhere Erträge erzielt werden.

Biologischer Ackerbau zielt darauf ab, Stoffkreisläufe zu schließen und Ressourcen zu schonen. Das schließt einen möglichst sorgfältigen Umgang mit Düngern bzw. Nährstoffen mit ein. Drehscheibe ist der Boden mit seinem Bodenleben und dem Gehalt an Humus. Dadurch soll ein Verlagern von Nährstoffen verhindert werden. Bodenleben und Humusgehalt werden durch eine geringe und schonende Bodenbearbeitung, durch den Anbau von Leguminosen und durch den Verzicht auf chemisch synthetische Pflanzenschutzmittel gefördert. Der Luftstickstoff, den Leguminosen binden, wird von einer Folgefrucht mit hohem Stickstoffbedarf wie Körnermais gleich genutzt. Durch gezielte Fruchtfolge und abgestimmte Bodenbearbeitung kann die Freisetzung des Leguminosenstickstoffs teilweise gesteuert werden. Bodenbearbeitung muss als minimale Voraussetzung aber ein optimales Saatbett sicherstellen. Es ist aber möglich, mit einer gut überlegten Fruchtfolge Ökologie und Ökonomie zu verbinden.

Ergebnisse einer hoch aufgelösten regionalen Klimasimulation für die gesamte Alpenregion und für die Südoststeiermark für die Dekade 2041 bis 2050 im Vergleich zu 1981 bis 1990 zeigen eine Temperaturzunahme von 2,2 °C mit höherem Anstieg im Sommer und geringerem Anstieg im Winter. Die Änderungen des Niederschlags hängen stark von der Region und Jahreszeit ab: Mehr Niederschläge sind für den Winter zu erwarten, geringere Niederschläge für den Sommer und Herbst.

Das Szenario beinhaltet auch weitere Parameter wie Feuchtigkeit, Strahlung und Wind, welche der Klimaimpaktforschung zur Verfügung stehen.

Das Hauptziel der vom 29. bis 31. Jänner 2007 in Graz (Steiermark, Österreich) durchgeführten Konferenz „Diffuse Einträge ins Grundwasser: Monitoring – Modellierung – Management, Landwirtschaft und Wasserwirtschaft im Lichte zukünftiger Herausforderungen“ war die Vorstellung von verschiedenen Nährstofftransportmodellen für die ungesättigte Zone zur Ableitung von grundwasserverträglichen ackerbaulichen Bewirtschaftungsmaßnahmen. Wasser ist ein grundlegender Produktionsfaktor für die Landwirtschaft. Aber diffuse Einträge in das Grundwasser sind eng mit der Intensivierung der Landwirtschaft und der Nahrungsmittelproduktion gekoppelt. Die vom Menschen vorangetriebenen Klimawandeleffekte werden wahrscheinlich zu einer Reduktion von Grundwasser für die Trinkwasserversorgung führen. Grundwasserschutzmaßnahmen müssen diese Entwicklungen berücksichtigen. Große Forschungsanstrengungen werden notwendig sein, um künftig die Kooperation zwischen Landwirtschaft und Wasserwirtschaft zu sichern.

Summary (J. FANK, compilation)

Shallow aquifer systems are very important resources for drinking water supply on a local and regional scale. Intensive agriculture is at a high risk for groundwater quality due to soils with high permeability and low thickness. Even in valley floors agriculture is the most important type of land use. Agricultural impact to the groundwater is strongly correlated to intensification of land use and food production. Therefore a set of legislative measures was implemented to control emission from agriculture. Command and control measures characterise the Austrian approach, however environmental subsidies for voluntary measures have been gaining significant since 1995. According to the reform of Common Agricultural Policy 2003 market signals will become more important for the production. As a considerable share of farms in Austria is located in relative less favourable production regions the likely effect of the reform will be a more extensive agriculture. Therefore a large number of measures can be carried out by farmers to reduce emission, particularly to reduce the nitrate impact into groundwater. Most of these measures need to be adjusted to very specific farm conditions.

For the acceptance of groundwater protection measures by the farmers it is important to link ecological with economical needs. Therefore economical topics are an important part of consulting. Some examples show that environmental measures influence the contribution margin positive even without governmental payments.

