

Simulation und Beurteilung der Pflanzenschutzmittelbelastung kleiner Fließgewässer auf Landschaftsebene

D i s s e r t a t i o n

zur Erlangung des Doktorgrades

Fachbereich 7: Natur- und Umweltwissenschaften
der Universität Koblenz-Landau
Campus Landau

von Michael Probst
aus Bad Lauterberg

12.09.2005

Vorveröffentlichungen der Dissertation

Teile dieser Arbeit wurden mit Genehmigung des Mentors, Prof. Dr. R. Schulz, in folgenden Beiträgen vorab veröffentlicht:

Publikationen

Probst, M., Berenzen, N., Lentzen-Godding, A., Schulz, R. 2005. Scenario based simulation of runoff-related pesticide entries into small streams on a landscape level. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 62/2 (2005) 145-159.

Probst, M., Berenzen, N., Lentzen-Godding, A., Schulz, R., Liess, M. 2004. Linking land use variables and invertebrate taxon richness in small and medium-sized agricultural streams on a landscape level. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 60/2 (2005) 140-146.

Tagungsbeiträge

Probst, M., Berenzen, N., Lentzen-Godding, A. 2002. Informationssystem zur öko-toxikologischen Bewertung der Gewässergüte in Bezug auf Pflanzenschutzmitteleinträge aus der Landwirtschaft - Systemaufbau und Anwendungsmöglichkeiten. Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL), Tagungsbericht 2002, Braunschweig, Germany, Band 2, 585-589.

Berichte

Schulz, R., Liess, M., Berenzen, N., Lentzen-Godding, A., Probst, M. 2003. Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, Förderkennzeichen 0339804, "Informationssystem zur ökotoxikologischen Bewertung der Gewässergüte in Bezug auf Pflanzenschutzmitteleinträge aus der Landwirtschaft". Im Internet unter <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb04/381683206.pdf> (TIB: Technische Informationsbibliothek, Universitätsbibliothek Hannover).

Softwareprojekte

Probst, M., Berenzen, N., Lentzen-Godding, A. 2003. PSM-SIM: Ein Informationssystem zur ökotoxikologischen Bewertung der Gewässergüte in Bezug auf Pflanzenschutzmitteleinträge aus der Landwirtschaft, Version 1.2.1 / 27.11.2003. Anwendungsprogramm für MS-Windows®, © TU-Braunschweig, AG-Limnologie.

Danksagung

Herrn Prof. Dr. Ralf Schulz und Herrn Prof. Dr. Matthias Liess danke ich für die Betreuung meiner Arbeit. Ihre Anregungen und konstruktiven Hinweise waren an vielen Stellen von entscheidender Bedeutung. Durch unermüdliche Diskussions- und Hilfsbereitschaft, auch über größere Entfernungen hinweg, waren sie mir stets wichtige Ansprechpartner.

Herr Prof. Dr. Rüppell stellte mir in seinem Institut einen Arbeitsplatz zur Verfügung. Seine lebendige und anschauliche Art und Weise Wissenschaft zu vermitteln, haben mein Interesse an der Ökologie geweckt und immer wieder für Motivation gesorgt.

Frau Dipl. Geol. Annette Lentzen-Godding und Herr Dr. Norbert Berenzen unterstützten mich durch viele fachliche Anregungen, Diskussionsbereitschaft und sehr große Hilfsbereitschaft.

Den Mitarbeitern und Diplomanden des Zoologischen Instituts verdanke ich viele interessante und schöne Stunden wissenschaftlicher und nicht-wissenschaftlicher Diskussion.

Frau Dr. Helga Faasch möchte ich für die wertvollen Hinweise und das Bereitstellen umfangreichen Datenmaterials danken.

Marions Geduld und Unterstützung und ihr Interesse an „meiner“ Thematik gaben mir die Motivation und den nötigen Rückhalt bei der Fertigstellung der Arbeit.

Meinen Eltern Gerlinde und Wolfgang, meiner Schwester Antje und meinen Großeltern Margarethe, Änne, Otto und Gustav möchte ich dafür danken, dass sie immer für mich da waren und mich bedingungslos unterstützt haben. Ohne sie wäre vieles nicht möglich gewesen.

