

## **Investigation of Environmental Quality and Social Structures in a Mining Area in the North West Province of South Africa**

O. Blumenstein

### **Zusammenfassung**

Im Untersuchungsraum ist die Umwelt durch die Errichtung von vier Minen und Anlagen zur Verarbeitung des Erzes verändert worden. Sie existieren in enger räumlicher Nachbarschaft zu Farmen, Bewässerungsanlagen, Siedlungen der ansässigen Bevölkerung und Squattercamps. In einigen Studien ist bereits der Zustand der Luft und des Wassers erfaßt worden.

Es sind jedoch Schlußfolgerungen über den gegenwärtigen Umweltzustand des Raumes von einer holistischen Sicht aus abzuleiten. Dazu müssen die Wechselwirkungen zwischen der Umwelt und der Tätigkeit des Menschen erfaßt werden. Die Proben von Wasser, Luft, Bodenproben und Organismen sind am gleichen Ort und zur gleichen Zeit zu entnehmen. Dadurch wird es möglich, die Belastung aller natürlichen Kompartimente, das Nahrungnetz eingeschlossen, zu ermitteln. Grundlegende Laborversuche sollen Anhaltspunkte für die Mobilität der Schadstoffe und die Rolle der Mikroorganismen in den Stoffkreisläufen geben. Diese Untersuchungen zur Umweltsituation sollen durch Analysen der sozialen und infrastrukturellen Entwicklungen, insbesondere in den Squattersiedlungen, ergänzt werden. Alle Ergebnisse der komplexen Umweltanalyse werden in Computerkarten dargestellt werden. Das Ziel besteht in der Formulierung von Maßnahmen, die eine Verringerung der ökologischen Risiken und eine stabile Entwicklung in der Zukunft garantieren. Im Rahmen des Projektes ist eine zweisprachige Wortsammlung zum interdisziplinären Gebrauch zu entwickeln. Die Ergebnisse sollen für Behörden und Menschengruppen mit unterschiedlichem Bildungsniveau verständlich gemacht werden. Ein Vergleich der Umweltnormen und Standards Südafrikas mit denen der Länder der Europäischen Union wird angestrebt.

### **Summary**

The environment of the investigation area has been influenced by the establishment of four mines and ore processing plants. They are all very close to farms, settlements of native inhabitants, squatter camps and irrigation systems. In previous environmental studies the state of some separate compartments has already been recorded.

It is necessary to draw conclusions concerning the present environmental state of the area from a holistic point view. The different interrelations between man and environment must be defined and fixed. It is necessary to collect air, water and soil samples from the same place and at same time over a certain period. Only by following this strategy it is possible to analyse sufficiently the impact on the different compartments, including the food web. Basic tests in laboratories might indicate the mobility

of contaminants and the function of micro-organisms in the cycles of substances. All the results of this comprehensive environmental analysis should be illustrated by computer maps. The main aim is the definition of steps to minimise ecological risks and degradation and to guarantee a sustainable development in the future. Beside these scientific investigations a bilingual dictionary should be developed in the framework of this project.

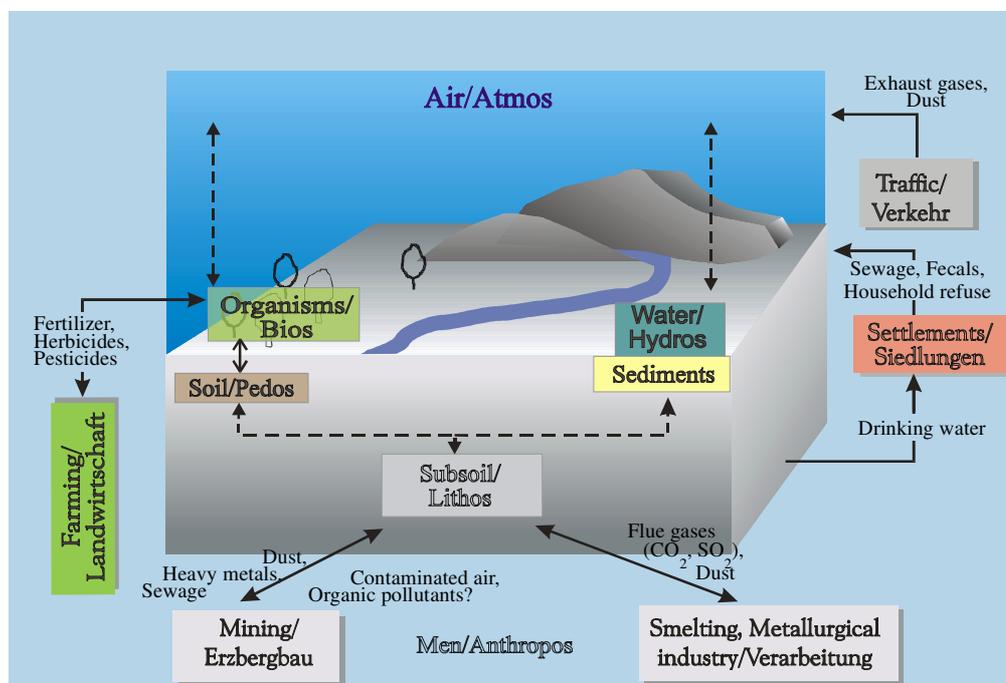
The results of this investigation should be presented to people with different educational backgrounds. South African environmental norms and standards should be compared with environmental laws and regulations of countries of the European Union.

## Investigation of Environmental Quality and Social Structures in a Mining Area in the North West Province of South Africa

### Premises

All environmental components (water, air and soil) are more or less interrelated.

This interrelationship is not only influenced by natural processes, but to a large extent, by human activities. Within this geosystem, substances are constantly in the process of decomposition, transformation, renewal, storage and exchange. Organisms and energy play a vital part therein. The environment of the area of investigation has been greatly influenced by the establishment of several mines and ore processing plants, which produce mainly chromium and platinum. They are in very close proximity to settlements of native inhabitants, squatter camps, farms and irrigation systems. An additional strip mine is planned in this district. This mine will have a production capacity of about 1-2 million tons of ore per year and will run for about 15 years. Figure 1 illustrates the interrelationships between natural components and human influence.



**Fig. 1.:** Some interrelationships between natural components and human influence of the area of investigation

Together with scientists of the University of Pretoria and in cooperation with the Tobacco and Cotton

Research Institute Rustenburg, along with other institutes and with the authorities of the North-West-Province in South Africa, the development of a specific environmental project is planned. In contrast to the previously-mentioned approach of investigating separate components independently of one another, the scientists of this project prefer to take a holistic approach. The totality of the present environmental situation must be taken into consideration in order to adequately assess the dangers resulting from contamination and pollution. The various complex interrelations between humans and the environment must be defined and fixed. For this purpose, it is necessary to simultaneously collect air, water and soil samples from the same place over a measurable period of time. Only by following this strategy, is it possible to sufficiently analyse the environmental impact of human activities on the different components, including on the food chain.

It is also necessary to draw conclusions from a comprehensive perspective. This means that intensive co-ordination is crucial for the success of this interdisciplinary and holistic approach. All research workers of this project must consider the following questions:

- What are the special aims of the investigation?
- Which hypotheses should be examined?
- How do the specialists define their contribution within the holistic context?
- What specific knowledge and pieces of information do they need to make their contribution?

### **Objectives**

1. Extensive study of source material and collection of data concerning the degree of contamination within the investigation area. Comparison of this data with existing standards and legislation in South Africa and Europe.
2. Assessment of the impact of existing strip mines on air, water and soil quality, on the yields of cultivated plants and on social and infrastructural conditions. Demonstration of possible long-term effects of accumulating contaminants on the geosystem and on food chains.
3. Presentation of the findings based on prognosis models concerning expected changes in the dynamics of pollutants and concerning the influence of unregulated migration on land use as a result of the establishment of a new strip mine.

### **Tasks**

1. One of the first steps is the development of baseline maps for the inventory of geology, geomorphology, climatology, hydrology, flora, fauna and land use of the area of investigation. Subsequently, it is necessary to plan the sample sites and the logistics of sampling. If there are deficits of the spatial order of patterns, it is possible to compensate for this by using remote sensing techniques and methods of surface-geophysics. An investigation into the type and content of harmful substances, as well as into their pattern and spatial extension into the study area, should follow. Only by taking these steps in the above-mentioned order will it be possible to recognize spaces of accumulation of pollutants and their sources.

The content and concentration of the parameters are the result of different factors, such as:

- space (distance to the emittant, direction, of the long-range transport of pollutants),
- time (length of sedimentation process or contact with soil particles, plant leaves and roots),
- intensity (wind force, kinetic energy of water streams) and
- geochemical mobility of the elements.

2. All the samples taken will be analysed according to the following factors: Cr, Cd, Ni, Cu, Hg, As, Pd, Pt. Selected soil samples will be investigated by using the method of sequential extraction in order to analyse the mobility of the heavy metals Cr, Ni, Cd and Pt. In this context, one should take into consideration that sequential extraction for the Platinum group metals and Hg, using digested thiocrown compounds, is an important test for a possible extraction of metals from soil and sediment particles.
3. Thermal ore treatment is known to be accompanied by the production and emission of organic pollutants. The compounds produced entail a significant risk potential, since they are persistent and tend to accumulate in soils and biological systems. In biological systems, such pollutants often show carcinogenic, mutagenic or teratogenic properties. In the area of investigation, screening is necessary for such important pollutants groups like polychlorinated dibenzodioxines / dibenzofuranes (dioxines), polychlorinated biphenyls (PCB) and polynuclear aromatic hydrocarbons (PAH). The decision to screen additional organic compounds requires a deeper knowledge of the thermal processes involved. Soil Organic Matter (SOM) is the main adsorbent for many heavy metals and organic pollutants. The adsorbent properties strongly depend on the structure and composition of SOM and on soil parameters like pH. Mineralization is another risk factor of the remobilization of pollutants. The knowledge about the relative stability of SOM is an important piece of information for the retention capacity of soils. Therefore, the structural investigation of the SOM by means of chemolysis/MS studies is recommended for a limited number of samples.
4. The microbiological research work focuses on the two areas of microbiological-hygienic and microbiological-ecological investigation. Both areas are closely tied to mining activities. The immigration of potential mine workers and their families will intensify the social problems in the region of study. Rogue settlements lacking infrastructure like running water and sewage disposal will lead to catastrophic sanitary conditions, not only for the immigrants themselves, but also for the existing local populations. For this reason, microbiological hygienic investigations of water, sludge and soil samples should be carried out, especially regarding heterotrophic bacteria, potentially pathogenic bacteria, Coliformes, Escherichia coli, Enterococci and sulphate-reducing bacteria. In this way, probable sources of contamination can be revealed and possibilities for elimination proposed.

The emission of harmful substances could have a potentially adverse impact on the health of the population, on the vitality of plants (particularly of agricultural crops), and on soil life. The microorganisms in the soil are responsible for the biogeochemical cycles. Their role is the mineralization of organically bound substances into nutrients re-assimilable for plants. Poor yearly precipitation in the area of investigation (semi-arid region) leads to relatively low microbiological activities. The introduction of heavy metals could additionally lead to a severe decrease in the cycling activities of soil life.

The microbiological-ecological investigation will be concentrated on environmentally relevant microorganisms, such as heterotrophic bacteria, fungi, cellulolytic bacteria, nitrifying bacteria, as well as on important physiological reactions.

These reactions will include the following parameters:

- soil respiration,
- activity of dehydrogenases,
- activity of catalase,

as well as specific parameters of the cycling activities like

- nitrification,
- denitrification,

- N-fixation.

The data obtained could reveal an indication of soil damage and be used for a prognosis of soil development under specific conditions.

5. Another important part of the investigation work will concentrate on organisms that are able to absorb and store heavy metals. These organisms could be impaired or damaged through the influence of heavy metal pollution. The initial focus of the investigation will be on human activity, while the investigation of plants and animals as monitoring organisms depends on their methodological suitability. They must be widespread representatives of a dominant species within the study area, and their identification must be possible during a definable period of the year. The research work must also be focused on various agricultural crops like citrus, cotton, grain, lucerne, manna, sunflowers, tobacco, as well as on the natural vegetation, which is a mixture of Sourish, Bushveld and Sour Bushvel that grows on rocky outcrops pediments or along the water-courses of shallow drainage lines.

The study of animals might lead to interesting results concerning the transfer of heavy metals into the nutritional food chain. Domestic animals (cattle, pigs, goats, chickens, ducks and crocodiles) are of special interest for this purpose. They are fed primarily with locally grown food and serve as nutrition for humans. Additionally, pigs share certain physiological similarities with humans. Chickens feed on seed possibly contaminated with heavy metals, which can accumulate and can be detected in vertebrate organ systems like the liver, as well as in bones.

It is also possible to extend the investigation to wild animals living in the area.

Birds and larger wild animals have a high mobility, making them unsuitable for these research purposes. However, invertebrate fauna species or vertebrates such as rodents, lizards and geckos should not be ignored. The latter are of special interest, as they consume insects and other invertebrates.

6. Heavy metals can influence germination and plant growth of cultured and wild plants. Investigations into the degree of pollution and its impact on plant development in the proximity of mines are very important, both for agricultural and vegetable production as well as for the protection of nature. Moreover, a high concentration of heavy metals in food and in tobacco produced on polluted fields is a permanent danger for the population. Therefore, an investigation is advisable into the impact of heavy metals on
  - different soil parameters in order to characterise the fertility and reproductiveness of soils and to analyse such factors as respiration and/or catalase activity of soil organisms in untreated and polluted soils,
  - seed stocks and germination of seeds from untreated and polluted soils,
  - germination rates of different varieties of main culture plants in the region (tobacco, wheat, sunflowers, cotton, citrus fruits, vegetables etc.),
  - stress tolerance of different varieties of these species,
  - survival rates of seedlings of different varieties of main culture plant species,
  - stress tolerance and sensibility of germinating plants against further stress factors,
  - vitality and competitive strength of juvenile culture plants,

- growth and development of juvenile culture plants pre-stressed by other stress factors such as drought, high light intensity, high temperature and
- the structure of original plant societies (changes in animal and plant species composition, biodiversity).

The results can contribute to

- the development of methods for conditioning seeds to increase their tolerance against heavy metals (e.g. by pre-treatment with phytohormones, pre-imbibitions and re-dryings),
  - the selection of culture plant varieties with high tolerance against heavy metals, especially by an inhibited or blocked absorption of these pollutants,
  - the search for plants that indicate heavy metal stress at an early stage of pollution and
  - the development of a monitoring program for environmental protection.
7. A spatial database will be established to act as a baseline from which research findings can be compared. This database will also be used to record research findings and to analyse impacts of the mining development in the study area. Data will be obtained from recognised sources and ground sampling carried out to test its accuracy. The following data and the sources thereof are already available:
- topographical maps, with infrastructure, surface hydrology and topography (Transverse Mercator Projection, captured at 1:50 000 scale) from GIMS (Geographical Information Management Systems),
  - geological and groundwater maps (Albers Equal Area Projection, captured at 1:250000 scale) from the Council for Geosciences,
  - digital Elevation Model at 200m and 400m resolution, with some areas at 50m resolution, from GIMS (Geographical Information Management Systems),
  - plant and animal biodiversity and soils from the Center for Environmental Studies, University of Pretoria,
  - ground cover from the CSIR and
  - population data from Statistics South Africa.