Sustainable mitigation options to reduce the nitrogen and phosphorus inputs into the Danube River Basin and therefore into the phosphorus-limited western Black Sea have to be cause-oriented and sufficiently in an integrated manner referring to the entire nutrition system: agriculture with plant and animal nutrition (diffuse sources), human nutrition (households intervenient) as well as waste and waste water management (point sources). Only sustainable bundles of measures based on sufficiency primarily of a healthy human nutrition with corresponding production especially of animal food flanked simultaneously by best available techniques (efficiency) are adequate to reduce nitrogen and phosphorus inputs into the aquatic ecosystems both cause-oriented and sufficiently (consistency).

With assistance of numeric models, quantifications and resulting prognoses of the impact of environmentally beneficial crop management become more and more frequent. The input data used in the models mostly refers to one-dimensional-vertical sites and therefore just allows conclusions over one location. Differentiations regarding a wide area can not be done. Using a-priori information from remote sensing data is considered as a way to implement a large-scale model approach. The objective is to trace the identified two-dimensional differences of the dynamics of biomass development by soil-vegetation-atmosphere-transfer-models (SVAT). Specific field-data, collected during the most important phenological stadia of the crops, as well as GPS-based harvesting make it possible to validate and recalibrate the SVAT-models. STOTRASIM is such a tool to assess the dynamics of water and nitrogen in the unsaturated zone. Its application at regional scale for the assessment of nitrate leaching is outlined by some examples. This kind of models that are used to determine seepage water amounts and nutrient leaching losses from the unsaturated zone help farmers or environmental advisers to compare agricultural cropping management systems and to find suitable fertilisation amounts; authorities use models as decision support systems. A complex dataset is necessary to simulate various scenarios, and parameters have to be calibrated regionally. The model CropSyst has been validated according to lysimeter measuring data and by comparing calculation results to other models and was afterwards applied for simulations in the Murtal aquifer.

To predict the distribution of solutes from point or from linear sources transport modelling based on groundwater flow models and the concept of hydrodynamic dispersion is widely used. As we predict

the impact of land use changes and different tillage systems in agricultural environments on solute concentration distribution in shallow aquifers, the location of the source equals the area of prediction and the entry of solute mass acts on different locations all over the prediction area with a high variability in time. At the test field in Wagna (Styria, Austria) with 32 plots with 1000 m² each groundwater recharge and nitrogen leaching has been calculated for the period 1987 to 2003 on a daily basis. Different soil types and different cropping systems at the plots have been taken into account. A groundwater flow and transport model for the test field has been calibrated. Transport parameters have been determined using the results of tracing experiments. The sequential coupling of nitrogen transport models in the unsaturated and saturated zone led to very well agreement between measured and calculated nitrate concentration in the groundwater on a yearly mean basis. Significant differences in yield at different planting measures are observed during the field experiment in Wagna, which is carried out on light soils with varying thicknesses. The experiment aims at finding cultivation systems for reducing the amount of nitrate leaching into the groundwater. Various amounts of manure applications on growing maize and a crop-rotation were examined between 1987 and 2003. Numerical models describing the soil water balance and the transformation of nitrogen are being applied to compute the leachate of nitrogen at the bottom of every individual "hydrotop" (unique combination of cultivation, soil thickness and soil type). Regardless the fertilising scheme corn monoculture leads to a smaller amount of nitrate leaching compared to the crop rotation variants which consist of a biannual transition between corn and barley, wheat and pumpkin. Depending on the cultivation the averaged leachate of nitrogen underneath a lot of land can vary by more than 100 %. Different soil types influence the amount of nitrogen leachate on the order of 50 %, whereas the soil thickness shows only little significance.

Using long-term scenario simulations, various crop rotation and maize single-crop farming variants were compared regarding seepage water amounts, nitrogen leaching losses and yield for agricultural regions in Southern Styria. Due to a lack of data and as some parameters of the model CropSyst were therefore not adjusted regionally, only relative comparisons of the variants were possible. The different cropping systems and fertilisation applications do not affect seepage water amounts. Nitrogen leaching losses of the maize single-crop farming variants are in any case lower the ones of the crop rotations, but yields are higher when maize is cropped in a rotation than in the single-crop farming system.