Die Arbeit war Teil des Forschungsvorhabens 0339804 des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) „Informationssystem zur ökotoxikologischen Bewertung der Gewässergüte in Bezug auf Pflanzenschutzmitteleinträge aus der Landwirtschaft“. Sie wurde aus Mitteln des BMBF finanziert.

Michael Probst
Göttingstr. 16
38106 Braunschweig

Ich erkläre hiermit, dass ich

die vorliegende Dissertation mit dem Thema

„Simulation und Beurteilung der Pflanzenschutzmittelbelastung kleiner Fließgewässer auf Landschaftsebene“

selbständig verfasst und alle für die Arbeit benutzten Hilfsmittel in der Arbeit angegeben sowie Anteile etwaiger beteiligter Mitarbeiter sowie anderer Autoren klar gekennzeichnet habe, die Dissertation oder Teile hiervon nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe,

die gleiche oder eine andere Abhandlung nicht in einem anderen Fachbereich oder einer anderen wissenschaftlichen Hochschule als Dissertation eingereicht habe und

bisher keinerlei Prüfungsversuche in einem Dissertationsverfahren unternommen habe.

12.09.2005

.....
(Unterschrift)

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	6
Summary	8
Einleitung	10
Zielsetzung	13
Inhalte der Arbeit	14
Literaturangaben.....	22
Anhang	26
1.1 Scenario based simulation of runoff-related pesticide entries into small streams on a landscape level	27
1.2 Linking land use variables and invertebrate taxon richness in small and medium-sized agricultural streams on a landscape level	50
1.3 Informationssystem zur ökotoxikologischen Bewertung der Gewässergüte in Bezug auf Pflanzenschutzmitteleinträge aus der Landwirtschaft - Systemaufbau und Anwendungsmöglichkeiten	61
1.4 Informationssystem zur ökotoxikologischen Bewertung der Gewässergüte in Bezug auf Pflanzenschutzmitteleinträge aus der Landwirtschaft – Das Simulationsmodell	67
1.5 Benutzerhandbuch	71
1.6 Technische Dokumentation.....	104

Zusammenfassung

Die Abschätzung der Eintragswahrscheinlichkeit von Pestiziden in Gewässer ist insbesondere im Landschaftsmaßstab aufgrund der erforderlichen ereignisbezogenen Probenahmetechniken mit erheblichem Kostenaufwand verbunden. Simulationsmodelle können hierbei eine wichtige Alternative zur Planung von Risiko-Minimierungsmaßnahmen darstellen.

Hauptziele dieser Arbeit waren

- (A) die Entwicklung eines Simulationswerkzeugs, mit dessen Hilfe das Eintragsrisiko von Pestiziden in Oberflächengewässer im Landschaftsmaßstab abgeschätzt werden kann und sich Risiko-Minimierungsmaßnahmen effektiv planen lassen, sowie
- (B) die Durchführung einer Expositions- und Risikoabschätzung sowie die Abschätzung negativer Effekte von Pestiziden auf die Artenzahlen von Fließgewässerlebensgemeinschaften des Braunschweiger Umlands.

Exposition, Risiko und Effekte

In den Abschnitten 1.1 und 1.2 wurde das Simulationsmodell auf landwirtschaftlich beeinflusste Fließgewässer des Braunschweiger Umlands angewendet. Abschnitt 1.3 gibt einen Überblick über allgemeine Anwendungsmöglichkeiten des Simulators und den Systemaufbau.

Abschnitt 1.1 – *Scenario based simulation of runoff-related pesticide entries into small streams on a landscape level (Englische Publikation, → S. 27)*: Auf Basis des von der OECD vorgeschlagenen (ratio of exposure to toxicity) REXTOX-Modells wurde der Pestizeintrag für 737 Probestellen bei kleineren und mittleren Fließgewässern des Braunschweiger Umlands simuliert. Die Simulation wurde für die 15 im Untersuchungsgebiet am häufigsten nachgewiesenen Pestizide für je acht verschiedene Umweltszenarien durchgeführt. Die Szenarien umfassten Management-Maßnahmen, wie z.B. die Variation der Randstreifenbreite, sowie klimatische und saisonale Aspekte. Die Breite des Randstreifens und die Pflanzen-Interzeption wurden als die wichtigsten Einflussgrößen identifiziert. Die höchsten Konzentrationen wurden für ein Szenario ohne Randstreifen und gleichzeitig erhöhten Niederschlägen vorhergesagt. Anhand der simulierten Konzentrationen wurde das Risiko für aquatische Lebensgemeinschaften auf Basis von Standard-Toxizitätstests (Endpunkte EC₅₀, LC₅₀) und eines Sicherheitsfaktors abgeschätzt. Die Simulationsergebnisse wurden in Form von Risiko-Karten dargestellt, welche das ökologische Risiko für eine Vielzahl von Gewässerabschnitten des Untersuchungsgebiets anhand wechselnder Szenarien abbilden. Fallstudien-Diagramme geben Auskunft über das Modellverhalten bei Änderung einzelner Parameter. Die Ergebnisse bestätigten die Bedeutung von Randstreifen für die Eintragsminderung von Pestiziden in Gewässer. Sie gaben weiterhin Aufschluss über die Notwendigkeit der Einhaltung bestehender Abstandsauflagen sowie die Überarbeitung dieser Auflagen für einige Substanzen.