The database will be updated during the project and used for analysis. Since it is not possible to assess all data completely, a careful selection of the parameters is absolutely necessary. The comprehensiveness of all data sets is the most important premise. Before the start of investigations, the scientists must discuss the relevance of the parameters, the measurement units, the hard- and software compatibility, as well as the data handling, so that mistakes and corrections can be avoided from the outset.

8. Regarding the mathematical-statistical analysis of the existing database, it is necessary to clarify whether the quality and quantity of the database is sufficient for forecasting statements. If the database is deemed sufficient, the mathematical analysis should be undertaken with respect to the following goals:
- detection of correlations between natural data (climate, soil, water etc.) and anthropogenic pa-

rameters,

- explanation of input hypotheses,
- explanations of spatial and temporal developments of stress caused by pollution and
- estimation of the complexity of the geosystem's dynamics during its development.

Suitable methods and tools of timeseries-analysis and geostatistics are chosen in dependence on the properties of the available database. The development of methods is planned for

- estimating changes caused by the opening of a new mine and
- forecasting the future development for the area of investigation under different boundary conditions.

A detailed specification can only be given following a sufficient mathematical-statistical investigation of the existing database.

9. The legal framework for Environmental Impact Assessment in South Africa is a further component of the project. Initially, the research will focus on the requirements for Environmental Impact Assessment in South Africa and the effectiveness thereof. The focus is on the guidelines distributed by the Department of Environmental Affairs and Tourism for Environmental Impact Reporting and Integrated Environmental Management as well as by the Aid Memoire of the Department of Mineral and Energy Affairs (the latter contains the legislated procedure for mining developments in South Africa).

The findings will be compared to similar legislation from other countries. Specific investigations will be carried out to determine whether the procedures carried out by the mines of the study area fulfil all legal requirements in South Africa. Furthermore, the study involves comparisons with other South African mining developments as well as with other international case studies, specifically with regulations in Germany.

10. The operation and the establishment of new mines, the extension of the N4 National Road and the diversification of the other economic activities in the study area affect the living circumstances of the inhabitants. In order to provide assistance to the decision-making process of the local authorities and prognoses for future developments, the following questions should be in the center of attention of the socio-scientific research:

- What is the social background of the study area and how will it undergo a process of change?
- What is the impact of the mines on this region?

In particular, the research work must concentrated on:

- the number of people who are currently living and working in the area of investigation,
- the impact of an increasing migration on the socio surroundings,
- the quality and the quantity of migration,
- the origin, motivation and future intentions of migrant workers (and of their families)

and on

- the possibilities, opportunities, problems and willingness for interaction between local and migrant populations with regard to housing, education and health requirements.

For the following problem areas, investigations in chronological order (past and present) and prognoses of future developments are required:

- water supply and sanitation,
- dust and noise pollution,
- state of formal as well as informal residential buildings,
- types of diseases and their development,
- changes of horticultural and animal product structures and crime prevention.

Furthermore, the changes regarding the extension of the N4 National Road and local roads are to be assessed. For this, the following questions are of importance:

- What is the present quality and quantity of traffic in the study area and what are possible future developments?
- What are the impact and consequences of the road on local businesses?

For this purpose, traffic investigations and prognoses are necessary.

An evaluation of the contents and quality of information of the EMPR written for Kroondal Platinum Mine should also be undertaken. To assess the impact on the environment, an Environmental Management Program Report (EMPR) has been written by SRK Consulting: Engineers and Scientists. For the purpose of this study, it is necessary to take a closer look at this report.

The investigation of the social aspect should address the advantages and disadvantages of status as a local authority. The establishment of new mines could potentially have some legal implications for the region. At the moment, Kroondal is not yet registered as a local authority, a situation that could change in the future. In this regard, it is important to look at the following aspects:

- investigation into the process of registration as a local authority,
- specific requirements for this process and
- its impact on the residents and landowners of Kroondal.

11. In addition to the above-mentioned facts, one should take the language differences of the project partners into consideration. For a successful and efficient project, it is therefore necessary that everyone involved in the project have a working knowledge of English and German. To improve the command of language, especially of its technical use, and to develop a subtle feeling for its application, it is essential to work closely with

- German students,
- South- African students and
- German lecturers and scientists.

Each participant should linguistically profit from the project. Language difficulties should be re-

duced and overcome mainly through active language use and by compiling a glossary of words and phrases on the basis of pre-existing material.

To guarantee a relatively broad use and application of the results of the project, its conclusions should be published at different levels, for example for scientists, local inhabitants and authorities, but also for school children. Therefore, it is necessary to adapt the final form of the project's results to the specific and relevant needs of the people concerned.

### **Anschrift des Autors**

Dr. Oswald Blumenstein  
Universität Potsdam  
Institut für Geoökologie  
Postfach 60 15 53  
14415 Potsdam

## **A large-scale hydrological model for the semi-arid environment of north-eastern Brazil**

A. Bronstert, A. Güntner

### **Zusammenfassung**

Zur Quantifizierung der Wasserverfügbarkeit in den semi-ariden Tropen Nordostbrasilens wird ein großskaliges hydrologisches Modell entwickelt. Das Modell berücksichtigt die Prozesse Gewässerabfluß, Rückhalt in großen und kleinen Stauseen, Bodenwasserdynamik und Grundwasserneubildung in räumlich detaillierter Weise mit einem Zeitschritt von einem Tag.

Modellanwendungen für das Einzugsgebiet des Jaguaribe (72 000 km<sup>2</sup>) im brasilianischen Bundesstaat Ceará brachten bislang gute Ergebnisse. Sehr wichtige Forschungsaspekte betreffen die Thematik von typischen Maßstabsebenen und Skalenübergängen und die Berücksichtigung von Modellunsicherheiten. Dafür werden die hydrologischen Prozesse in ausgesuchten kleinen Einzugsgebieten (<200km<sup>2</sup>) detailliert betrachtet und modelliert. Das Projekt wird in Kooperation mit dem Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung bearbeitet und durchgeführt.

### **Summary**

For quantification of water availability in the semi-arid tropics of north-eastern Brazil, a large-scale water balance model has been developed. The model accounts for river runoff, reservoir storage, soil moisture and groundwater recharge in a spatially distributed mode on a daily time step. Considering the importance of lateral water flow for spatial patterns of soil moisture, modelling units are defined as terrain patches with similar characteristics referring to lateral processes based on a toposequence approach. Heterogeneity of vertical water fluxes due to varying soil and land-use properties is taken into account as sub-scale variability by distribution functions. Model applications for the Jaguaribe basin (72 000 km<sup>2</sup>) in the Federal State of Ceará, Brazil, are presented. Scaling issues and uncertainty of large-scale results are addressed by including simulations in small representative basins (<200 km<sup>2</sup>), located within the study area. Temporal scaling behaviour is investigated by using disaggregated rainfall data with hourly resolution.

### **Introduction**

Scarcity of water resources is a major constraint for agricultural production, life quality and development in the semi-arid tropics. Determination of natural water availability on a large spatial scale is an essential prerequisite to understand and to mitigate economic and social impacts of droughts of regional and state wide extent. Within an interdisciplinary approach, the bilateral Brazilian-German WAVES programme (Water Availability, Vulnerability of Ecosystems and Society in the Northeast of

Brazil) analyses social and natural systems in the semi-arid Northeast of Brazil, with focus on the Federal States of Piauí and Ceará (470 000 km<sup>2</sup>). A main objective of this project is the development of methods for integrated modelling at a regional scale, which will allow to identify possible pathways towards a sustainable common development of nature and society, also taking into account future climate change. Within this framework, the hydrological module is designed to quantify natural water availability, establishing at the same time the link between climate modelling / climate scenarios and the modules of water management and agro-ecosystems. First results of the integration of water availability and water management are given in Bronstert et al. (1999). The hydrological water balance model developed within WAVES is presented here.

## Objectives

The main requirements made on the hydrological model can be summarised as follows:

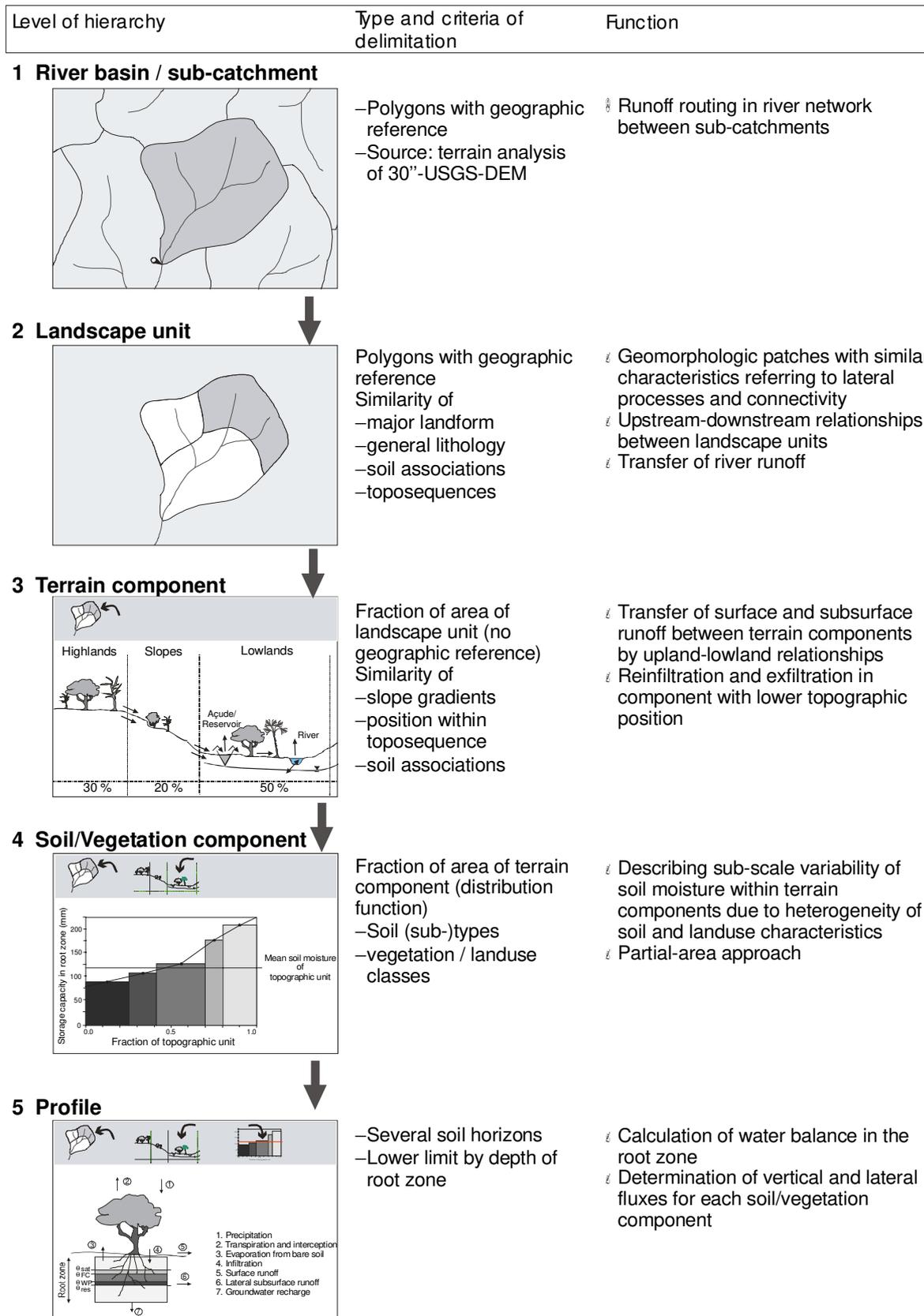
- Quantification of natural water availability in terms of river runoff, reservoir storage, soil moisture and groundwater storage.
- Capturing the influence of climate and land-use change on the water balance.
- Spatially distributed results for a large spatial scale in the range of 10<sup>5</sup> km<sup>2</sup>.
- Applicable for semi-arid hydro-climatological and physiographic conditions, e.g. high temporal and spatial variability of rainfall, high rainfall intensities, intermittent river runoff, sparse vegetation cover, shrinking and crusted soils.
- Assessment of uncertainty of model results in view of the scarce data availability.
- Adequate interfaces to adjacent modules within the integrated modelling approach in terms of input/output variables and parameters and their spatial and temporal scale.

## Modelling concept

As soil moisture is a controlling factor for runoff generation and soil-vegetation-atmosphere fluxes, focus during model development was laid on capturing the influence of spatially variable land-surface properties on soil moisture patterns at the regional scale. Local soil moisture is not only governed by vertical water fluxes in the soil column, but also by lateral surface and subsurface flow processes. The representation of lateral flow in existing large scale water balance models, however, is often rather crude and may refer to routing of surface runoff in the river network only. In the present approach, the principle of delineation of modelling units is removed from the classical vertical-based scheme: modelling units are defined as terrain patches with similar characteristics referring to lateral processes (landscape units in Fig. 1).

A hierarchical scheme for structuring river basins is applied (Fig. 1). It is based on the SOTER concept (Soil and Terrain Digital Database) (FAO, 1993), which subdivides the landscape according to landform, lithology and soils. This concept was extended for hydrological applications by defining topographic (upstream-downstream) relationships between its components at different levels of the hierarchy. Landscape units are represented with explicit geographic reference in the model, whereas smaller scale features (terrain components and soil/vegetation components) are given by areal fractions and distribution functions only (Fig. 1). The water balance is calculated for the rooted soil zone of each soil/vegetation component by simple conceptual approaches, including the quantification of lateral flow components and of groundwater recharge. Surface and subsurface runoff generated in one terrain component (e.g. highlands) is transferred to a terrain component with lower elevation (e.g. slopes), allowing for infiltration or return flow, respectively.

The water balance of large reservoirs (storage volume > 30×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>) is calculated explicitly for each of them (interface with the water management module). The huge number of small reservoirs cannot be taken into account with geographic reference, but only by means of distributions among storage volume classes within each catchment.



**Figure 1:** Hierarchical approach for disaggregation of river basins into modelling units with emphasis on lateral flow processes.

## Model application

The model was applied for the Rio Jaguaribe basin (72 000 km<sup>2</sup>) in the Federal State of Ceará, Brazil. The basin is predominantly located on crystalline bedrock. Surface runoff is the dominant runoff component and major source of water supply. Total storage capacity in the 4700 registered reservoirs amounts to about  $7 \times 10^9$  m<sup>3</sup> (SHR, 1992). Mean annual precipitation ranges from 500 mm in the dry interior of the basin to 1100 mm in elevated regions with up to 1000 m a.s.l. Rainfall is concentrated in a four month rainy period with high intermittency within the rainy period and large annual variability.