Completing cycles and sparing resources are principles of organic farming. That involves the protection of the groundwater. The soil is the central element and is seen with all its various functions. The humus content and soil structure enable nitrate and other ions to be rapidly bound (to organic material). Chemically synthetic substances are generally not used in organic farming and can therefore not reach the groundwater. In terms of nutrient supply, organic farming is based on legumes as they are capable of binding nitrogen for the following crop. The release of nitrate can only be partly controlled by the type and intensity of cultivation. In the crop rotation a nitrogen source must always follow a nitrogen consumer. In the cultivation it is necessary to work on the soil only as little and shallowly as possible, yet always guarantee a good seedbed in order to get high yields. With an economical and groundwater-protective crop rotation, economy is in harmony with ecology.

Results of a high resolution regional climate change simulation for the greater Alpine region and for south-eastern Styria are presented. The scenario projects, beside other meteorological parameters, temperature and precipitation for the decade 2041 to 2050 compared to the reference decade 1981 to 1990. Temperature is projected to increase by 2.2 °C with higher values in summer and autumn and lower values in winter. Precipitation changes are strongly depending on region and season, higher amounts are expected in winter and smaller amounts in summer and autumn. The scenario also includes further parameters like humidity, radiation and wind which are available for climate impact research.

An international conference on „Diffuse Inputs into the Groundwater: Monitoring – Modelling – Management, Agriculture and Water Management in the Light of Future Challenges“ was held from January 29th to 31st, 2007 in Graz (Styria, Austria). The main goal of the conference was to present various nutrient transport models for the vadose zone for determining reasonable agricultural cropping systems for the future. Water is an essential input for the agricultural production. But agricultural impact to groundwater is strongly correlated to intensifying of land use and food production. Human driven climate change effects may reduce the availability of groundwater for drinking water supply. Groundwater protection measures have to take into account these changing boundary conditions. There are a lot of research needs to ensure cooperation between agriculture and water resources management for the future.

W. BERGER, N. BÖTTCHER, W. DURNER, J. FANK, S. C. IDEN, U. JANSEN, Ch. LANTHALER, P. MALOSZEWSKI, Th. PÜTZ, Th. REIMANN, G. ROCK, H. RÜTZEL, M. SCHEITHAUER, I. SCHEUERING, A. STEINS, E. STENITZER, W. STICHLER, C. STUMPP, G. VON UNOLD & H. VEREECKEN:

Lysimeter – ein Werkzeug zur genauen Erfassung von Wasser- und Stoffkreislaufparametern

Lysimeter – a Tool for Precisely Determining Water and Nutrient Balance Parameters

Schlüsselwörter: Präzisionslysimeter, Messtechnik, Datenmanagement, Wasser- und Stoffbilanz, Modellierung

Keywords: precision lysimeter, measuring techniques, data management, water and solute balance, modelling

Zusammenfassung (J. FANK, Zusammenstellung)

Böden spielen wegen ihrer vielschichtigen Funktionen eine Schlüsselrolle bei den meisten ökosystemaren Forschungsprojekten und Umweltmonitoringaufgaben. Das Bodenwasser ist dabei das hauptsächliche Transportmedium für die Stoffverlagerung und der hauptsächliche Energieträger. Daher ist es von entscheidender Bedeutung, Bodenwasser in seinem komplexen Verhalten zu kennen. Flüsse und Frachten, Retentions- oder Bindungspotentiale sind maßgebend für Untersuchungen zur Wasser-, Stoff- und Energiebilanz, zur Bewirtschaftungsoptimierung, zur Bewässerung, in der Forstwissenschaft, dem Grundwasserschutz und Grundwassermanagement, der Abschätzung von Altlastengefahren, sowie dem Umweltmonitoring. Moderne Lysimeter bilden eine neue Skala zwischen Laborversuchen und Freilandstationen. Sie kombinieren die aus den Laborversuchen bekannte Präzision mit echten Feldbedingungen.

Moderne Datenerfassungssysteme ermöglichen es uns heutzutage komplexe Mess- und Steuerungssysteme mit überschaubarem Aufwand zu realisieren. Die verfügbare Technik kann dabei nicht nur einfach Daten von Sensoren erfassen, sondern auch aktiv in das System einwirken. Durch die autark arbeitenden Mess- und Regelsysteme lassen sich vor Ort Simulationsmodelle realisieren, mit denen Wissenschaftler in situ theoretische Modelle überprüfen können. Präzision, Stabilität und Integrität der Messdaten können durch den Einsatz von intelligenten Sensoren verbessert werden.