Abschnitt 1.2 – *Linking land use variables and invertebrate taxon richness in small and medium-sized agricultural streams on a landscape level (Englische Publikation, → S. 50)*: In dieser Studie wurden die langjährigen mittleren Artenzahlen von Fließgewässer-Invertebratentaxa im landwirtschaftlich geprägten Braunschweiger Umland (Untersuchungen über 15 Jahre bei 90 Gewässern an 202 Probestellen) auf Wechselbeziehungen mit verschiedenen Umweltfaktoren, wie z.B. der Gewässerbreite, der Landnutzung (Landwirtschaft, Wald,

Wiese, Siedlung), der Bodenart sowie landwirtschaftlich bedingter Stressoren untersucht. Der Stress, der von der landwirtschaftlichen Nutzung ausgeht, wurde dabei durch das Risiko des Auftretens von Oberflächenabfluss (runoff) von der Ackerfläche in das Gewässer ausgedrückt. Der Faktor „Risk of Runoff“ wurde von dem von der OECD vorgeschlagenen „ratio of exposure to toxicity“ (REXTOX) -Modell abgeleitet. Durch multivariate Statistik konnten insgesamt 39,9% der Varianz in der Artenzahl erklärt werden, wobei die Gewässerbreite mit 25,3% den wichtigsten Faktor darstellte, gefolgt vom Faktor „Risk of Runoff“ mit 9,7%. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass größere Gewässer – unabhängig von der landwirtschaftlichen Belastung – signifikant höhere Artenzahlen aufweisen als kleine Gewässer. Dies kann durch den potenziell höheren Strukturreichtum in größeren Gewässern erklärt werden, der zu mehr Habitaten und Nischen führt. Trotzdem konnten durch Oberflächenabfluss von landwirtschaftlichen Flächen bedingte, negative Effekte auf die Artenzahl vom Einfluss der Gewässerbreite getrennt werden: die mittlere Anzahl der Arten innerhalb verschiedener Gewässerbreitenklassen nahm mit steigendem Runoff-Risiko signifikant ab.

Abschnitt 1.3 – *Informationssystem zur ökotoxikologischen Bewertung der Gewässergüte in Bezug auf Pflanzenschutzmitteleinträge aus der Landwirtschaft - Systemaufbau und Anwendungsmöglichkeiten (Tagungsbeitrag → S. 61)*: Abschnitt 1.3 enthält einen kurzen Überblick über das Simulationssystem, generelle Anwendungsmöglichkeiten im Rahmen von Risiko-Minimierungsmaßnahmen sowie konkrete Anwendungsbeispiele zur Abschätzung des Einflusses der Randstreifenbreite sowie zur Erstellung von Risikokarten im Landschaftsmaßstab.

Das Simulationssystem

Ein wichtiger Aspekt für den Einsatz eines Simulationsmodells im Rahmen der Risikoabschätzung ist dessen einfache Anwendbarkeit in der Praxis. Dazu zählen die leichte Verfügbarkeit der benötigten Eingangsdaten, z.B. bei Behörden und öffentlichen Institutionen, die Umsetzung des Modells in eine Softwareanwendung, die auf jedem handelsüblichen Personal Computer betrieben werden kann sowie die entsprechende Dokumentation des Systems für die Anwender.