For parameterization of modelling units according to the hierarchical scheme presented above, geomorphologic and soil attributes of and were used. Based on air-borne radar images, terrain patches with similar surface characteristics in terms of valley density and depth were delineated. Mean slope gradients for landscape units were derived. This approach was found to be more consistent with the requirements for adequately representing lateral fluxes in the large-scale model than terrain attributes obtained from commonly available grid-based topographic information at this scale, as the USGS 30-arc seconds global Digital Elevation Model. Spatial vegetation and land-use data were obtained from the global 1-km AVHRR data set of Eros Data Center.

Considering the wide range of spatial scales between runoff generation at the hillslope and water availability at the regional scale, additional small scale simulations were performed. Detailed physiographic and rainfall data of nested representative catchments (0.7 - 200 km<sup>2</sup>) located within the study area were used. As the smallest catchment was not influenced by any water retention in reservoirs, model performance with respect to runoff generation could be directly evaluated. By comparing model results based on the detailed data sets of this focus area with the results obtained by applying the available large-scale data, model uncertainty of the large-scale model was assessed. The influence of the temporal scale on parameter values and simulation results was examined by model runs with hourly resolution. Disaggregated hourly rainfall volumes which reflected adequately major short-term rainfall characteristics of the study area were used as input.

## Conclusions

Capturing spatial patterns of soil moisture is an essential requirement on water balance models due to its importance for runoff generation on the one hand, but also due to the feedback in coupled applications with e.g. climate or vegetation / crop models on the other hand. However, in view of the large heterogeneity of land surface characteristics which govern soil moisture, modelling approaches should focus on dominant mechanisms in order to be applicable at a regional scale. In the present study, process conceptualisation and delineation of modelling units reflects in particular the importance of lateral fluxes for soil moisture distributions. Heterogeneity concerning vertical processes is represented as sub-scale variability. The top-down approach applied for subdividing the study area ensures to concentrate on the key land surface properties with regard to the objective of the model application. Thus, the number of discrete modelling units can be kept low. Furthermore, this approach is appropriate with regard to the limited data availability of most large-scale applications: The use of areal fractions and distribution functions allows to incorporate spatial information of which the geographic location cannot be given explicitly. Similarly, the uncertainty of model parameter values can be taken into account.

## References

BRONSTERT, A.; JAEGER, A.; GÜNTNER, A.; HAUSCHILD, M.; DÖLL, P.; KROL, M. (2000): Integrated modelling of water availability and water use in the semi-arid Northeast of Brazil. *Phys. and Chem. of the Earth*, 25(3), 27-232.

FAO (1993): Global and national soils and terrain digital databases (SOTER). Procedures Manual. World Soil Resources Reports No.74. Roma, Italy.

SRH (1992): Plano Estadual dos Recursos Hídricos. Vol.1, Diagnóstico, Secretaria dos Recursos Hídricos, Governo do Estado do Ceará, Fortaleza, Brasil.

**Anschrift des Projektleiters**

Prof. Dr. Axel Bronstert  
Universität Potsdam  
Institut für Geoökologie  
Postfach 60 15 53  
14415 Potsdam  
E-mail: [axelbron@rz.uni-potsdam.de](mailto:axelbron@rz.uni-potsdam.de)

## **Hochwasserproblematik und der Zusammenhang mit Landnutzungs- und Klimaänderungen**

A. Bronstert, D. Katzenmaier, U. Fritsch

### **Zusammenfassung**

Aussagen darüber, in welcher Art, in welchem Ausmaß und auf welcher räumlichen und zeitlichen Maßstabsebene die Umweltänderungen (Landnutzungsänderungen, Klimaänderungen) Einfluß auf die Hochwasserentstehung und nachfolgend auf die Abflusssituation in den Flüssen bei Hochwasser nehmen sind immer noch mit großen Unsicherheiten behaftet. Daher werden in diesem Projekt Wirkungsabschätzung von Rückhalte- und Versickerungsmaßnahmen in der Fläche, von den Auswirkungen verschiedener Vegetations- und Bearbeitungsmuster in der Landwirtschaft, von Renaturierungsmaßnahmen an kleinen sowie von Ausbaumaßnahmen an den großen Flüssen auf die Hochwasserbedingungen am Rhein durchgeführt. Diese Wirkungen sollen zu den Effekten von Rückhaltemaßnahmen an den großen Flüssen (Flutpolder, Überschwemmungsgebiete), zur natürlichen Abflusssbereitschaft des Gebietes (Sättigungsgrad des Bodens) und zu den Eigenschaften der hochwasserauslösenden Niederschlagsfelder in Beziehung gesetzt werden.

### **Summary**

So far, the cause-effect relations between the factors climate, weather, extreme precipitation, properties of the land surface, the runoff potential of the catchment, and flood routing in the river are only partially understood. The objective of the project is the scientifically based assessment of the impacts of these factors. In particular the role of the conditions of the land surface (i.e. the infiltration capacity) on the magnitude of flood generation and its comparison with the storage and discharge conditions of the large rivers and their retention areas is subject of the investigations in this project.

### **Projektbeschreibung**

Um die Auswirkung des Rückhaltevermögens der Landschaft und der Ausbaubedingungen an den großen Flußläufen auf die Hochwassersituation des Rheins quantitativ beurteilen zu können, wird eine Wirkungsabschätzung von Rückhalte- und Versickerungsmaßnahmen in der Fläche, von verschiedenen Vegetations- und Bearbeitungsmustern in der Landwirtschaft, von Renaturierungsmaßnahmen an kleinen sowie von Ausbaumaßnahmen an den großen Flüssen auf die Hochwasserbedingungen am Rhein durchgeführt. Diese Wirkungen sollen zu den Effekten von Rückhaltemaßnahmen an den großen Flüssen (Flutpolder, Überschwemmungsgebiete), zur natürlichen Abflusssbereitschaft des Gebietes (Sättigungsgrad des Bodens) und zu den Eigenschaften der hochwasserauslösenden Niederschlagsfelder in Beziehung gesetzt werden.

Die Untersuchungen des Einflusses der Gebietseigenschaften (z.B. Landnutzung und -bedeckung) und der Flußbaumaßnahmen (Ausbaumaßnahmen am Rhein und seinen Nebenflüssen) auf die Hochwasserbedingungen im Rheingebiet von Maxau bis Lobith (niederländisch-deutsche Grenze) wird auf verschiedenen Maßstabsebenen durchgeführt.

1. Im Maßstabbereich der unteren Mesoskala (Gebietsfläche ca. 100 km<sup>2</sup> bis 500 km<sup>2</sup>) soll mit detaillierten hydrologischen Modellierungen und Analysen der Landnutzungsentwicklung der Einfluß der Landoberfläche bzw. -bedeckung auf die Abflußbildung während Starkniederschlagsperioden quantifiziert werden.
2. Übertragung der detaillierten Erkenntnisse der Abflußbildung auf größere (bis ca. 2000 km<sup>2</sup>) Einzugsgebiete (Nebenflußgebiete des Rheins). Hierbei soll das detaillierte Modell verallgemeinert und so regionalisiert werden, daß auf Basis verfügbarer Flächendaten (Topographie, Gewässernetz, Landnutzung, Bodenkarte) die Parametrisierung erfolgen kann.
3. Berechnung des Wellenablaufs im Rhein und seinen großen Nebenflüssen. Damit sollen die Einflüsse der Landoberfläche auf den Abfluß im Rhein integriert und zusammen mit den Wirkungen von Ausbaumaßnahmen am Rhein und seinen Nebenflüssen (incl. der Wirkung von Rückhaltemaßnahmen im Fluß) auf den Hochwasserabfluß quantifiziert werden.

Die Ergebnisse sollen fundierte Aussagen erlauben, in welchem Umfang Änderungen der Oberfläche des Einzugsgebietes (etwa bestimmte Bodenbearbeitungstechniken, Ver- und Entsiegelungsmaßnahmen, dezentrale Rückhaltemaßnahmen, Rodungen, Änderung des Vegetationszustandes oder Pflanzenwasserverbrauchs etc.) sowie Änderungen der klimatologischen Randbedingungen und flußbauliche Maßnahmen auf die Hochwasserbedingungen wirken.

Dieser Erkenntnisgewinn bildet die Voraussetzung, um die in der wissenschaftlichen und öffentlichen Diskussion genannten Zahlen möglicher Hochwasserverschärfungen durch Landnutzungsänderungen in der Fläche des Einzugsgebietes und an den Gewässern selbst ebenso wie die gezielten Maßnahmen zur Hochwasserminderungen wie z.B. dezentrale Wasserrückhaltung, Flutung von Poldern etc. besser beurteilen zu können.

Das Projekt wird durchgeführt in Kooperation mit dem Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Universität Stuttgart, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz und RIZA, Arnheim (Niederlande) sowie der Kommission für die Hydrologie des Rheins, KHR.

## **Literatur**

IMMENDORF, R. (1997): Hochwasser, Natur im Überfluß ? Verlag C.F. Müller, Heidelberg

BALABANIS, P.; BRONSTER, A.; CASALE, R.; SAMUELS, P. - Eds. (1999): The Impact of Climate Change on Flooding and Sustainable River Management. European Commission, DG XII, Environment and Climate Programme; Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg, 404 pp

BRONSTERT, A.; GHAZI, A.; HLADNY, J.; KUNDZEWICZ, Z.; MENZEL, L. - Eds. (1999): Proc. European Expert Meeting on the Oder Flood 1997. European Commission, DG XII; Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg, 163 pp

BRONSTERT, A. - Ed. (1996): Hochwasser in Deutschland unter Aspekten globaler Veränderungen. Bericht über das DFG-Rundgespräch am 9. Oktober 1995 in Potsdam. PIK-Report 17: 59 pp

BRONSTERT, A. (1996): River Flooding in Germany: Influenced by Climatic Change ? Physics and Chemistry of the Earth 20(5-6): 445 - 450

Internet : <http://www.PIK-Potsdam.de/mantle/lahor/lahor3zwb.pdf>

**Anschrift des erstgenannten Autors**

Prof. Dr. A. Bronstert  
Universität Potsdam  
Institut für Geoökologie  
Postfach 60 15 53  
14415 Potsdam  
E-mail: [axelbron@rz.uni-potsdam.de](mailto:axelbron@rz.uni-potsdam.de)

## **Vergleichende Untersuchungen zur Wasserqualität des anfallenden Regenwassers an den 14 Regenwassereinläufen der Stadt Potsdam**

S. Friedrich

### **Zusammenfassung**

Durch Schadstoffe im Regenwasser werden die Oberflächengewässer belastet. Deshalb soll das Regenwasser der Stadt Potsdam an 14 verschiedenen Einläufen (Sammelstellen) auf folgende Parameter untersucht werden:

- ausgewählte anorganische Ionen
- ausgewählte organische Verbindungen
- Summenparameter

Es sollen Aussagen über die Qualität des Regenwassers an den verschiedenen Einläufen getroffen werden, um auch eventuelle Fremdeinleitungen von Abwasser oder andere Belastungen aufzufinden.

### **Summary**

Rainwater pollutants contaminate surface waters. Therefore rainwater samples shall be collected at fourteen different gathering points and analyzed to the following parameters:

- selected inorganic and heavy metal ions
- selected organic compounds
- summation parameters

First we want to characterize and compare the rainwater quality of the different gathering points in location and time. Indications to illegal sewage loads or other kinds of rainwater contamination shall be found furthermore.

### **Projektbeschreibung**

Das anfallende Regenwasser gelangt über die Einläufe in die Oberflächengewässer, d.h. in die Seen und Flüsse der Stadt Potsdam. Mit diesem Wasser gelangen auch die unterschiedlichsten Schadstoffe in die Gewässer.

Die Aufgabe dieser Untersuchungen besteht darin, grundlegende Aussagen über die Zusammensetzung des anfallenden Regenwassers zu machen und besondere Belastungen aufzuzeigen. Deshalb

werden an 12 Regenwassereinlaufstellen (12 Einläufe, 2 Vergleichsproben, sogenannte Nullproben) der Stadt an 4 Regentagen der Jahre 1999 / 2000 (je einmal im Frühling, Sommer, Herbst, Winter) Proben entnommen und auf folgende Parameter untersucht:

- Farbe, Geruch, Trübung, Leitfähigkeit, Wassertemperatur, pH - Wert
- Phosphat (gesamt), Chlorid, abfiltrierbare Stoffe, CSB
- Calcium, Magnesium, Blei
- AOX, MKW, DOC
- Stickstoff (gesamt), N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>2</sub>, N-NO<sub>3</sub> und organischer N nach Kjeldahl

Die ermittelten Werte der Untersuchungsparameter der 12 Regenwassereinläufe der Stadt werden dann nach unterschiedlichen Kriterien miteinander verglichen.

Auftretende Unterschiede zwischen den Konzentrationen der einzelnen chemischen Parameter werden an den verschiedenen Probenahmestellen und den verschiedenen Tagen gesondert erfaßt und mit aktuellen Grenzwerten und Vergleichswerten aus der Literatur verglichen.

Damit sollen einerseits eventuelle Fremdeinleitungen oder andere Belastungen des Regenwassers aufgezeigt werden und andererseits grundlegende Erkenntnisse über die Qualität des anfallenden Regenwassers im Raum Potsdam gesammelt werden.

Das Institut für Berufspädagogik / Berufliche Fachrichtungen Elektro- und Metalltechnik ist das durchführende und koordinierende Institut und schließt mit den Instituten für Anorganische Chemie, Physikalische Chemie und der Landesanstalt für Landwirtschaft Kooperationsverträge ab.

#### **Anschrift der Autorin**

Dr. Sabine Friedrich  
Universität Potsdam  
Institut für Berufspädagogik  
Pf 60 15 53  
14415 Potsdam  
E-mail: [frieds@rz.uni-potsdam.de](mailto:frieds@rz.uni-potsdam.de)

## **Bodenzerstörung im Palouse, Washington, USA**

K. Geldmacher, H.-R. Bork, B. Röpke, S. Schaphoff, T. Schnur, F. Woithe, H. Bork, C. Dalchow, B. Faust

"Palouse farmers have not killed the golden goose but are plucking it to death" (Steiner 1990: 94)

### **Zusammenfassung**

Die zeitliche Veränderung von Hangerosion und bearbeitungsbedingter Bodenverlagerung konnten quantifiziert und auf die Landnutzungsentwicklung im 20. Jahrhundert zurückgeführt werden. Die Forschungsarbeiten wurden in einem kleinen, lößbedeckten Einzugsgebiet im zentralen Palouse in Ost-Washington durchgeführt, dessen hügeliges Relief durch die charakteristischen "rolling hills" geprägt ist.