Wie in vielen Bereichen der Naturwissenschaften werden auch zur Erklärung der Wasserbewegungs- und Stofftransportprozesse in der ungesättigten Zone Modelle eingesetzt, die versuchen, die physikalischen Zusammenhänge der untersuchten Kompartimente eines realen Umweltsystems mit mathematischen Gleichungen zu beschreiben. Diese Modelle müssen anhand von Messdaten validiert und die Parameter der Gleichungssysteme regionalspezifisch kalibriert werden, um sie in weiterer Folge für die Übertragung von punktuellen Messinformationen auf größere Flächeneinheiten verwenden zu können.

Aufbauend auf den Untersuchungsergebnissen an der Lysimeterstation Wagna aus den Jahren 1992 bis 2003 wurden im Sommer 2004 zwei monolithische wägbare Präzisionslysimeter mit parallel geschalteten bodenhydrologischen Messprofilen installiert. Im Frühjahr 2006 wurde die Messumgebung durch ein wägbares „Gras-Lysimeter“ zur Erfassung der Referenzverdunstung ergänzt. Wesentlichster Bestandteil des Datenmanagementsystems ist eine Datenbank, in der alle zeitabhängigen Daten und die Ergebnisse der Analytik erfasst und verwaltet werden. Die Onlinedaten werden auf mehreren Datensammlern in der Forschungsstation gespeichert und via Internetverbindung in die Datenbank eingelesen. Visualisierungs- und Editierwerkzeuge lassen eine rasche Überprüfung und erste Korrektur der Messwerte zu. Dabei wird auf ein Versionsmanagement Wert gelegt, sodass jeder Datensatz von seiner Entstehung über unterschiedliche Bearbeitungsstufen jederzeit verfolgbar und auch wieder herstellbar ist. Programmierschnittstellen versorgen verschiedene Datenbanken von Bodenwasserhaushalts- und Stofftransportmodellen mit den erforderlichen Informationen. Spezifische Programme erlauben die Auswertung der Messdaten selbst: beispielsweise die Ableitung von Wasserbilanzgrößen aus den Lysimetergewichten bzw. die Berechnung der Evapotranspiration auf der Basis von Wetterdaten.

Die Aufnahme bodenphysikalischer und bodenchemischer Parameter anhand von Proben, die im Zuge der Errichtung von Lysimetern gewonnen werden, wird durch die Onlineerfassung von Kenngrößen der ungesättigten Zone in den Bodenhorizonten der Lysimeter und in einem parallel

geschalteten Freilandprofil ergänzt. Durch die Durchführung und Auswertung von Tracerversuchen können Unterschiede in den Stofftransportprozessen von konservativen Tracern, Mineral- und Wirtschaftsdünger untersucht werden. Aus der Auswertung dieser Tracerversuche sind auch Informationen über präferentielle Flüsse in den Lysimetern verfügbar. Zur Validierung und regionalspezifischen Kalibration von Bodenwasserhaushalts- und Stofftransportmodellen stehen als Ergebnis der Lysimetermessungen kurzintervallige Messdaten der Wasserkreislaufparameter, Pflanzenkoeffizienten der untersuchten Fruchtfolgeglieder aber auch detaillierte Informationen über die ackerbaulichen Bewirtschaftungs- und Düngemaßnahmen zur Verfügung. Daten aus einem Videoüberwachungssystem erlauben die Ableitung unterschiedlicher Pflanzenentwicklungsstadien und die Kontrolle des Wettergeschehens auf visuelle Weise. Numerische Modelle sollten jedenfalls in der Lage sein, die Messdaten des Wasser- und Stoffkreislaufs von Lysimetern nachzuvollziehen, bevor sie für regionale Fragestellungen mit wesentlich geringerer Datenverfügbarkeit eingesetzt werden.

Die Berechnung des Wasser- und Stofftransports in der ungesättigten Zone benötigt Informationen über die hydraulischen Parameter, deren Beschreibung ist meist beschränkt auf homogene Fließbedingungen. Tatsächlich sind Böden aber sehr heterogen. Eine Methode, die die mathematische Modellierung mit Umweltisostopen und hydrologischen Daten verbindet, erlaubt es, die Heterogenität im Wassertransport der ungesättigten Zone unter atmosphärischen Bedingungen zu bestimmen. Dabei werden Verweilzeitverteilungen des präferentiellen und Matrixflusses berechnet und in Gefährungsdiagrammen dargestellt.