Abschnitt 1.4 – *Informationssystem zur ökotoxikologischen Bewertung der Gewässergüte in Bezug auf Pflanzenschutzmitteleinträge aus der Landwirtschaft - Simulationsmodell und Systemaufbau (BMBF-Bericht, → S. 67)*: In diesem Abschnitt wird das dem Simulationssystem zugrunde liegende mathematische Modell, die „simplified formula for indirect loadings caused by runoff“ (SFIL), mit den erforderlichen Eingangsparametern vorgestellt. Weiterhin werden der schematische Aufbau des Simulationssystems sowie der Ablauf des Datenverarbeitungsprozesses dargestellt.

Abschnitt 1.5 – *Benutzerhandbuch (BMBF-Bericht, → S. 71)*: Das Benutzerhandbuch enthält Informationen über die Installation des Systems, die Erzeugung der benötigten Eingangsdaten per GIS oder Szenario-Generator, zur allgemeinen Arbeit mit dem System sowie Anwendungsbeispiele zur Erstellung von Risikokarten und zum Einstieg in die Abschätzung der Wirkung von Risiko-Minimierungsmaßnahmen (Was-wäre-wenn-Analyse).

Abschnitt 1.6 – *Technische Dokumentation (BMBF-Bericht, → S. 104)*: Die technische Dokumentation beschreibt die Struktur der Simulator-Importschnittstelle, die Verwendung öffentlicher Datenbestände, das Format der GIS-Eingangsdaten sowie die Datenformate des Szenario-Generators. Weiterhin wird das Format der Datenbanktabellen aufgelistet, der Inhalt der Installations-CD dokumentiert sowie die Quelltexte wichtiger Komponenten angegeben.

Summary

The estimation of the potential risk of pesticide entries into streams - and therefore the potential risk for the ecosystems – is an important requirement for the planning of risk mitigation strategies. Especially on the landscape level the required event triggered sampling methods are conjuncted with considerable efforts with regard to input data, time and personnel. To circumvent these problems simulation models form a reasonable alternative.

The **aims of this work** were

- (A) the development of a simulation tool for the estimation of pesticide entries into surface waters on the landscape level, and
- (B) the application of the simulator for an exposure- and risk-assessment as well as the assessment of negative effects of pesticides on aquatic communities.

Section 1 – Exposure-, Risk- and Effects

In sections 1.1 and 1.2 the simulation model was applied to a multitude of small and medium sized streams in an agricultural impacted study area around the city of Braunschweig, Germany. Section 1.3 gives an overview of the simulators field of application and the general system structure.

Section 1.1 – *Scenario based simulation of runoff-related pesticide entries into small streams on a landscape level (English publication, → p. 27)*: In this paper we present a simulation tool for the simulation of pesticide entry from arable land into adjacent streams. We used the ratio of exposure to toxicity (REXTOX) model proposed by the OECD which was extended to calculate pesticide concentrations in adjacent streams. We simulated the pesticide entry on the landscape level at 737 sites in small streams situated in the central lowland of Germany. The most significant model parameters were the width of the no-application-zone and the degree of plant-interception. The simulation was carried out using eight different environmental scenarios, covering variation of the width of the no-application-zone, climate and seasonal scenarios. The highest in-stream concentrations were predicted at a scenario using no (0 m) buffer zone in conjunction with increased precipitation. According to the predicted concentrations, the risk for the aquatic communities was estimated based on standard toxicity tests and the application of a safety factor. The simulation results are presented by means of risk maps for numerous sites under varying scenarios as well as by case study diagrams with focus on the model behavior under the influence of single parameters. Risk maps confirmed the importance of no-application zones for the levels of pesticide input. They also indicated the importance of the existing no-application zones for certain compounds - and in some cases the need for a further evaluation of these regulations.

Section 1.2 – *Linking land use variables and invertebrate taxon richness in small and medium-sized agricultural streams on a landscape level (English publication, → p. 50)*: In this study the average numbers of invertebrate species across an arable landscape in central Germany (surveys from 15 years in 90 streams at 202 sites) were assessed for their correlation with environmental factors such as stream width, land use (arable land, forest, pasture, settlement), soil type and agricultural derived stressors. The stress originating from arable land was

estimated by the factor “risk of runoff”, which was derived from a runoff-model (rainfall induced surface runoff). Multivariate analysis explained 39.9% of the variance in species number, revealing stream width as the most important factor (25.3%) followed by risk of runoff (9.7%). The results showed that wider streams – with or without agricultural stressors - contained significantly higher species numbers than smaller streams. This can be explained by potentially more diverse in-stream structures leading to more habitats and niches. However, negative effects on species number owing to runoff from arable land could be distinguished from the effect of stream width: the number of species within each stream width class significantly decreased with increasing risk of runoff. The factor “risk of runoff” is considered to express a significant proportion of the variability in macroinvertebrate communities caused by stressors of agricultural origin.