Detaillierte Untersuchungen der Bodenhorizonte und Kolluvien an einem Hang beweisen, daß Hangerosion und bearbeitungsbedingte Bodenverlagerung etwa seit dem Jahr 1935 in hohem Maße auftraten. In diesem Jahr wurde der Ackerbau auf die steilen Hangabschnitte und die Hügelkuppen ausgedehnt. Eine zweijährige Fruchtfolge mit einjähriger Schwarzbrache ohne jegliche Vegetationsbedeckung bildete den Ansatzpunkt für extrem hohe Wassererosionsraten. Von 1935 bis 1980 wurde durchschnittlich 198 t Bodenmaterial pro Hektar und Jahr erodiert. Die 1980 eingeführte pfluglose Bodenbearbeitung brachte in den folgenden Jahren nur eine Reduzierung der Erosionsraten um 14 %. Seitdem betragen diese durchschnittlich 171 t pro Hektar und Jahr.

Durch häufiges Pflügen besonders während der Brachejahre wurde zusätzlich Bodenmaterial hangabwärts bewegt. Auf den Kuppen wurde der Boden dadurch seit 1935 bis zu einer Tiefe von 130 cm abgetragen. Der auf bearbeitungsbedingte Bodenverlagerung auf den untersuchten Kuppen zurückzuführende Bodenverlust beträgt seitdem im Durchschnitt 84 t pro Hektar und Jahr.

### **Summary**

The temporal changes of hillslope erosion and tillage translocation were quantified and related to land use dynamics in the 20th century. The research was undertaken in a small catchment with rolling hills which is covered by loess soils and situated in the centre of the Palouse, Eastern Washington.

Detailed investigations of soil horizons and colluvial sediments on a slope prove that hillslope erosion and tillage translocation was high since about 1935 AD. In 1935 agricultural land use was extended to the steep parts of the slopes and to the top of the hills. A two-year crop rotation with one year fallow, i.e. without any vegetation cover, enabled extremely high water erosion. From 1935 till 1980 more than 198 tons of soil were eroded in average per hectare and year. By the help of non-tillage management the soil erosion rate was reduced by 14% only in the year 1980 and later. Since then the average soil erosion rate amounts to 171 tons per hectare and year.

Frequent tillage operations namely during the years with fallow moved soil downslope. The soil on the top of the hills was removed by tillage operations to a depth of more than 130 cm since the year 1935. Since then the removal of soil due to tillage translocation on the top of a slope under investigation amounts to 84 tons per hectare and year in average.

### **Die Entwicklungsgeschichte**

Eine im Osten des US-Bundesstaates Washington und im Westen von Idaho gelegene hügelige, fruchtbare Lößlandschaft, das Palouse, empfängt im vieljährigen Mittel lediglich von 300 mm im Westen bis 500 mm Jahresniederschlag im Osten. Im trockenen Westen und Zentralbereich des Palouse dominierte bis zum Ende des 19. Jh. Grasland, das im Osten in eine offene Waldlandschaft überging. Brände, die in den vergangenen Jahrhunderten regelmäßig von Indianern gelegt wurden, ermöglichten den Erhalt des Graslandes. Unter diesen Klima- und Nutzungsbedingungen bildeten sich an den Hängen vorwiegend Schwarzerden, die bis zum Ende des 19. Jh. im zentralen und östlichen Palouse entkalkt, verbraunt und lessiviert wurden.

Ackerbauern verdrängten in den ersten Jahren des 20. Jh. weitgehend ebenfalls europäisch stämmige Viehzüchter, die in den vorausgegangenen beiden Jahrzehnten in das Palouse eingewandert waren (Tab. 1). Trotz der geringen Niederschlagssummen konnte - zunächst hauptsächlich an den flacheren und konkaven Unterhängen - sehr erfolgreich vor allem Getreide im Trockenfeldbau erzeugt werden. Das Palouse entwickelte sich bis zur Mitte des 20. Jh. zu einem der bedeutendsten Weizenanbaugelände Nordamerikas. Trotz der schließlich erheblichen Zahl der vor eine Maschine gespannten Zugpferde verhinderten sehr steile Mittelhänge vielerorts die Beackerung der Ober- und Mittelhänge. So blieben zahlreiche steile Hangpartien und über diesen liegende Kuppen bis in die 30er Jahre des 20. Jh. von intensiver ackerbaulicher Nutzung ausgenommen. Erst der Einsatz von Raupenfahrzeugen mit tiefliegendem Schwerpunkt ließ eine nahezu flächendeckende Ackernutzung ab etwa 1935 zu. Selbst Hangabschnitte mit Neigungen weit über 30% wurden unter den Pflug genommen.

Mit dem Wechsel von Zugtieren zu Zugfahrzeugen tauschten die Farmer den weit überwiegende Teil ihrer Ackergeräte aus. Nicht mehr benötigtes Gerät wurde nicht selten an den Tiefenlinien „entsorgt“ - dieses submoderne Archiv bietet uns heute eine willkommene weitere Möglichkeit der Datierung von Sedimenten, die sich seitdem auf den eisernen Relikten ablagerten.

Abschnittweise steile Hangpartien behinderten nunmehr nicht länger die Einrichtung großer, einheitlich bestellter Schläge. Standorte mit geringem Wasserhaltevermögen wurden nur jedes zweite Jahr bebaut. Wiederholtes Pflügen hielt im Brachejahr die Flächen vegetationsfrei. Auf den zur Verschlammung neigenden Bodenoberflächen reduzierte sich das Wasseraufnahmevermögen insbesondere des obersten Bodenmillimeters jedoch erheblich. Während stärkerer, meist gewittriger lokaler Niederschläge entstehender Abfluß auf der Bodenoberfläche konnte so ungehindert die steilen Hänge hinabfließen und dort viele, etliche Zentimeter bis wenige Dezimeter tiefe Rillen einschneiden. Früher wie heute fahren die Farmer wenige Tage nach einem Abfluß- und Abtragsereignis auf ihre ausgedehnten Felder um die entstandenen Rillen mit dem Pflug oder Grubber zu schleifen. Das Einreißen tiefer Rinnen wurde und wird so meist verhindert. Mit den Jahren wurden vor allem die steilen Mittelhänge durch die beschriebenen linienhaft wirksamen Prozesse der Bodenerosion tiefer gelegt und die Senken mit teilweise geschichteten Kolluvien aufgefüllt.

Das häufige Pflügen hat zu einem starken Bodenverlust besonders an den Kuppen geführt. Das Palouse Country gehört aufgrund der beschriebenen Vorgänge zu den zehn erosionsreichsten Landschaften der USA (Tab.2 und Steiner 1990).

Welches Ausmaß besaßen die Feststoffverlagerungen und unterlagen die Prozesse nutzungs- oder klimabedingten Schwankungen im 20. Jh.? Sind die Effekte von Bodenerosion und bearbeitungsbedingter Bodenverlagerung differenzierbar?

## Die Feststoffbilanzen

Eine unserer zentralen Aufgaben bestand demnach in der quantitativen Rekonstruktion des Ausmaßes und der Ursachen der Bodenverlagerung in den vergangenen Jahrzehnten.

Bodenerosion erfolgte durch Abfluß auf der Bodenoberfläche während der Starkniederschläge. In den ersten Jahren des Ackerbaus trat nur mäßig starke Bodenerosion auf. Mit dem Einsatz schwerer Technik und dem Ablösen von Pferden durch Traktoren als Zugkräfte z. B. um 1935 auf der nordwestlich von Colfax gelegenen Farm von Dwight Fowler trat eine Beschleunigung der Bodenerosion als auch der bodenbearbeitungsbedingten Bodenverlagerung auf.

Für einen 180 m langen Hang mit einem sehr steilen unteren Oberhang auf dem Gelände der Farm von Dwight Fowler wurden Wassererosionsraten ermittelt, die für den Zeitraum 1935 bis 1980 im Mittel mehr als 198 Tonnen pro Hektar Erosionsbereich und Jahr und für die Zeit vom Mai 1980 bis zum August 1998 im Mittel 171 Tonnen pro Hektar Erosionsbereich und Jahr betragen (zur Berechnung s. Exkurs 1). Der Rückgang der mittleren Abtragsraten um mehr als 50 Tonnen pro Hektar und Jahr oder um 14% nach 1980 ist sehr wahrscheinlich nur auf das veränderte Management und weniger auf einen Wandel des Klimas zurückzuführen. Einerseits wurde die Zahl der Bodenbearbeitungen in den Brachejahren drastisch reduziert, andererseits die Minimalbodenbearbeitung eingeführt. Da jedoch unverändert der steile Oberhang jedes zweite Jahr schwarzbrach gehalten wird, ist der Wert von 171 Tonnen pro Hektar Erosionsbereich und Jahr seit 1980 immer noch sehr hoch - unverändert hoch.

Ist der untersuchte Hang typisch für die kuppige Lößlandschaft des Palouse oder stellt er eher ein Extrem dar? Hinsichtlich der Form und der Gefällsverhältnisse ist er grundsätzlich vergleichbar mit dem überwiegenden Teil der Hänge im zentralen und östlichen Palouse. Lediglich im Westen sind geringere Neigungen häufiger.

Für den jüngsten Zeitraum - die Jahre von der Ablagerung der Tephra des Mt. St. Helens im Mai 1980 bis zu unseren Aufnahmen im August und September 1998 - konnten Abtragungs- und Ablagerungswerte für das gesamte Einzugsgebiet, in dem sich unser Untersuchungsang befindet, rekonstruiert werden. Dieses Wassereinzugsgebiet, das wir in Ermangelung eines offiziellen Namens als „Dwight's Creek Catchment“ bezeichnen, hat eine Fläche von 275 Hektar. Insgesamt 35% oder 96 Hektar sind nach unseren Bodenuntersuchungen dem Akkumulationsbereich zuzurechnen. Wassererosion konnte sich hauptsächlich auf den übrigen 65% oder 179 Hektar vollziehen. Entlang der zusammen etwa 7500 m langen Tiefenlinien wurden mehr als 50 Aufschlüsse angelegt und dort die Mächtigkeiten der seit dem Mai 1980 abgelagerten Kolluvien bestimmt. Die mittlere Mächtigkeit der Kolluvien in den durchschnittlich 130 m breiten Akkumulationsbereichen lag bei etwa 20 cm, ihr Gesamtvolumen bei 192 000 m<sup>3</sup> oder 326 000 Tonnen. Bezieht man dieses Bodenvolumen bzw. diese Bodenmasse auf den 179 Hektar umfassenden Erosionsbereich, ergeben sich Abtragswerte von 1073 m<sup>3</sup> bzw. 1823 Tonnen pro Hektar. Im Mittel des 18-jährigen Zeitraums von 1980 bis 1998 wurden damit 101 Tonnen Boden pro Hektar Erosionsfläche und Jahr abgetragen und auf den Unterhängen und an den Tiefenlinien wieder abgelagert. Aufgrund des spezifischen Reliefs mit breiten, flachen, konkaven Trockentälern geringer Neigung hat nur ein sehr geringer Teil (wahrscheinlich weniger als 10%) des gesamten Bodenabtrages durch Wassererosion die größeren Vorfluter erreicht und damit das Palouse verlassen. Erste grobe Untersuchungen der Sedimente in den Auen der Flüsse belegen diese Aussage.

Bezogen auf den gesamten Untersuchungsang 1, also unter Einbeziehung des Akkumulationsbereiches, ergibt sich eine flächenbezogene Bodenerosionsrate von 86 Tonnen pro Hektar und Jahr seit 1980 (Halbierung des Abtragswertes für den Erosionsbereich von 171 t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> durch Verdoppelung der Fläche). Eine flächenbezogene Bodenerosionsrate von 66 Tonnen pro Hektar und Jahr seit 1980 resultiert für das gesamte Einzugsgebiet von Dwight Fowler's Creek (Reduzierung des Abtragswertes für den Erosionsbereich von 101 t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> um 35% durch Vergrößerung der Fläche um 35%). Damit bestätigen die Einzugsgebietsdaten, die in stärkerem Maße flache Hangabschnitte und einen kleineren Akkumulationsbereich beinhalten, in der Größenordnung die Werte, die für den steilen Untersuchungsang 1 ermittelt wurden.

Die einschlägige agrarwissenschaftliche Literatur schätzt die mittlere Bodenerosion im gesamten bzw. im zentralen Palouse mit Werten um  $20 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  bzw.  $45 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  jedoch deutlich niedriger (Tab. 2). Die erhebliche Diskrepanz zwischen diesen, vorwiegend über klassische Parzellenversuche bestimmten und den von uns über paläoökologische Methoden ermittelten Werten sollte durch weitere Untersuchungen in der Hang- und in der Einzugsgebietsskala geprüft werden.

### **Bodenverlagerung durch Bodenbearbeitung**

Die präroduktionszeitlichen, vollständigen Bodenprofile (Schwarzerde-Parabraunerden mit Kalkanreicherung im Cc-Horizont) hatten auf den untersuchten Ober- und Mittelhängen Mächtigkeiten um 165 cm. Bis zum Ende des 19. Jh. lag in der Catena Dwight Fowler 1 unter einem 30 cm mächtigen Humushorizont ein meist etwa 35 cm Tonverarmungshorizont, ein durchschnittlich 60 cm mächtiger Tonanreicherungshorizont und ein 40 cm mächtiger C-Horizont mit Anreicherung von Kalziumkarbonat. Demnach fehlten im Untersuchungsjahr 1998 in der Catena Dwight Fowler 1 (vgl. Exkurs 2)

an der Wasserscheide	über 130 cm Boden,
bei 5 m Hanglänge	115 cm Boden,
bei 10 m Hanglänge	95 cm Boden sowie zwischen
20 m und 80 m Hanglänge	bis zu etwa 20 cm Boden.

Die mittlere bodenbearbeitungsbedingte Bodenverlagerung von 0 bis 80 m Hanglänge umfaßt durchschnittlich die oberen 33 cm des Bodens. Für einen Hangausschnitt, der eine Breite von einem Meter aufweist, sind dies  $27 \text{ m}^3$  Boden oder (bei einem spezifischen Gewicht von  $1,6 \text{ g cm}^{-3}$ ) 43 Tonnen, die durch Bodenbearbeitung allmählich hangabwärts bewegt wurden. Bezieht man diesen Betrag auf einen 80 m breiten und 125 m parallel zur Wasserscheide verlaufenden Hangausschnitt, ergibt sich eine mittlere kummulative bodenbearbeitungsbedingte Bodenverlagerung von 5400 Tonnen pro wasserscheidennahem Hektar. Unter der wahrscheinlichen Annahme einer etwa 64-jährigen, von 1935 bis 1998 währenden Dauer der Nutzung des Ober- und Mittelhangs, resultiert eine mittlere jährliche bodenbearbeitungsbedingte, hangabwärtige Bodenverlagerung von 84 Tonnen pro Hektar wasserscheidennahem Bereich und Jahr.