Die Messung der Sickerwassermenge mit Schwerkraftlysimetern ist mit einem grundsätzlichen Fehler aufgrund der Ausformung der Unteren Randbedingung behaftet. Dieser Fehler wird mit dem Bodenwasserhaushaltsmodell SIMWASER abgeschätzt und die Ergebnisse zweier unterschiedlicher Klimaregionen bewertet. Die vorliegenden ersten Auswertungen und Simulationen lassen vermuten, dass in niederschlagsreichen Gebieten die Messung der Grundwasserneubildung für praxisorientierte Anwendungen durchaus mit vergleichsweise billigen Schwerkraftlysimetern durchgeführt werden kann, da der damit verbundene Fehler gering bleibt. In Trockengebieten jedoch sollten für eine realistische Erfassung der Grundwasserneubildung Unterdrucklysimeter zur Anwendung kommen.

Die Auswertung von instationären Fließexperimenten durch inverse Modellierung mit Hilfe numerischer Simulation hat sich als genaue und schnelle Methodik zur Gewinnung von hydraulischen Parametern zunehmend bewährt. Die Anwendung dieser auf der Laborskala entwickelten und validierten Methode ist jedoch auf der Feldskala nicht ohne weiteres möglich. Offene Fragen ergeben sich insbesondere für große Bodenkörper, die intern heterogen aufgebaut sind. Dies betrifft die Existenz, die Eindeutigkeit, die geeigneten Funktionstypen und die Unsicherheiten der effektiven hydraulischen Eigenschaften. Zur näheren Untersuchung dieser Fragen bieten sich Lysimeterstudien an. Der entscheidende Vorteil im Vergleich zum freien Bodenkörper liegt darin, dass in Lysimetern die Randflüsse genau kontrolliert werden können.

Der Wasserstatus von Böden beeinflusst ökosystemare Stoff- und Energieumsetzungen auf allen Skalen. Zur Quantifizierung der Ausbreitung von Schadstoffen im Boden ist daher eine korrekte Beschreibung des ungesättigten Wassertransportes erforderlich, welches die Kenntnis der bodenhydraulischen Eigenschaften voraussetzt. Um die bestehende Skalenlücke zwischen Labor und Feld zu schließen, wurde die Lysimeterskala gewählt. Zur Identifikation der bodenhydraulischen Eigenschaften bzw. zur Quantifizierung des Tracertransportes wurde die Methode der inversen Modellierung unter Einbeziehung des global konvergenten Shuffled-Complex-Evolution (SCE-UA)-Algorithmus angewandt. Die Schwierigkeiten der Anwendung der inversen Modellierung auf der Lysimeterskala liegen vor allem in der Heterogenität der Böden und der damit verbundenen Nichtexistenz eindeutiger effektiver bodenhydraulischer Eigenschaften begründet.

In Untersuchungen zur Sickerwasserprognose wurden mit 24 kontaminierten Bodenproben Vergleichsuntersuchungen von verschiedenen Elutionsverfahren durchgeführt und Ergebnissen aus Großlysimeteruntersuchungen gegenübergestellt. Der Vergleich der Laborverfahren mit Lysimeter-sickerwasser zeigte häufig eine Überschätzung der mittleren Sickerwasserkonzentration am Ort der Probenahme durch die Gewinnung des Bodensättigungsextraktes. Recyclingmaterial besteht aus sehr stark variierenden Bestandteilen, die wasserlöslich sein und entsprechend eine Gefahr für das Grundwasser darstellen können. Das Ziel der vorgestellten Untersuchungen war die mögliche Grundwassergefährdung von drei typischen Recyclingmaterialien im Lysimeterversuch abzuschätzen. Die verwendeten Recyclingmaterialien waren ein PAK-belasteter Boden, Hausmüllverbrennungssasche und Straßen- und Hausabbruchmaterial. Zur Gewinnung von Bodenlösung wurden Saugkerzen installiert. Bromid und Deuterium wurden als konservative Tracer und 2,6-Di-Fluorbenzoesäure wurde als reaktiver Tracer appliziert. Die Verlagerungssituation der Lysimeter entsprach einem „worst case“-

Szenario bedingt durch die starke Zusatzberegnung und die unbewachsene Kiesoberfläche. Von den analysierten Schwermetallen ist Blei als immobil, Kupfer, Nickel und Zink als schwach mobil sowie Chrom und Cadmium als mobil einzustufen. Für die untersuchten PAKs wurde keine relevante Verlagerung beobachtet.