Section 1.3 – *Informationssystem zur ökotoxikologischen Bewertung der Gewässergüte in Bezug auf Pflanzenschutzmitteleinträge aus der Landwirtschaft - Systemaufbau und Anwendungsmöglichkeiten (German publication, → p. 61)*: Section 1.3 contains a short overview of the simulation tool, the field of application and some examples of use, covering the effects of the width of the buffer zone as well as the creation of risk maps on the landscape level.

Section 2 – The simulation tool

An important aspect for the employment of a simulation model in the context of risk assessment is the applicability in practice: the accessibility of the needed input data, e.g. in digital form from authorities and public institutions, the conversion of the mathematical model into a software application that can be run on any current personnel computer and also an appropriate end-user documentation of the system.

Section 1.4 – *Informationssystem zur ökotoxikologischen Bewertung der Gewässergüte in Bezug auf Pflanzenschutzmitteleinträge aus der Landwirtschaft - Simulationsmodell und Systemaufbau (German report, → p. 67)*: In this section a general overview of the simulation model as well as the schematic system structure given.

Section 1.5 – *Benutzerhandbuch (German report, → p. 71)*: The user manual contains all relevant details concerning the installation of the system, generation of the required input data via GIS or scenario generator, and the general use of the system. Moreover it presents some application examples showing the creation of GIS-risk maps in detail and planning of the effects of risk mitigation strategies (what-if analyses).

Section 1.6 – *Technical documentation (German report, → p. 104)*: The technical documentation describes internal structures and processes of the simulation system. Section 1.6 provides information regarding the required structure of input tables, the usage and format of data sets obtained from public sources, the data pre-processing steps via GIS, and the data-structures of the scenario-generator application. Additionally the structures of all database tables used by the simulator application are listed, the contents of the included installation cd-rom is documented and the essential source code fragments and functions of the simulator application and of the GIS-scripts are listed.

Einleitung

Süßwasser stellt eine der wichtigsten Lebensgrundlagen auf unserem Planeten dar. Es ist durch Nichts zu ersetzen und die Gewährleistung seiner Verfügbarkeit und Reinheit stellt eine der größten Herausforderungen für die menschliche Gesellschaft dar. Die Wasserressourcen sind jedoch begrenzt und Schätzungen der Vereinten Nationen zufolge wird es bis 2025 in jedem fünften Land der Erde Probleme mit der Wasserversorgung geben (UNESCO, 2003).

Das Problem der Wasserknappheit stellt sich dabei auf unterschiedliche Weise dar. Während in vielen Ländern Afrikas und Asiens akuter Wassermangel herrscht, ist das Wasser in vielen Ländern Europas und Nordamerikas, die über ausreichende Süßwasservorkommen verfügen, zunehmend durch Schadstoffe belastet (UNESCO, 2003). Über landwirtschaftliche Prozesse in Oberflächengewässer eingetragene Pestizide stellen hierbei einen ernstzunehmenden Teil der Umweltbelastung dar. Von ihnen geht eine erhebliche Gefährdung des menschlichen Trinkwassers aus und sie bedrohen durch ihre Langlebigkeit und toxische Wirkungsweise auch die im Gewässer vorkommenden (Nicht-Ziel-) Organismen.

Die Abschätzung der Eintragswahrscheinlichkeit von Pestiziden in Gewässer, und damit deren Gefährdungspotenzial für das Ökosystem Fließgewässer, stellt eine wichtige Voraussetzung für die Planung von Risiko-Minimierungsmaßnahmen dar. Gerade im Landschaftsmaßstab sind die erforderlichen ereignisbezogenen Probenahmetechniken jedoch mit einem erheblichen Kostenaufwand verbunden. Um diesem Problem zu begegnen, stellen Simulationsmodelle eine sinnvolle Alternative dar. Die Simulation des Eintragsrisikos und der im Gewässer zu erwartenden Wirkstoff-Konzentrationen kann einen Hinweis auf besonders gefährdete Gebiete geben, bei denen eine personal- und zeitintensive Freilandbeprobung gerechtfertigt erscheint.