Da der Standort jedoch in den vergangenen 18 Jahren nur zusammen in 4 Jahren je einmal gepflügt wurde, reduziert sich die Zahl der Jahre mit Pflugtätigkeit auf maximal 50. Im 46-jährigen Zeitraum von 1935 bis 1980 wurde der Oberhang nur jedes zweite Jahr bebaut (d.h. 23 Jahre mit einmaligem Pflügen). Durch Pflügen wurde nach den Bodenprofilanalysen Ah-, Al- und Bv,t-Horizontmaterial, das um das Jahr 1935 noch an der Wasserscheide lag, in den seitdem vergangenen 64 Jahren maximal 80 m hangabwärts bewegt, kalkhaltiges C-Horizontmaterial - das erst seit weitaus kürzerer Zeit an der Oberfläche liegt - bis zu 20 m.

Legt man hangabwärtige Bodenverlagerungsdaten von im Mittel  $0,30 \text{ cm}$  pro Pflugbearbeitung zugrunde, ergibt sich eine Summe von 267 Pflugbearbeitungen seit dem Beginn des Ackerbaus an den Ober- und Mittelhängen um das Jahr 1935. Eine Addition der bekannten Pflugbearbeitungen in Jahren mit Pflanzenbau (23 mal von 1935 bis 1980) und dem viermaligen Pflügen seit 1981 ergibt 27 Bearbeitungsgänge. Die restlichen 240 Pflugbearbeitungen verteilen sich auf die 23 Brachejahre bis 1980. In den zwischengeschalteten Brachejahren wurde gemäß der obigen Annahmen durchschnittlich zehnmal jährlich gepflügt, um die Bodenoberfläche weitgehend vegetationsfrei zu halten.

Geht man davon aus, dass eine Pflugbearbeitung Boden durchschnittlich um  $0,5 \text{ m}$  hangabwärts bewegt, resultieren 160 Bodenbearbeitungen. Abzüglich der 27 Bearbeitungen in Jahren mit Pflanzenbau von 1935 bis 1980 und dem viermaligen Pflügen seit 1981, verbleiben 133 Pflugbearbeitungen und damit durchschnittlich sechsmaliges Pflügen in jedem der 23 Jahre mit Schwarzbrache.

Landschaftsbilanzen erfordern Angaben für die gesamte Fläche. Die für den schmalen, wasserscheidennahen Bereich ermittelten, hohen Werte für die bodenbearbeitungsbedingte Bodenverlagerung sind demnach auch auf den gesamten Hang zu beziehen. Der Bereich, in dem in der vieljährigen Bilanz

nicht nur Durchtransport, sondern Bodenverlust durch Bodenbearbeitung stattfand und die Bodenprofile verkürzt sind, nimmt - wie erwähnt - lediglich die oberen 80 m des 180 m langen Hanges ein. Die bearbeitungsbedingten Bodenverlagerungen für den wasserscheidennahen Bereich - 5400 Tonnen pro wasserscheidennahem Hektar Oberfläche seit 1935 oder von 84 Tonnen pro wasserscheidennahem Hektar und Jahr - sind demnach mit dem Faktor 0,44 zu multiplizieren, der den Flächenanteil mit bearbeitungsbedingtem Bodenverlust bezogen auf den Gesamthang angibt. Somit wurden bezogen auf den gesamten Hang seit 1935 zusammen 37 Tonnen pro Hektar und Jahr alleine durch Bodenbearbeitung hangabwärts verlagert.

Ohne diese Daten sind Vergleiche von verschiedenen Hängen, Betrieben und Landschaften nicht möglich. Flächenbezogene Mittel können jedoch auch irreführend wirken, da sie die gravierenden standörtlichen Unterschiede nivellieren. Insbesondere ist den Flächenmitteln nicht zu entnehmen, dass die Variabilität der Bodendecke und damit der Bodenfruchtbarkeit, des Düngerbedarfes und der Anbaumöglichkeiten durch die bodenbearbeitungsbedingte Bodenverlagerung eine erhebliche Verstärkung erfahren hat.

**Tabelle 1: Daten zur Landnutzungsgeschichte des Palouse (Washington und Idaho, USA) nach Steiner (1990)**

1834	werden die ersten Rinder in das Columbia Basin gebracht
1855	befinden sich etwa 200.000 Rinder im Columbia Basin
1860er	zum Ende der Dekade beginnt die Rinderhaltung im Palouse Country
um 1870	sind die Täler des Palouse Country weitgehend von Rinderzüchtern erschlossen. Ein Überangebot an Rindern führt zum Eintreffen zahlreicher Schafzüchter
1877	entdecken Farmer die Fruchtbarkeit der mächtigen Lößböden im Palouse
1880er	Zu Beginn der Dekade ist das beste Land im Palouse vergeben ("claimed")
1880er	Die Northern Pacific Railroad erreicht das Palouse Country
1872	leben in der gesamten "Palouse area" 200 Menschen
1890	leben im Whitman Country 19.109 Menschen und im Latah Country, Idaho, 9.173 Menschen
	Herkunftsgebiete der Einwanderer: Midwest und Great Plains States; Deutschland, Rußland, England, Kanada, Irland, Österreich, Schweiz, Skandinavien, China
	Deutsche und Rußlanddeutsche besiedeln das Grasland, die Skandinavier das bewaldete östliche Palouse Country
1889/90	entstehen in einer Entfernung von nur 12 Meilen zwei land-grant colleges: die University of Idaho in Moskow und das Washington State College (heute Washington State University) in Pullman
um 1919	beginnt der Anbau von Getreide zu dominieren

Hauptnutzungstypen im Palouse Country Ende der 1980er Jahre:

- 58 % Ackerland
- 28 % Weideland
- 8 % Wald
- 3 % aufgeforstetes Grünland
- 3 % sonstige Flächen

Mittlere Farmgrößen Ende der 1980er:

im Osten des Palouse	ca. 200 ha
im Zentrum und im beginnenden Westen des Palouse	ca. 465 ha

Weitere Daten zur Nutzung des Palouse Country Ende der 1980er Jahre:

- Hauptanbaufucht: soft white winter wheat
- weitere Anbaufrüchte: soft white spring wheat, spring barley, dry peas, lentils

Weizenerträge:	im Jahr 1934 durchschnittlich	1.750 kg ha <sup>-1</sup>
	Ende der 1980er durchschnittlich	über 3.400 kg ha <sup>-1</sup>
	Ende der 1980er maximal	6720 kg ha <sup>-1</sup>

Tabelle 2: **Erosion im Palouse (Washington und Idaho, USA) nach Steiner (1990)**

Mittlere Bodenerosionsraten

1939 bis 1978 im Ackerland des Palouse:	20 t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
im Zentrum des Palouse	45 t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>

Bodenabtragsschätzungen im Ackerland für das Jahr 1982

nach NRI:	26 t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> in der Major Land Use Resource Area 9 (größerer Raum)
nach USDA:	45 t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> im zentralen Palouse Country

Bodenaustrag über den Palouse River (Einzugsgebiet: 8100 km<sup>2</sup>):

3 Mio t a <sup>-1</sup> auf 8.100 km <sup>2</sup> oder
3,7 t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> (Bezug: gesamtes Einzugsgebiet) oder
6,4 t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> (Bezug: Ackerland)

Folgen von Bodenerosion und Sedimentation im Palouse:

- Das US Army Corps of Engineers mußte 89 % seiner Pläne, Erholungsräume am Snake River zu schaffen, aufgeben.
- Das Whitman Country zahlt jährlich \$ 0.5 Mio bis \$ 1.6 Mio zur Beseitigung von erosionsbedingten Straßenschäden.
- Die Erträge landwirtschaftlicher Produkte werden um 20% reduziert.
- Verlust des Oberbodens (topsoil) auf 10 % Fläche des Ackerlandes.

Exkurs 1 **Quantitative Rekonstruktion der Bodenerosion durch Wasser im Palouse, östliches Washington, USA**

Untersuchungshang 1 auf Dwight Fowler's Farm im östlichen Teil des zentralen Palouse:

Länge: 180 m, maximale Hangneigung: 20°, Erosionsbereich: 0 bis 80 m Hanglänge, Akkumulationsbereich: 80 bis 180 m Hanglänge; Oberhang wird nur jedes 2. Jahr bebaut, im Zwischenjahr Schwarzbrache; Unterhang mit permanentem Trockenfelddbau; meist Anbau von Getreide und Linsen

Methodik zur Bestimmung der Raten an Wassererosion:

Aufnahme der Hangform und Auswahl von Grabungsstandorten, Anlage von Bodengruben im 5-, 10- und 20-m Horizontalabstand entlang des Hanglängsprofils, Aufnahme der Boden-Sedimentfolgen, insbesondere Differenzierung der Kolluvien (M) und Aufnahme der Mächtigkeit der einzelnen Kolluvialkörper, Berechnung des Volumens der Kolluvien und Berechnung der Bodenerosionsraten wie folgt:

M <sub>1935-1998</sub> :	Kolluvien, die von etwa 1935 bis zum August 1998 abgelagert wurden; Stichjahr 1935: im unteren Teil der Kolluvien fanden sich Ackergeräte (Mähbalken, Pflug etc.), die um 1935 an der Tiefenlinie entsorgt worden waren
M <sub>Mai1980-August1998</sub> :	Kolluvien, die seit dem Ausbruch des Mt St. Helens im Mai 1980 abgelagert wurden (in den Kolluvien ist das Ereignis als weißliches Tephraaband sichtbar)
M <sub>1935-Mai1980</sub> :	Kolluvien, die von etwa 1935 bis zum Ausbruch des Mt St. Helens im Mai 1980 abgelagert wurden

mittlere Kolluviummächtigkeiten

M <sub>1935-1998</sub> :	>71 cm (da M-Basis nicht überall erreicht wurde nur Mindestwerte)
M <sub>Mai1980-August1998</sub> :	18 cm

$M_{1935\text{-}Mai1980}$ :	>52 cm
mittlere Volumina der Kolluvien im Hanglängsschnitt auf 1 m Hangbreite	
$M_{1935\text{-}1998}$ :	>63 m <sup>3</sup>
$M_{Mai1980\text{-}August1998}$ :	16 m <sup>3</sup>
$M_{1935\text{-}Mai1980}$ :	>47 m <sup>3</sup>
mittlere Masse der Kolluvien im Hanglängsschnitt auf 1 m Breite (spez. Gew. 1,7 g cm <sup>-3</sup> )	
$M_{1935\text{-}1998}$ :	>108 t
$M_{Mai1980\text{-}August1998}$ :	28 t
$M_{1935\text{-}Mai1980}$ :	>80 t

mittlere Akkumulation bezogen auf eine Einheitsfläche (ha); da die Akkumulationsfläche (90-180 m Hanglänge) hinsichtlich ihrer Ausdehnung identisch mit der Erosionsfläche ist (0-90 m Hanglänge), entsprechen die nachstehenden Akkumulationswerte auch den Erosionswerten

$M_{1935\text{-}1998}$ :	>11 984 t ha <sup>-1</sup>
$M_{Mai1980\text{-}August1998}$ :	3 077 t ha <sup>-1</sup>
$M_{1935\text{-}Mai1980}$ :	>8 907 t ha <sup>-1</sup>

Umrechnung in Erosionsraten

$M_{1935\text{-}1998}$ :	>11 984 t ha <sup>-1</sup> in 63 Jahren	oder	>190 t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
$M_{Mai1980\text{-}August1998}$ :	3 077 t ha <sup>-1</sup> in 18 Jahren	oder	171 t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
$M_{1935\text{-}Mai1980}$ :	>8 907 t ha <sup>-1</sup> in 45 Jahren	oder	>198 t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>

## Exkurs 2      **Quantitative Rekonstruktion der bearbeitungsbedingten Bodenverlagerung und der Transportstrecken im Palouse, Washington, USA**

Untersuchungshang 1 auf Dwight Fowler's Farm im östlichen Teil des zentralen Palouse

Methodik (erste Schritte s. Exkurs 1)

räumlich hochaufgelöste Aufnahme der Bodenprofile, Bestimmung des bodenbearbeitungsbedingten Kappungsbetrages durch kombinierte Analyse von Relief-, Substrat- und Bodeneigenschaften sowie Ermittlung der bodenbearbeitungsbedingten Transportstrecken durch Analyse von Substrat- und Bodeneigenschaften in der folgenden Weise:

Rekonstruktion der ursprünglichen Bodenmächtigkeit

30 cm Ah, 35 cm Al, 60 cm Bv,t, 40 cm Cc, Summe 165 cm, davon 125 cm entkalkt

Ausgewählte Resultate der Bodenprofilaufnahmen (Oberhang, beginnend an der Wasserscheide)

0 m Hanglänge:	bearbeitungsbedingter Bodenverlust	>130 cm
5 m Hanglänge:	bearbeitungsbedingter Bodenverlust	115 cm
10 m Hanglänge:	bearbeitungsbedingter Bodenverlust	95 cm
20 m Hanglänge:	bearbeitungsbedingter Bodenverlust	0 cm
30 m Hanglänge:	bearbeitungsbedingter Bodenverlust	7 cm
40 m Hanglänge:	bearbeitungsbedingter Bodenverlust	7 cm
50 m Hanglänge:	bearbeitungsbedingter Bodenverlust	18 cm
70 m Hanglänge:	bearbeitungsbedingter Bodenverlust	23 cm

Hangbereich mit bearbeitungsbedingtem Bodenverlust:	0-80 m Hanglänge
mittlere Mächtigkeit des bearbeitungsbedingten Bodenverlustes:	33 cm
Querschnittsfläche mit bearbeitungsbedingtem Bodenverlust:	27 m <sup>2</sup>
Volumen des bearbeitungsbedingten Bodenverlustes:	3375 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
Masse des bearbeitungsbedingten Bodenverlustes:	5400 t ha <sup>-1</sup>
maximale bodenbearbeitungsbedingte Verlagerung von C-Material (d.h. nach pflugbedingter Verlagerung des gesamten Bodens an der Wasserscheide)	20 m nach 1935-1998
maximale bodenbearbeitungsbedingte Bodenverlagerung	80 m von 1935-1998
Annahme 1: Transportstrecke pro Pflugbearbeitung	0,3 m
Zahl der Pflugbearbeitungen	267
davon 1981-1998	4

1935-1980 (46 a)	263
davon Jahre mit Feldfrucht (1x Pflügen a <sup>-1</sup> )	23
Bearbeitungen in 23 Schwarzbrachejahren	240
d.h. pro Schwarzbrachejahr	10
Annahme 2: Transportstrecke pro Pflugbearbeitung	0,5 m
Zahl der Pflugbearbeitungen	160
davon 1981-1998	4
1935-1980 (46 a)	156
davon Jahre mit Feldfrucht (1x Pflügen a <sup>-1</sup> )	23
Bearbeitungen in 23 Schwarzbrachejahren	133
d.h. pro Schwarzbrachejahr	6

### **Anschriften der Autoren**

Karl Geldmacher  
 Universität Potsdam  
 Institut für Geoökologie  
 PF 6015 53  
 14415 Potsdam