Summary (J. FANK, compilation)

Soils have a key role for most environmental research studies because of their multiple functions. Water is the main transport media in soils. Therefore, the knowledge of water retention and water flux behaviour in soils is the basic information needed for investigations on water – and energy balance, for food production, cultivation, irrigation, forestry, groundwater management and groundwater protection, waste risk assessment, ecosystem research and – monitoring. Modern lysimeters combine field conditions with the high accuracy known from laboratory setups, which enable us to measure precisely in natural, monolithic soils under true climatic, hydrologic and/or farming conditions.

Modern data acquisition systems with remote access are capable of building complex simulation models in the spot. Users can choose out of a large portfolio of measure and control functions. Intelligent sensors can improve the quality of the measuring data. Precision, stability and integrity can be improved by the use of intelligent sensors.

To determine water and nutrient transport processes in the unsaturated zone, models are employed to explain the physical relationships between the natural parts of the environment investigated; as in many other fields of research of natural sciences, models use mathematical equations. These models have to be validated according to measured data and parameters of equations have to be calibrated regionally when the calculated results of one point should be applied regionally to larger areas.

Based on the investigation results at the lysimeter station of Wagna from 1992 to 2003 in summer 2004 two weighable monolithic field lysimeters combined with soil hydrologic measuring profiles have been constructed. In spring 2006 the measurement equipment has been supplemented with an additional weighable lysimeter for measuring grass reference evapotranspiration (ET_0). The main part of the data management system is a time series database for storing and managing the time dependent data and analyses results. Online data are stored at different data loggers in the research station, transferred to the office via internet and imported into the database. Tools for visualisation and editing offer efficient methods for data check and editing. A version management system allows tracing of all the correction steps. Programming interfaces serve the needs of soil water balance and solute transport modelling data bases. Specific software is available to evaluate measured data; for example the determination of water balances out of lysimeter weight information, calculation of evapotranspiration on the base of weather parameters respectively. Water balance parameters are recorded in short time steps and agricultural management systems are well documented. A video surveying systems is installed to check the weather and fertilisation data. The combination of lysimeter, meteorological, and agricultural data allows for a precise recording of water and nutrient balances of crop rotations that are tilled either conventionally or with the organic-farming system.

The determination of water and solute transport using numerical modelling needs information about soil hydraulic parameters and is in general limited to homogeneous flow conditions. But in reality, soils are very complex systems of high heterogeneity. Therefore, a method which combines mathematical modelling with environmental and hydrological data was investigated to estimate the heterogeneity of water transport through the unsaturated zone under natural atmospheric conditions. The transit time distribution functions of preferential and matrix flow were used to construct vulnerability diagrams.

The error in measuring percolation by tension free lysimeters is estimated for two climatic different sites using the simulation model SIMWASER. It is assumed, that in high rainfall regions the error in measuring percolation with cheap tension free lysimeters will be acceptable, but in dry areas suction lysimeters are needed for reliable measurement of groundwater recharge.

Inverse modelling of water and solute transport in unsaturated soils is a modern, accurate and fast method to calculate hydraulic and transport parameters on the lab scale. But the application of the inverse methodology to field scale processes is non-trivial, in particular for large soil volumes with internal heterogeneities. Questions arise with respect to the existence, the uniqueness, adequate function types, and the uncertainties of the effective hydraulic properties. To solve these problems lysimeter studies are helpful. An important advantage, in comparison to free soil bodies, lies in the controlled experiment design, in particular in the control of the boundary conditions.

Water in soils affects solute and energy transformation processes in ecosystems at all scales. To quantify the transport and fate of chemicals in soils, a correct identification of unsaturated water

transport is needed which requires the knowledge of the soil hydraulic properties. Currently, there is a particular interest in investigating the transferability of soil hydrological processes to larger scales. To close the existing gap between laboratory and field scale, the lysimeter scale was chosen. The aim of the presented study was to identify the soil hydraulic properties and to quantify the tracer transport by the method of inverse simulation using the global convergent Shuffled-Complex-Evolution-Algorithm. Difficulties of applying the inverse method on the lysimeter scale arise due to the heterogeneity of soils and the non-existence of unique effective soil hydraulic properties.