Anwendung von Pestiziden in der Landwirtschaft

In der heute weit verbreiteten konventionellen Landwirtschaft stellen Pestizide ein wichtiges Mittel zum Pflanzenschutz und damit zur Ertragssicherung dar. Schätzungen zufolge können Ernteverluste infolge von Schadorganismen durch den Einsatz von Pestiziden um bis zu 40% verringert werden, wodurch sich ihre breite Akzeptanz und Anwendung erklären lässt (Reus et al., 1999). Nach Statistiken des Umweltbundesamtes (UBA) werden in Deutschland jährlich etwa 30000 Tonnen Pestizide ausgebracht (UBA, 2001). Je nach gewünschtem Wirkungsziel werden Pestizide in folgende Untergruppen unterteilt: Herbizide zur Unterdrückung des Aufwuchses von Wildpflanzen, Fungizide, die der Bekämpfung von Pilzen dienen sowie Insektizide zur Bekämpfung von Insekten. Die mengenmäßig häufigste Anwendung finden die Herbizide (bis 90% je nach Anbaufrucht), gefolgt von Fungiziden (5-10%) und Insektiziden (1-5%) (Legrand et al., 1991; Kreuger, 1998; Haberer & Knepper, 2000).

Gefährdung der Fließgewässer

Von den ausgebrachten Pestiziden gelangen laut UBA insgesamt ca. 0,1% (=30t) der jährlichen Anwendungsmenge als Verlust in die Oberflächengewässer (UBA, 2001). Nachdem die Pestizide einmal das Gewässer erreicht haben, geht von ihnen eine Gefährdung des Trinkwassers sowie der dort angesiedelten aquatischen Lebensgemeinschaften aus. Obwohl es sich hierbei um Nicht-Ziel-Organismen handelt, werden viele Arten aufgrund der toxischen Wirkungsweise und Langlebigkeit der Pestizide geschädigt. Aus diesem Grund wurden in der Vergangenheit bereits einige Pestizide verboten oder deren Anwendung stark limitiert, wie

z.B. bei Lindan und Atrazin. Selbst für kurzfristige Insektizidkontaminationen im Konzentrationsbereich weniger $\mu\text{g/L}$ konnten signifikante Veränderungen von aquatischen Lebensgemeinschaften nachgewiesen werden (Schulz & Liess, 1999; Berenzen et al., 2005). Des Weiteren konnte ein signifikanter Rückgang der Artenzahl von Gewässerorganismen im Zusammenhang mit Pestizideinträgen nachgewiesen werden (Schulz, 1997; Liess & Schulz, 1999).

Punktuelle und diffuse Eintragsquellen

Pestizide werden auf unterschiedliche Weise in die Gewässer eingetragen. Dabei unterscheidet man zwischen punktuellen (industrielle Direkteinleitungen, Kläranlagen) und diffusen (Oberflächenabfluss von landwirtschaftlichen Flächen (Runoff), Abdrift (Spray-Drift), Drainage, Hofabläufe) Eintragsquellen (UBA, 2001). Bei den diffusen Quellen wird Runoff als besonders bedeutend angesehen (Wauchope, 1978; Williams et al., 1995; Liess & Schulz, 1999; Schulz, 2001b; UBA, 2001; Schulz, 2004) während bei den punktuellen Quellen der Eintrag über Kläranlagen als wichtigster Eintragspfad gilt (Seel et al., 1996; Gerecke et al., 2002; Neumann et al., 2002).