Tilo Schnur  
 Universität Potsdam  
 Institut für Geoökologie  
 PF 6015 53  
 14415 Potsdam

Prof. Dr. Hans-Rudolf Bork  
 Universität Kiel  
 Ökologiezentrum  
 Schauenburger Str. 112  
 24118 Kiel

Franka Woithe  
 Wollestr. 31  
 14482 Potsdam

Björn Röpke  
 Universität Gießen  
 FB Agrarwissenschaften, Ökotröphologie  
 Und Umweltmanagement  
 Bismarckstr. 24  
 35390 Gießen

Helga Bork  
 c/o Prof. Dr. Hans-Rudolf Bork  
 Universität Kiel  
 Ökologiezentrum  
 Schauenburger Str. 112  
 24118 Kiel

Sibyll Schaphoff  
 Potsdam-Institut für  
 Klimafolgenforschung  
 Telegrafenberg C4  
 14473 Potsdam

Dr. Claus Dalchow  
 Zentrum für Agrarlandschafts- und Land-  
 nutzungsforschung  
 Eberswalder Str. 84  
 15374 Müncheberg

Dr. Berno Faust  
 Little-Springs-Road 606  
 Roseburg, Oregon  
 USA

## **Modellierung der flächenhaften Verdunstung im Gebiet der Unteren Havel**

S. Itzerott, K. Kaden

### **Zusammenfassung**

Das aktuelle nationale und internationale Klimaforschungsprogramm behandelt Tendenzen der globalen Klimaänderung und ihre regionalen und lokalen Auswirkungen. Ein Kernstück dabei ist die komplexe Erfassung des Wassertransfer. Laufende Forschungsvorhaben des Weltklimaforschungsprogramms (WCRP) wie GEWEX, BALTEX, IGBP oder das BAHC-Programm dienen dazu, Mechanismen des Energie- und Stoffaustausches innerhalb des Wassertransfer tiefgründiger zu erfassen und zu modellieren, um vorausblickend Wetter und/oder Klima besser zu beurteilen. In dem vom BMBF geförderten Projekt wurden Untersuchungen zum Wassertransfer zwischen Boden - Pflanze - Atmosphäre für ein Niederungsgebiet an der Unteren Havel durchgeführt. Die Forschungsaufgabe war Bestandteil des Verbundvorhabens "Wasserkreislauf" und ist ein Beitrag zum Weltklimaforschungsprogramm "Globales Energie- und Wasserkreislauf Experiment (GEWEX)." Es wurden für ein repräsentatives Niederungsgebiet (285km<sup>2</sup>) des mitteleuropäischen Binnentieflandes Verdunstungsabschätzungen vorgenommen.

Ausgehend von der Bedeutung der messenden Komponente für die Verifizierung von Verdunstungsmodellen, wurde ein umfangreiches in-situ Meßnetz errichtet und meteorologische, pedologische, hydrologische und biotische Parameter an 21 Meßstandorten für die Jahre 1994-96 erfaßt. Für die Verdunstungsabschätzungen kam der Modellverbund MOBOWASI unter Verwendung des PENMAN-MONTEITH Ansatz mit einem Pflanzenmodell nach STENITZER zum Einsatz. Für die Bodenwassermodellierung stand das Modell SAWAH mit dem einfachen Rijetma-Ansatz zur Verfügung. Zunächst wurde das auf Ackerkulturen ausgerichtete Pflanzenmodell den Grünlandstandorten angepaßt. Die Flächenübertragung erfolgte auf Grundlage von Basiskarten aus Kartierungen und Fernerkundungsdaten. Dazu wurden Karten zur Naturraumausstattung, Flächennutzung und Grundwasserdynamik geschaffen, durch deren Verschneidung eine Modellierung von 54 spezifischen Jahregängen (95/96) für die verschiedenen Verdunstungsgrößen erforderlich wurde. Diese konnten exemplarisch für einzelne Termine mit Hilfe der Basiskarten auf die gesamte Untersuchungsfläche übertragen werden. Die Fernerkundungsdaten wurden abschließend dazu verwendet, die generalisierten Bewirtschaftungszyklen in aktuelle Bewirtschaftungszustände zu überführen und so die tatsächliche Tagesverdunstung genauer zu bestimmen.

### **Summary**

The World Climate Research Program mainly deals with problems of global changes of climate and its regional and local results. This is reflected in GEWEX, BALTEX, IGBP and BAHC where fluxes of material and energy have been investigated in order to know the process of transfer of water in greater details and make the weather forecast more exactly. In this connection we had investigated the transfer

of water between soil - plants - atmosphere in the lowlands of the Havel river. Estimation of evapotranspiration was done in an area of 285sq.km.

Starting with the importance of measurements to find verification of models of evapotranspiration a wide net of field measurements was created and meteorological, hydrological, biological and soil parameters were recorded for 21 measuring points in the lowlands during the years 1995-96.

The model composite MOBOWASI using the formula of PENMAN-MONTEITH and a plant model of STENITZER was applied. In order to estimate the soil water balance we used SAWAH in connection with the simple RIJETMA formula. During our investigation we concentrated on four major aspects. Firstly the available model had to be transformed from a model of field plants into a model of grasslands. Secondly we created basic maps (of types of landscape, landuse, hydrodynamics) by the use of mapping and data of remote sensing in order to manage the transfer to areas. Thirdly parameters of evapotranspiration for 54 types (after generalisation) of different landscape, landuse and hydrodynamic compositions were computed for the years 1995 and 1996. Finally we used data from Landsat-TM in order to dissolve the generalisation into the real situation of the moment the image of Landsat-TM had been taken. Thus, the real evapotranspiration of the moment could be fixed.

### **Arbeitsansatz**

In einem breiten Modellierungsansatz wurden Verdunstungsabschätzungen für ein 285km<sup>2</sup> großes Testareal (Abb.1) vorgenommen. Basis des Ansatzes war ein Meßprogramm von Landschaftsparametern, die den Wassertransfer zwischen Boden, Pflanze und Atmosphäre abbilden. Ausgehend von gleichbleibender Bedeutung der messenden Komponente für die Verifizierung von Verdunstungsmodellen, wurde ein umfangreiches in-situ Meßnetz errichtet und meteorologische, pedologische, hydrologische und biotische Parameter an über zwanzig Niederungsstandorten in der Zeit von drei Jahren erfaßt.

Die so standortbezogenen gewonnenen Daten gingen zunächst in das Modell ein und dienten gleichzeitig der Modellanpassung an Grünlandstandorte.

Dem Raum-Zeit-Ansatz folgend galt es in einem zweiten Schritt die standortbezogenen Untersuchungen auf Bezugsflächen zu übertragen. Grundlagen dafür waren auf der einen Seite Kartierungen, andererseits sollte die Relevanz von Fernerkundungsdaten für die flächenhafte Verdunstungsmodellierung untersucht werden. Um den Raumbezug herzustellen wurden Basiskartierungen zur Naturraumausstattung und Flächennutzung durchgeführt. Typische Bewirtschaftungszyklen konnten aus Fernerkundungsdaten abgeleitet werden. Zur Widerspiegelung der Grundwasserdynamik wurde aus den Grund- und Oberflächenwassermessungen eine Bezugskarte erstellt. Zur Abschätzung der Eignung von Fernerkundungsdaten für die Darstellung raumzeitlicher Verdunstungsunterschiede wurden Szenen der Systeme Landsat-TM und NOAA-AVHRR verwendet. Alle Daten sind in einem GIS gespeichert und entweder vektor (ARC/INFO)- oder rasterbasiert (ERDAS) verarbeitet.

Für die Verdunstungsabschätzungen kam der Modellverbund MOBOWASI zur Anwendung. Benutzt wurde der PENMAN-MONTEITH Ansatz und ein Pflanzenmodell nach STENITZER. Für die Bodenwassermodellierung stand das Modell SAWAH mit dem einfachen Rijetma-Ansatz zur Verfügung. Durch den Vergleich von modellierter und gemessener Bodensaugspannung bzw. den Vergleich modellierter und gemessener Pflanzenparameter (Bedeckungsgrad, Wuchshöhe, Biomasse) wurde das auf Ackerkulturen ausgerichtete Pflanzenmodell den Grünlandstandorten angepaßt.

Die Verschneidung der Basiskarten ergab nach notwendiger Generalisierung für 1114 Flächen 54 Verdunstungstypen (38 Grünland-, 10 Ackertypen, Laubwald, Mischwald, Nadelwald, Spülflächen, Siedlungen und Wasser). Für diese Typen wurden spezifische Jahresgänge (95/96) für die verschiedenen Verdunstungsgrößen modelliert und Evapotranspiration und Transpiration der Beispielstage (08.07.1995 und den 08.06.1996) auf das gesamte Untersuchungsgebiet übertragen.

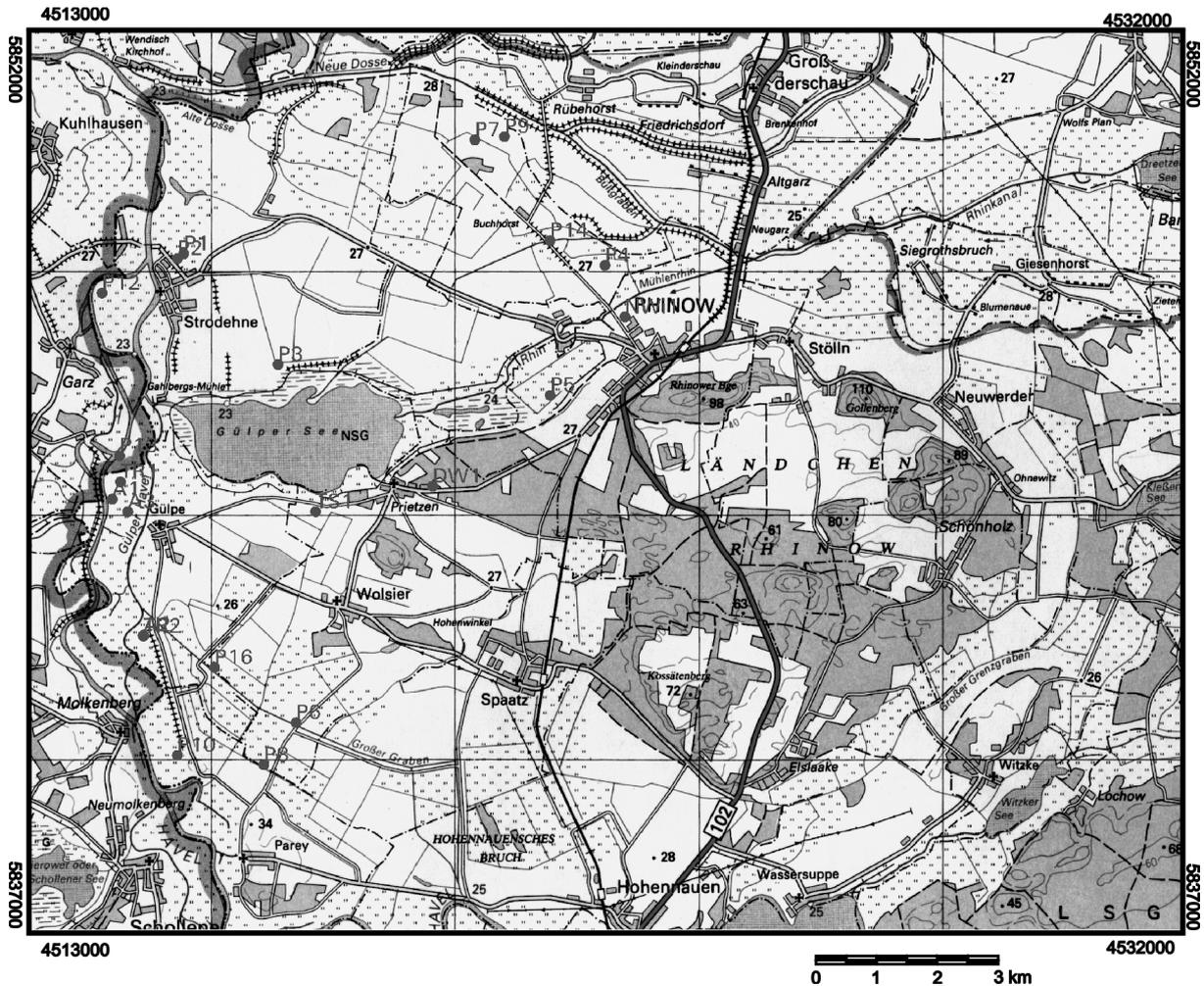


Abb. 1: Das Untersuchungsgebiet „Untere Havel“ mit Meßstandorten

Die Untersuchungen zur Widerspiegelungsqualität der Fernerkundungsdaten wurden für die Grünlandgebiete mit Landsat-TM Daten durchgeführt und zielen auf eine Möglichkeit, die generalisierten Bewirtschaftungszyklen in taggenaue Bewirtschaftungszustände zu überführen und damit die aktuelle Verdunstung in exakterem Zeitbezug zu bestimmen. Bewertungsbasis bildet dabei eine Klassifizierung im Maximum-Likelihoodansatz. Entscheidend ist der Klassifikator, der einerseits die modellierte Information (Basis der Klassenbildung) und andererseits die spektrale Information (mögliches korrelatives Verhalten) vereint. Etwa 5 bis 10% der Pixel besitzen diesen Zusammenhang nicht und werden zurückgewiesen. Die räumliche Anordnung dieser Pixel läßt den Schluß auf einen falsch angenommenen Bewirtschaftungszustand zu. Die daraus resultierenden ungenauen Verdunstungswerte lassen sich jetzt über eine Klassifizierung ohne Berücksichtigung der modellierten Verdunstungsinformation korrigieren.

Eine Übertragung des Vorgehens auf zeitlich besser (täglich) aber räumlich gröber (Pixelgröße ca. 1km<sup>2</sup>) auflösende NOAA-Daten brachte wegen des kleinräumigen Nutzungswechsels keine verwertbaren Ergebnisse.

### Standortbezogene Messungen und Modellierungen

Beispielhaft für einen Meßstandort sollen nun die Ergebnisse vorgestellt werden.