At investigations in context to the seepage water determination project different and partly normed leaching tests were compared using 24 differently contaminated soil samples. They were furthermore partly compared with experiments performed in large-scaled lysimeters. Comparison of the bench-scaled methods with the gaining of lysimeter seepage water resulted in many cases in overestimation of the concentrations in the soil saturation extract compared with lysimeter seepage water. Recycling materials are mixtures of varying components and possibly contain water soluble components which are dangerous for the groundwater. The aim of the presented study was to test the leaching potential of three typical, widely used recycling materials in lysimeters filled with soil monolith. The three tested recycling materials were a PAHs contaminated soil, ash of domestic waste and material of road and house demolition. For soil solution sampling, suction candles were installed. Bromide and deuterium were applied as conservative water tracers and 2,6-di-fluorobenzoic acid was applied as a reactive tracer. The leaching situation of the lysimeters reflected a worst case scenario, because a rapid vertical transport was induced by high amounts of irrigation and the bare gravel surface. Among the analyzed heavy metals, lead was immobile, copper, nickel and zinc were less mobile and chromium and cadmium were mobile. As for the PAHs contaminated soil, no relevant leaching of PAHs was observed.

L. ALLETTO, M. BACH, B. BEUDERT, A. P. BLASCHKE, L. BREUER, St. BÜRGER, M. CASPER, Y. COQUET, P. VAN DIJK, U. FRANKO, H.-G. FREDE, H. FRIESE, M. GEBEL, H. GÖMANN, N. GRAVELINE, J. GRIMM-STRELE, K. GRUNEWALD, Th. GUDERA, D. GUTKNECHT, St. HALBFASS, St. HANNAPPEL, M. KAISER, B. KLÖCKING, S. KNOBLAUCH, Ch. KONRAD, St. KORTE, P. KREINS, H. KROISS, R. KUNKEL, Ch. LABAT, H. LAMBRECHT, R. LIEDL, M. PÄTSCH, V. PRASUHN, I. PRUTZER, M. PUHLMANN, Th. REIMANN, Ch. SCHILLING, J. O. SKØIEN, E. SPIESS, F. SUCKOW, B. SZYSKA, J. ULLRICH, K. B. VACHÉ, H.-J. VOIGT, W. WALTHER, R. WELL, F. WENDLAND, R. WOLTER, M. ZESSNER & M. ZWEIG:
Diffuse Einträge in das Grundwasser – internationale und regionale Studien
Diffuse Inputs into the Groundwater – International and Regional Studies

Zusammenfassung (J. FANK)

Der langfristige Schutz des Grundwassers – und damit unseres Trinkwassers – kann nur im Zusammenspiel von Landwirtschaft, Wasserwirtschaft, Ökologie und Ökonomie stattfinden. Die internationale Konferenz mit dem Titel „Diffuse Einträge in das Grundwasser: Monitoring – Modellierung – Management. Landwirtschaft und Wasserwirtschaft im Fokus zu erwartender Herausforderungen“ betrachtete den aktuellen Forschungsstand in der Messtechnik und Datenerfassung, des Datenmanagements, verschiedene Modellansätze sowie künftige nachhaltige ackerbauliche Bewirtschaftungsformen. Neben der Erarbeitung von grundwasserverträglichen ackerbaulichen Bewirtschaftungsformen über seichtliegenden gering mächtigen Grundwasserleitern und Lysimetern als Werkzeug zur genauen Erfassung von Wasser- und Stoffkreislaufparametern wurden internationale und regionale Arbeiten zu den angesprochenen Themenkreisen vorgestellt. Letztere sind in diesem Beitrag zusammengefasst.

Schwerpunkte der Darstellung lagen insbesondere auf der Erweiterung eines bestehenden Modells zur Beurteilung einer nachhaltigen Bewirtschaftungsweise durch Koppelung mit einem Ansatz zur Berechnung von N-Treibhausgasemissionen und der Verwendung von Ergebnissen aus gut mit unterschiedlicher Messtechnik ausgestatteten Versuchsstandorten für die Validierung eines regional skalierten öko-hydrologischen Flussgebietsmodells.