Bedeutung des Eintragsweges Runoff

Runoff wird als der bedeutendste Eintragsweg für gelöste Substanzen (Cooper & Lipe, 1992) und Pestizide (Schulz, 2001a) angesehen und wird oft mit biologischen Effekten im Gewässer in Verbindung gebracht (Liess & Schulz, 1999; Liess et al., 1999). Runoff kann in Folge stärkerer Niederschläge von mehr als 6-10 mm/Tag (Lutz, 1984; Maniak, 1992; Liess, 1993; Schulz, 1997) in Abhängigkeit von geomorphologischen Bedingungen, wie z.B. dem Bodentyp und dem Gefälle, grundsätzlich bei jeder landwirtschaftlichen Fläche auftreten. Dabei können bis zu 10% der ausgebrachten Pestizid-Menge als Verlust in Oberflächengewässer eingetragen werden (Schulz, 2004). Aufgrund des kurzen Eintragsweges (Abschwemmung von der Ackerfläche \rightarrow Gewässer) steigt die Wahrscheinlichkeit, dass auch die weniger langlebigen und stärker an Bodenpartikeln anhaftenden Wirkstoffe in das Gewässer gelangen. Dies gilt für viele Insektizide, die zwar in geringeren Mengen als Herbizide und Fungizide ausgebracht werden, deren Toxizität gegenüber Wirbellosen die erstgenannten aber oft bei weitem überschreitet.

Erfassung der Belastung

Im Freiland stellen durch Runoff bedingte Pestizideinträge in Gewässer im Allgemeinen kurzfristige Ereignisse dar. Die Ausbringung auf die landwirtschaftliche Fläche und das Niederschlagsereignis müssen zeitlich relativ nahe (wenige Stunden bis Tage) beieinander liegen, um einen zeitlich sowie lokal begrenzten Anstieg der Konzentration im Gewässer zu bewirken (Liess et al., 2001). Die herkömmlichen, intervallbasierten Messverfahren können stets nur eine allgemeine Übersicht über die Belastungssituation vermitteln. Die Erfassung dieser unvorhersagbaren und kurzfristigen Belastungen setzt jedoch eine relativ aufwändige, durch Hochwasser und/oder Leitfähigkeitsänderungen (ereignis-) gesteuerte, Messtechnik voraus (Schulz, 1997; Berenzen et al., 1999; Liess et al., 1999).

Fließgewässerbewertung im Landschaftsmaßstab

Mit Inkrafttreten der EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) im Dezember 2000, welche neben der Erfassung sauerstoffzehrender Substanzen anhand des Saprobienindex nach DIN 38410 (Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), 1990) und der Strukturgüte auch die Belastung der Oberflächengewässer durch toxische Stoffe, wie Pflanzenschutzmittel, in die Be-

richtspflicht einbezieht, hat die Fließgewässerbewertung im Landschaftsmaßstab in Europa eine besondere Bedeutung erhalten. Die EU-WRRL definiert jedoch nur Gewässer mit einem Einzugsgebiet von 10 km² und größer explizit als Schutzgut (Anhang II, 1.2.1) (EU, 2000). Um jedoch den geforderten „guten Zustand“ der größeren Gewässer erreichen zu können, darf die Bedeutung der kleinen und kleinsten Gewässer als Zubringer von Nähr- und Schadstoffen, als Laich- und Rückzugsgebiet sowie als Ausgangspunkt für Wiederbesiedlung nicht unterschätzt werden. Kleine und kleinste Fließgewässer (z.B. Ackergräben) sind besonders stark von Pestizideinträgen betroffen, da sie unmittelbar an landwirtschaftliche Flächen angrenzen und die im Verhältnis zu ihrem Wasservolumen größte Kontaktfläche zum Umland besitzen (Kreuger & Brink, 1988; Blanchard & Lerch, 2000). Die kleinen Gewässer machen dabei oftmals bis zu 80% der Fließstrecke eines Einzugsgebiets aus (Edmund Siemers Stiftung, 2003). So weisen z.B. Gewässer 1. und 2. Ordnung (Haupt- und Nebenflüsse) in Niedersachsen eine Fließstrecke von 2100 km bzw. 27000 km auf. Gewässer 3. Ordnung (kleine Zuflüsse) weisen jedoch eine Lauflänge von 130000 km auf (Niedersächsisches Umweltministerium, 2005).