Der Standort P5 ist in die auenschlufffreie vermoorte Niederung einzuordnen. Er liegt in der Niederung des Rhin, im Küdden, einem Verlandungsbereich des Gülper Sees. Innerhalb des Naturschutzgebietes gelegen, wird er im späten Sommer nur einmal im Jahr gemäht. Er unterscheidet sich von ande-

ren Standorten durch die größere Mächtigkeit des Torfkörpers (90cm), so daß der Boden als Niedermoor angesprochen werden muß. Verantwortlich sind ganzjährig hohe Grundwasserstände. Der Wasseraufstieg ist in der Regel durchgängig gewährleistet. Ein deutliches Absinken in den Talsandbereich ist nur bei extremen Tiefständen möglich. Die Gesamtdichte des Torfhorizontes liegt um  $0,5\text{g/cm}^3$ , in den darunter liegenden Sanden bei  $1,5\text{g/cm}^3$ . Die Bodensaugspannungen besitzen bis in den Frühsommer hinein niedrige Werte. Niederschläge bewirken nur geringfügige Schwankungen. Die eigentliche Austrocknung des Torfkörpers beginnt erst in der zweiten Hälfte des Juli. Ab diesem Zeitraum steigen die Bodensaugspannungen kontinuierlich und erreichen im Frühherbst die höchsten Werte. Für die Oberbodenbereiche treten in dieser Zeit niederschlagsabhängige Schwankungen auf. Bei ausreichenden Niederschlägen nimmt der Torf die Feuchtigkeit auf und speichert sie anhaltend. Bereits ab Oktober stellt sich ein oberflächennaher Grundwasserstand ein. Generell zeigt sich, daß nur während niederschlagsarmer Perioden im Zeitraum August/September die Bodenfeuchte deutlich zurückgeht. Der Pegel bei P5 befindet sich im Einzugsbereich des Rhin, der hier kurz vor seiner Einmündung in den Gülper See ist. Die damit verbundene Nivellierung der Wasserstandsschwankungen macht sich vor allem dahingehend bemerkbar, daß die Unterschiede der Pegelwerte zwischen Winter- und Sommerhalbjahr relativ gering (ca. 20cm) sind. Die Grundwasserstände sind primär abhängig vom Niederschlag. Die in Richtung Nordwest vom Ländchen Rhinow abfließenden Grundwasserströme verstärken den Wirkungsgradient von Niederschlagsereignissen. Auch der Rhinwasserstand weist Beziehungen zu den Niederschlägen auf. Dabei ist auffällig, daß nach Starkniederschlägen mit anschließendem Wasseranstieg im Rhin Regulierungsmaßnahmen einsetzen, die in der Rhinwasserführung oftmals zusätzliche Schwankungen hervorrufen und sich auch auf die angrenzenden Grundwasserbereiche übertragen.

Nach erfolgter Modellanpassung für den Standort ergibt der Vergleich der modellierten mit der gemessenen Saugspannung eine gute Übereinstimmung. Dies betrifft sowohl den Verlauf als auch die Wertebereiche (Abb.2).

Die beiden Untersuchungsjahre 1995 (631mm) und 1996 (377mm) unterscheiden sich grundlegend in ihrem Niederschlagsangebot. Entsprechend dem feuchten Winter 1995 bewegen sich die modellierten Saugspannungswerte zunächst auf niedrigem Niveau. Im Vergleich zu den Messungen setzen die modellierten Werte etwas später ein. Sie bewegen sich dann in der Aufbauphase der Saugspannung zum Sommer 1995 (trockener Sommer) nahezu identisch. Gleiches gilt für den Abfall im Herbst. Allerdings gestaltet sich die modellierte Kurve geglätteter als die Meßkurve. In Trockenperioden im Herbst liegen die modellierten Werte geringfügig niedriger als die Meßwerte. Ähnliches gilt für das zweite Jahr. Obwohl in diesem ein beständiger Wechsel zwischen feuchten und trockenen Phasen auftritt, haben die beiden Kurvenverläufe in den Phasen des Auf- bzw. Abbaus einen gleichartigen Verlauf. Ersichtlich ist, daß in der Aufbauphase der Saugspannung (Mai bis August) die absoluten Werte für die modellierte Kurve etwas höher liegen. Im Herbst scheint sich das Verhältnis wieder umzukehren. Die modellierte Kurve besitzt einen engen Bezug zum Grundwassergang.

Ein Vergleich der modellierten und gemessenen Pflanzenkennwerte bestätigt die Modellanpassung. Für den Standort P5 erfolgt einmal jährlich eine Bewirtschaftungsmaßnahme. Damit bestehen hier vom Frühsommer bis zum Herbst vergleichsweise stabile Bedingungen. Die Fläche ist langfristig vollständig vegetationsbedeckt. Die Wuchshöhe ist längere Zeit (zwischen Gräserblüte und Mahdtermin) gleich. Lediglich die Biomasseproduktion stagniert nach der Blüte und ist mit einsetzendem Absterben nach der Reife rückläufig. Dies trifft insbesondere für das Jahr 1995 zu, wo sich dies durch die Trockenperiode im August verstärkt. Nach dem Mahdtermin im Herbst steht die vegetative Entwicklung nahezu still. Im zweiten Untersuchungsjahr verzögert sich witterungsbedingt der Wachstumsbeginn. Es werden sowohl bei der Wuchshöhe, dem Erreichen des vollständigen Bedeckungsgrades und bei der Biomasseproduktion schlechtere Werte erzielt. Außerdem ist durch die anhaltenden Feuchtigkeit im Sommer der Rückgang der Biomasseproduktion moderater. Für die Bewertung der Modellierungsergebnisse anhand der Meßwerte zeigen sich gute Übereinstimmungen. Wuchshöhe und Biomasse werden durch die Modellierung etwas höher bewertet. Die terrestrische Biomassenbestimmung in der kalten Jahreszeit ist mit dem Problem der ungenügenden Trennung von grünen und vertrockneten Anteilen behaftet. Darum liegen die Werte zu hoch.

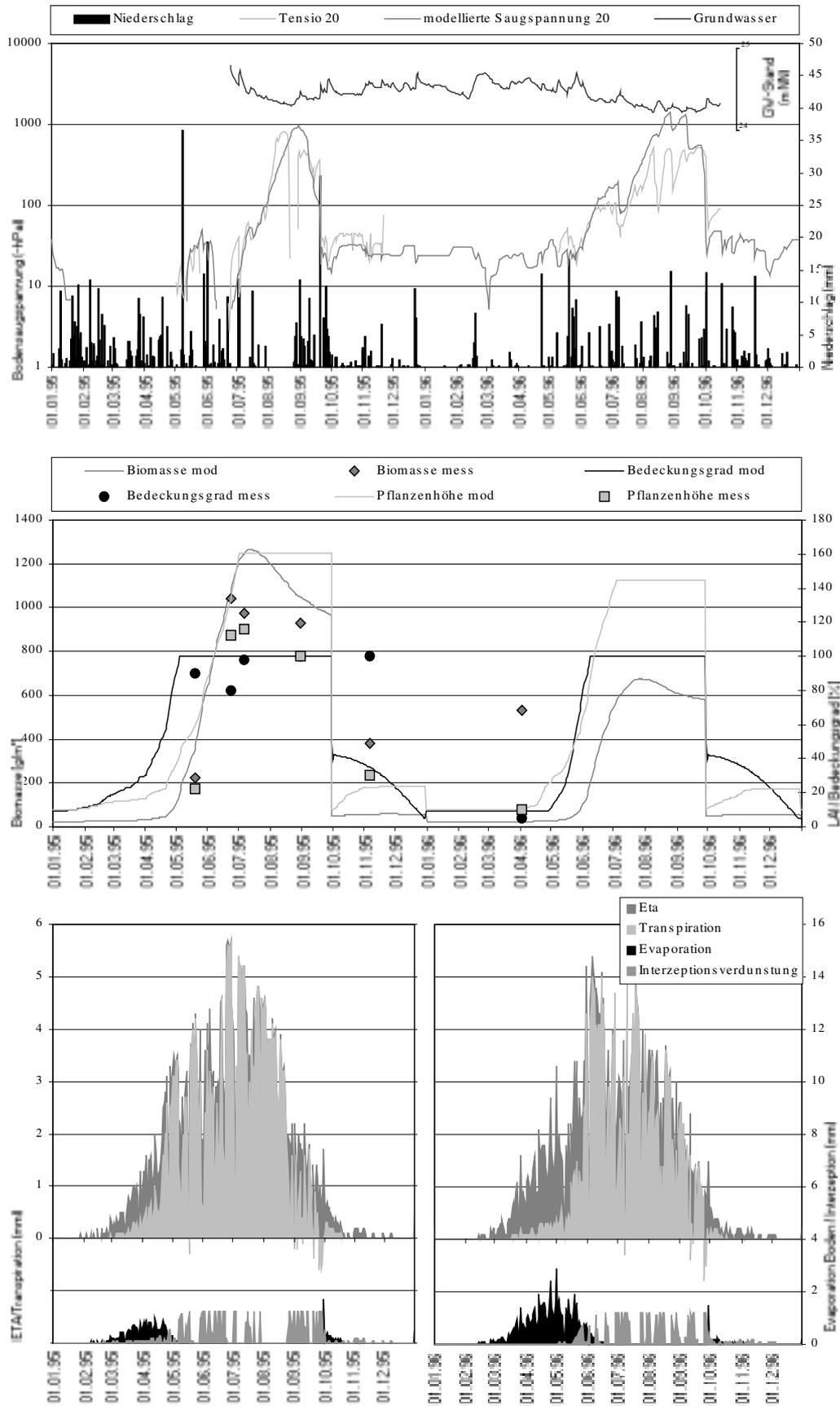


Abb. 2: Ergebnisse der Modellierung für den Standort P5

Generell konnte festgestellt werden, daß die Vergleiche zwischen den modellierten und gemessenen Pflanzenparametern an den verschiedenen Meßstandorten keineswegs Widersprüche erzeugten. Somit liegt ein der Grünlandnutzung angepaßtes Pflanzenmodell vor, welches auf alle Verdunstungstypen angewendet werden kann.

Das Verdunstungsverhalten am Standort P5 z.B. bildet den einfachen Bewirtschaftungszyklus ab. Nennenswerte Beträge werden erst ab Februar modelliert. Bis Anfang Mai steht hier das Wasser oberflächennah. In dieser Phase sind die Evaporationsanteile im Verdunstungswert ersichtlich. Mit Rückgang des Grundwasserspiegels setzt in der zweiten Aprilhälfte die Begrünung ein, was sich in einem Anstieg der Transpirationswerte niederschlägt. Von nun ab wird die Evapotranspiration durch die Transpiration und bei Niederschlag durch die Interzeption bestimmt. Auffällig ist, daß selbst die längere Trockenphase im August 1995 sich nicht in einem Rückgang der Werte bemerkbar macht. Hier geht das Modell richtigerweise von einem Grundwassereinfluß aus. Im September geht die Verdunstungsleistung wegen des geringeren Strahlungsgenusses spürbar zurück, obwohl die Niederschläge im September reichlich fielen. Es wird im Modell das Absterben der Grünlandpflanzen am Ende der Vegetationsperiode sichtbar, das bereits vor der Mahd einsetzt. Die Mahd Ende September trägt Pflegecharakter, drängt die Interzeption zurück und läßt eine kurzzeitige Evaporation zu. Sie verbessert auch das Austreiben und Wachsen der Wiesen im Folgejahr. Der kalte trockene Abschnitt zu Beginn des Jahres 1996 verzögert die Vegetationsentwicklung deutlich. Damit gehen bis Ende Mai im Vergleich zum Vorjahr höhere Evaporationsanteile in die Verdunstung ein. Ab Juni steigen die Transpirationsanteile. Sie werden durch Niederschläge unterbrochen, die Interzeption bewirken. Die kurzen Trockenphasen haben transpirationsbedingt höhere Verdunstungswerte als die in diesem Jahr sich häufenden feuchten Abschnitte des Sommers. Insgesamt sind sich beide Jahre wegen des deutlichen Grundwassereinflusses in ihrem Verdunstungsgängen ähnlich.

Die Modellierung des Verdunstungsverhaltens an diesem und den anderen Meßstandorten zeigte, daß Niederschlagsdefizite in unterschiedlichem Umfang durch Grundwasserdarangebote ausgeglichen werden. Hierin spiegelt sich die Vielfalt des Untersuchungsgebietes in Bezug auf Substrat, Bewirtschaftung und Grundwasserdynamik wider.

### **Flächenübertragung und Aktualisierung der Modellierungsergebnisse**

Um die punkthaft gewonnenen Meß- und Modellierungswerte auf Flächen beziehen zu können, wurden die oben erwähnten Basiskarten geschaffen. Sie bilden die Grundlage für die Übertragung. Dabei werden der Naturraumtypenkarte primär die pedologischen Eigenschaften, der Flächennutzungskarte die biotischen (aktuelle Vegetation) und der Karte der Hydrodynamik die hydrologischen zugeordnet. Der naheliegendste Weg, die benötigten Eigenschaften zu verknüpfen, läge in einer Verschneidung dieser drei Basiskarten. In Voraberechnung ergibt sich aus einem einfachen Rechenexempel bei 46 Naturraumtypen, 48 Flächennutzungsarten und 55 verschiedenen Grundwassergängen eine potentielle Anzahl von 121 440 Kombinationen. Diese kann nicht bearbeitet werden und wäre für die Größe des Gebietes irrelevant. Demzufolge ist beim Übergang von den punktbezogenen zu den flächenbezogenen Aussagen ein Reduzierungs- oder Generalisierungsproblem zu lösen. Deshalb wurden Klassen für Naturraumtypen, Flächennutzung und Grundwasserdynamik gebildet.

Die Naturraumtypenkartierung wurde von der Dimensionsebene der Nanochoeren auf die Ebene der Mikrochoeren gehoben und ein Leitbodentyp in Form eines typischen Vertreters der Meßstandorte zugeordnet.

Für die Flächennutzung wurden die Klassen: Wasser, Siedlung, Spülfläche, Acker (für alle Ackerstandorte wurde Winterroggen angenommen, die Kultur mit dem höchsten Flächenanteil im Untersuchungsgebiet), Nadel-, Laub- und Mischwald entsprechend dem Schlüssel nach STABIS verwendet. Weiter differenziert wurden die Grünländer. Verschiedene Bewirtschaftungsformen wurden aus einer multitemporalen Fernerkundungsanalyse abgeleitet.

Schließlich wurden die 54 Polderklassen der Karte der Grundwasserdynamik durch eine hierarchische

Klassifizierung reduziert. Als Klassifizierungsgrundlage dienten die auf die Stichtage fixierten normierten Kurven der Grundwasserdynamik. Auf der siebenten Hierarchieebene wurden fünf Klassen gebildet. Diese wurden zur Primärkennzeichnung verwendet. Innerhalb dieser Klassen wurde über die mittleren sommerlichen Grundwasserflurabstände weiter differenziert.