Mehrere Arbeiten beschäftigten sich mit der modellbasierten Abschätzung des diffusen Stickstoffeintrages in das Grundwasser deutscher und schweizerischer Landschaftseinheiten. Im Zuge

dessen wurden unterschiedliche Modellansätze vorgestellt, in denen neben naturwissenschaftlichen Parametern auch sozial- und wirtschaftswissenschaftliche Indikatoren Verwendung finden. Dabei wurde aber auch der Frage der Trennung der aktuellen Grundwasserbelastungssituation in eine „natürliche“ und eine „beeinflusste“ Komponente für unterschiedliche Qualitätsparameter Raum gegeben. Da die Grundwassersysteme nicht an nationalen Grenzen enden, wurde die Notwendigkeit internationaler Kooperation in den Vordergrund gestellt, was im Besonderen am Beispiel des Oberrheingrabens dokumentiert werden konnte.

Eher prozessorientierte Beiträge beschäftigten sich mit der Frage der Erfassung und Modellierung der Denitrifikation und anderer Stickstoff-Umsatzprozesse. Die Probleme wurden anhand von Grundwasserleitern in Deutschland und Österreich diskutiert. Dabei wurde die hohe Bedeutung der Heterogenität in räumlicher und zeitlicher Hinsicht hervorgehoben und ein Defizit in ihrer Einbindung in Modellierungsvorhaben erkannt. Ein wesentliches Element stellt dabei auch die Unsicherheit der Prozesse im Übergangsbereich von der ungesättigten zur gesättigten Zone dar.

Die abschließende Arbeit beschäftigt sich mit dem Einfluss unterschiedlicher Bewirtschaftungssysteme auf das Abbauverhalten von Herbiziden am Beispiel eines Untersuchungsstandortes in Frankreich.

Die angesprochenen Themenkomplexe zeigen einerseits auch nach dem heutigen Untersuchungsstand noch immer die große Relevanz des diffusen Stickstoffeintrags in das Grundwasser, andererseits wird auch deutlich, dass die Modellierung eine maßgebliche Bedeutung bei der Ursachenfindung und der Problemlösung hat und dass in diesem Zusammenhang noch großer künftiger Forschungsbedarf sowohl auf der Prozessseite als auch in der regionalen Anwendung besteht.

Summary (J. FANK)

Long-term protection of groundwater – and therefore of our potable water – can only take place in interaction between agriculture, water management, ecology, and economy. The international conference “Diffuse Inputs into the Groundwater: Monitoring – Modelling – Management. Agriculture and Water Management in the Light of Future Challenges” aimed at presenting measuring methods, data recording, data management, and various modelling approaches as well as future sustainable agricultural management systems. Beside the determination of groundwater protective agricultural management systems at shallow aquifers and the presentation of lysimeters as a tool for precise evaluation of water balance and solute balance parameters, international and regional scaled contributions have been presented.

One focus of the presentations was on the extension of an existing model to evaluate sustainable agricultural management by coupling with a model to calculate N-greenhouse gas emission. The use of plot measurement data from well instrumented test sites for the validation of an eco-hydrological river basin model has been discussed.

Multiple papers dealt with model based estimation of diffuse nitrogen input in German and Switzerland aquifer systems. Different conceptual models have been presented, where social and economical indicators have been used beside natural scientific parameters. A procedure to define natural groundwater conditions from groundwater monitoring data has been developed. The distribution pattern of a specific groundwater parameter observed by a number of groundwater monitoring stations is reproduced by two statistical distribution functions, representing the “natural” and “influenced” component. On the example of the Upper Rhine aquifer the importance of international cooperation has been discussed. Groundwater systems and quality problems will not end at national boundaries.

Process oriented contributions were engaged in acquisition and modelling of denitrification and other N-transformation processes. Questions were discussed in German and Austrian aquifer systems. Heterogeneity in time scale and in areal distribution is of high relevance, and a deficit in model implementation is visible. The uncertainty at the saturated – unsaturated interface region is essential.

The final contribution focused on the influence of different agricultural management systems on the degradation of herbicides; results of a test field in France were shown.

The depicted topics show that diffuse impact of nitrogen into groundwater is relevant up to now. It has been shown that modelling is an essential tool on sourcing and troubleshooting. Actually a high need of research on process related topics as well as on regional scaled application has been detected.