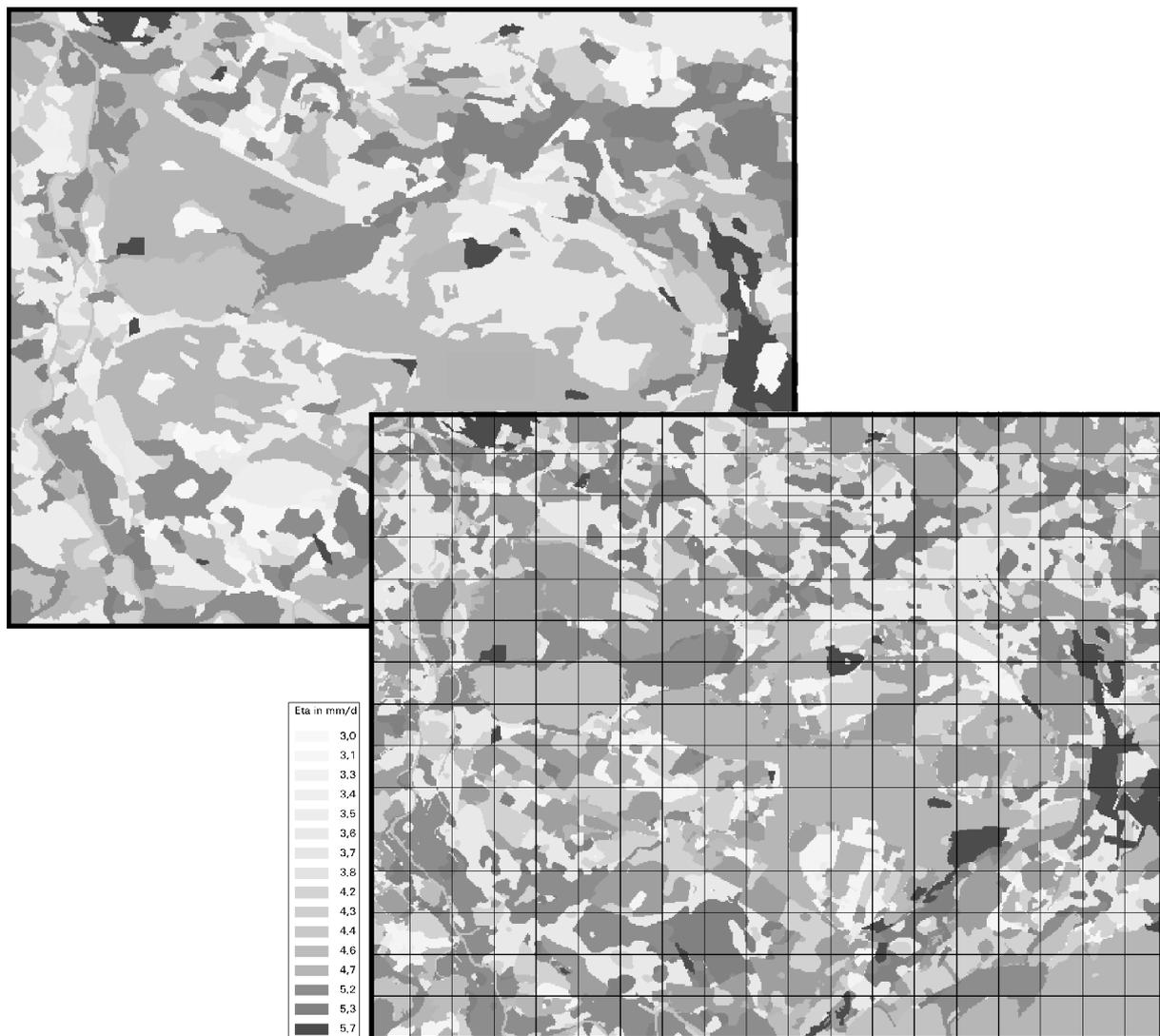
Auf der Grundlage der so reduzierten Klassen für die Basismerkmale konnte eine Verschneidung der Karten erfolgen. Zunächst wurde eine Bereinigung der Anzahl dadurch vorgenommen, daß kleine Randflächen, die oft nur durch unsaubere Digitalisierung und/oder Kartierung entstehen, aussortiert wurden. Es blieben noch 1114 Flächen für die Gebietskennzeichnung übrig. Diese wären, als Individuum behandelt, Gegenstand der Modellierung. Im typbezogenen Ansatz kann ihre Anzahl weiter verringert werden. Das ist sinnvoll, da sich der Arbeitsaufwand reduziert. Zunächst wurde, entsprechend dem Ansatz, für alle Flächen mit den Nutzungen Laub-, Nadel- und Mischwald, Spülflächen und Siedlungen sowie Wasserflächen ein jeweils einheitlicher Gang für die Verdunstung ermittelt. Für die Berechnung der Verdunstung der Wasserflächen kam das Aerodynamische oder Dalton-Verfahren zur Anwendung für die Bestimmung der Verdunstungswerte der anderen Flächennutzungen wurde das Bagrov-Verfahren genutzt. Die verbleibenden Flächen mit den beiden Flächennutzungen Grünland und Acker wurden durch zwei getrennt angewandte Klassifizierungen mittels einer Clusterzentrenanalyse gruppiert. Die Eingangsparameter aus den Basiskartierungen wurden hinsichtlich der Verdunstungserwartungswerte gewichtet. In der Endkonsequenz blieben 38 Wiesenklassen, die sich hinsichtlich ihrer Naturraumausstattung, der Bewirtschaftungsform und der vorliegenden Grundwasserdynamik unterscheiden, als Basiseinheiten der Flächenübertragung übrig. Analog wurde mit den Ackerflächen verfahren. Allerdings wurde durch die einheitliche Kulturart mit einer vereinheitlichten Bewirtschaftungsfolge eine Beschränkung auf 10 Klassen vorgenommen. Damit wird die Testfläche aus 54 Typen aufgebaut. Diese füllen die 1114 Flächen.

Die letzte Entscheidung mußte dahingehend getroffen werden, für die Modellierung die notwendigen Ausprägungen der Parameter für die Klassen festzulegen. Hier wurden im Falle der Flächennutzung und Naturraumausstattung jeweils der Vertreter, der den größten Flächenanteil einnimmt, zur Modellierung verwendet. Für die Hydrodynamik wurde ein gewichteter Mittelwert entsprechend der Flächenanteile verwendet.

Nun lassen sich Verdunstungswerte für die 54 Klassen in ihren Zweijahresläufen bestimmen und auf das Untersuchungsgebiet übertragen. Dies wurde exemplarisch für zwei Termine durchgeführt. Im Bild vom 08.07.1995 sind die räumlichen Unterschiede für die modellierten Verdunstungsgrößen dargestellt (Abb.3-oben). So differenzieren sich mit hohen Werten die verdunstungsaktiven Flächen (unter Naturschutz stehende Feuchtgebiete, Laubwälder) von den gemähten Grünländern der Havelaue und Äckern. Nadelwälder und Wasserflächen haben ebenfalls höhere Verdunstungswerte. Weitere Differenzierungen werden sichtbar.

Dennoch bleibt ein Problem unbeachtet. Dies ergibt sich aus der durchgeführten Generalisierung der Jahreszyklen für die Bewirtschaftung (Mahd, Ernte usw.). Es wurden, um die Modellierungsvarianten zu begrenzen, typbezogene Gemeinschaftstermine verwendet. Nicht alle Grünländer werden am gleichen Tag gemäht, wie die Darstellung der modellierten Flächenverdunstung suggeriert.

Fernerkundungsdaten besitzen dagegen eine zeitpunktbezogene Aktualität. So wurden im nächsten Schritt die Beziehungen zwischen den durch Modellierungsgrößen gefüllten Flächencovern und den Fernerkundungsdaten untersucht. Die zur Verfügung stehenden Aufnahmetermine erlaubten zeitpunktbezogene Einzelterminbetrachtungen. Ein Vergleich der modellierten Flächenverdunstung mit dem entsprechenden Landsat-TM-Datensatz verdeutlicht das Zeitpunktproblem markant.



**Abb.3:** Räumliche Differenzierung der Evapotranspiration (mm/d) im Untersuchungsgebiet

Die Frage der Widerspiegelung der modellierten Information in den Landsat-TM Daten wurde über eine Klassifizierung der Grünländer bewertet. Die Güteabschätzung folgt der Logik, daß bei einer Klassifizierung auf der Basis sowohl der modellierten Information (verwendet wurde die auf ein vergleichbares Intervall gespreizte Evapotranspiration und der Quotient aus Transpiration und Evapotranspiration) als auch der spektralen Information der Landsat-TM Kanäle eine Sortierung nach korrelativen Zusammenhängen zwischen diesen Größen erfolgt. Solche Pixel, bei denen keine Zusammenhänge bestehen, werden durch die Klassifizierung zurückgewiesen. Primäre Bedeutung bei der Erstellung des Klassifikators besitzen dabei die modellierten Parameter. Sie zeigen die Information über die Verdunstung und zeichnen gewollt das mögliche Spektrum auf. Entsprechend der Modellierungsergebnisse unterscheiden sich die Zustände durch die Höhe der Evapotranspirationswerte und unterschiedliche Transpirationsanteile. Hinsichtlich der spektralen Merkmale besitzen die Kanäle 4 und 5 gute Differenzierungsmöglichkeiten. Rückweisungen halten sich in Grenzen und ordnen sich lokal. Daraus kann generell auf einen Zusammenhang zwischen Verdunstungsparametern und Spektralmerkmalen geschlußfolgert werden. Die Rückweisungsklasse markiert genau diejenigen Flächen, für die das oben beschriebene Zeitpunktproblem existiert. So wurden z.B. am 08.07.1995 einige Wiesen als gerade gemäht (Mahdtermin 03.07) modelliert, die in Wirklichkeit in der Spanne vom Monatsanfang bis mindestens zur Monatsmitte gemäht werden. Hierdurch ergeben sich zwingend Unterschiede. Die Flächen, die davon betroffen sind, besitzen in den beiden Ausprägungen eine extreme Diskrepanz (Modellierung: gemäht  $\leftrightarrow$  Spektralsignatur: dichte grüne Vegetation) und verfälschen das

wahre tägliche Verdunstungsbild. Dies kann durch den zuvor aufgezeigten Weg korrigiert werden und damit Fernerkundungsdaten für die Aktualisierung der Flächenverdunstung herangezogen werden. Es wird eine Karte der modellierten Evapotranspiration einer der aktualisierten Evapotranspiration gegenübergestellt (Abb.3-unten). Veränderte Verdunstungswerte machen sich durch die kleinflächigere Gliederung der Grünländer bemerkbar. Besonders auffällig ist dies im Nordosten des Untersuchungsgebietes.

Die Aufgabe, Verdunstung für Niederungsgebiete des mitteleuropäischen Binnentieflandes in verbesserter Flächen- und Zeitauflösung zu erfassen, konnte durch die Verwendung eines breiten Methodenspektrums erreicht werden. Ein Verdunstungsmodell, das naturräumliche, bewirtschaftungstypische und hydrodynamische Besonderheiten berücksichtigt, wurde Niederungsstandorten angepaßt, eine Methode der Flächenübertragung entwickelt und durch den Einsatz von Fernerkundungsdaten mit einer hohen zeitlichen Auflösung unterlegt. Damit steht für die Klimamodellierung eine differenzierte, die natürlichen Verhältnisse gut widerspiegelnde flächenhafte Abbildung der Verdunstung zur Verfügung.

### **Anschrift der Autoren**

Dr. Sibylle Itzerott  
Dr. Klaus Kaden  
Universität Potsdam  
Institut für Geoökologie  
Postfach 60 15 53  
14415 Potsdam

## **Das remobilisierbare Nährstoffpotential in Augewässersedimenten einer Tieflandflußbaue**

R. Knösche

### **Zusammenfassung**

Mitteleuropäische Tieflandflußbaue sind heute in der Regel durch einen hohen Eutrophierungsgrad gekennzeichnet. Dadurch entstehen Extremstandorte, in denen die Biodiversität bereits erheblich eingeschränkt ist. Die Bedeutung erhöhter Nährstoffeinträge aus diffusen und Punktquellen für die Eutrophierung der Flüsse ist bereits vielfach dokumentiert. Darüberhinaus ist in den Flußsystemen die Hydrodynamik durch die vielfältigen Flußregulierungen erheblich vermindert worden. Die eutrophierende Wirkung der verminderten Durchflußraten ist ebenfalls gut bekannt. Die Herabsetzung der Fließgeschwindigkeiten in stauregulierten Tieflandflüssen hat zu einer verstärkten Akkumulation organischer Sedimente in den Augewässern geführt. Diese Sedimente speichern beträchtliche Nährstoffmengen, die teilweise remobilisiert werden können und so eine interne Düngung des Flußsystems ermöglichen. Es ist bisher noch unbekannt, wie die veränderte Hydrodynamik die Eigenschaften der oberflächlichen Sedimente hinsichtlich der Nährstoffremobilisierbarkeit beeinflusst. Die ersten Untersuchungsergebnisse an Sedimenten der Augewässer der unteren Havel haben gezeigt, dass dauerhaft verminderte Strömung und Turbulenz den prozentualen Anteil leicht mit dem Wasserkörper austauschbarer Nährstoffe im Sediment stark erhöht. Das ist auch unabhängig davon, ob die Sedimente vorrangig autochthon oder allochthon gebildet wurden und welchen Gesamtnährstoffgehalt sie aufweisen. Es gibt sogar erste Hinweise, dass periodisches oder gelegentliches Trockenfallen einzelner Augewässer, was für eine natürliche Flußbaue typisch ist, ebenfalls die Nährstoffremobilisierbarkeit einschränkt. Die Fortführung dieser Untersuchungen hat zum Ziel, die tieferen Ursachen erhöhter Nährstoffremobilisierbarkeit bei verminderter Wasserströmung und -turbulenz und die Wirkung des Trockenfallens der Sedimente auf deren Eigenschaften aufzudecken.

### **Summary**

Nowadays Central-European lowland floodplains are often characterized by a high degree of eutrophication. This leads to extreme habitats in which the biodiversity is considerably reduced. The role of increased nutrient input from diffuse and point sources for the eutrophication of rivers has often been documented. Moreover the hydrodynamic regime in river systems is considerably modified by a large number of river regulations. The eutrophying effect of a reduced water discharge is also well known. The reduction of the current velocities in weir-regulated lowland rivers resulted in an increased accumulation of organic sediments in backwaters. These sediments store enormous quantities of nutrients which may partially be remobilized and thus enable an internal fertilizing of the floodplain waters. However, it is still unknown how the altered hydrodynamic regime influences the properties of the surface sediments with regard to the remobilization potential of nutrients. First results of investigations

concerning sediments of floodplain waters of the lower river Havel have shown that the permanent reduced water current and turbulence increases the percentage of easy exchangeable nutrients in the sediments. This process is independent of the total nutrient content and of the autochthonous or allochthonous origin of the sediments. There are even first hints that a periodic or occasional drought of individual floodplain waters being typical for natural floodplains reduces the potential of nutrient remobilization, too. The aim of the continuation of these investigations is the elucidation of the deeper causes of the increased potential of nutrient remobilization at reduced water current and turbulence and an understanding of the effect of sediment drought on its properties in regard to nutrient remobilization.

### **Anschrift des Autors**

Dr. Rüdiger Knösche  
Universität Potsdam  
Institut für Biochemie und Biologie  
Maulbeerallee 2  
14469 Potsdam  
E-mail: [knoesche.pdm.eiche@t-online.de](mailto:knoesche.pdm.eiche@t-online.de)