Simulationsmodelle zur Identifikation eintragsgefährdeter Bereiche

Die ereignisbezogene Erfassung der Pestizidbelastung im Landschaftsmaßstab unter Berücksichtigung einer Vielzahl kleiner Fließgewässer würde einen sehr hohen personellen sowie zeitlichen und damit finanziellen Aufwand erfordern. Eine mögliche Lösung stellt hier der Einsatz von Simulationsmodellen dar. Im Allgemeinen können Simulationsmodelle bei der Abschätzung der Umweltverträglichkeit bzw. von zu erwartenden Umweltschäden sowie zur Abschätzung der Wirksamkeit von Umweltschutzmaßnahmen eingesetzt werden (Page & Hilty, 1995). Im Bereich der Expositions- und Risiko-Bewertung für Fließgewässer im landwirtschaftlich geprägten Umland kann durch die Anwendung eines auf geeigneten Umweltdaten und daraus abgeleiteten Szenarien basierenden Modells das Eintragsrisiko für einzelne Stellen abgeschätzt werden. Auf diese Weise können gezielt Bereiche („hot-spots“) identifiziert werden, bei denen eine weitergehende und aufwändige Beprobung im Freiland gerechtfertigt erscheint und die ggf. für Risiko-Minimierungsmaßnahmen in Frage kommen.

Bekannte Modelle zur Simulation runoff-basierter Pestizidbelastungen

Bisher entwickelte Modelle zur Simulation von Pestizideinträgen in Gewässer über den Eintragsweg Runoff, wie ARM (Donigan et al., 1977), CREAMS (Kniesel, 1980) oder PRZM (Carsel, 1984) wurden durch das „Forum for the Coordination of Pesticide Fate Models and their Use“ (FOCUS) untersucht. Eine Expositionsabschätzung im Landschaftsmaßstab, wie sie für die Umsetzung der EU-WRRL erforderlich ist, wird jedoch dadurch erschwert, dass die genannten Modelle auf einer Vielzahl von Vorbedingungen basieren (Adriaanse et al., 1997). Der Bedarf für ein einfach anzuwendendes Werkzeug zur Simulation von Pflanzenschutzmitteleinträgen in Fließgewässer, welches zur Risikoanalyse sowie zur Planung von Managementmaßnahmen auf Landschaftsebene eingesetzt werden kann, liegt daher auf der Hand.

Zielsetzung

Hauptziel dieser Arbeit war die Entwicklung eines Software-Werkzeugs zur Simulation runoff-basierter Pestizideinträge sowie die Anwendung des Systems zur Risiko- und Effektab-schätzung für kleine Fließgewässer des Braunschweiger Umlands.

Auswahl und Prüfung eines Simulationsmodells

- Auswahl eines mathematischen Modells zur Simulation diffuser Pestizideinträge als Basis für das zu entwickelnde Simulations-System.
- Durchführung einer Sensitivitätsanalyse zur Ermittlung sensitiver und damit für das Modellergebnis entscheidender Eingangsparameter.

Entwurf und Implementierung eines Software-Systems

- Entwurf eines Software-Werkzeuges, welches das mathematische Simulationsmodell implementiert. Das System sollte die Simulation von Pestizideinträgen auf Land-schaftsebene sowie auf der Ebene einzelner Gewässer oder Ackerschläge ermöglichen.
- Als Eingabedaten sollten direkt aus GIS-Karten abgeleitete Freilanddaten sowie aus Mittelwerten abgeleitete Standardszenarien verwendbar sein. Die Standardszenarien sollten vom Anwender veränderbar sein.
- Weitere Vorbedingungen waren die einfache Anwendbarkeit des Systems bei Behör-den und Planungsbüros sowie die ausschließliche Verwendung bereits öffentlich ver-fügbarer Eingangsdaten.
- Schließlich sollte das System mit einem GIS gekoppelt werden, um eine geeignete grafische Darstellung der Ergebnisse in Form von Risiko-Karten zu ermöglichen.

Risiko-Abschätzung auf Landschaftsebene

- Expositionsabschätzung: basierend auf verschiedenen Umwelt- und Managementsze-narien sollten für die 15 im Braunschweiger Umland am häufigsten nachgewiesenen Pestizide die erwarteten Konzentrationen im Gewässer (predicted environmental con-centration, PEC) bestimmt werden.
- Risikobewertung: auf Basis von Standard-Toxizitätstests sollten die simulierten Kon-zentrationen substanz-spezifischen Risikoklassen zugeordnet werden. Die Simulati-onsergebnisse sollten per GIS-Kopplung direkt zur Erzeugung von Risiko-Karten im Landschaftsmaßstab verwendet werden
- Effekte im Freiland: die langjährigen mittleren Artenzahlen an Fließgewässern im Braunschweiger Umland sollten statistisch auf Korrelationen mit dem simulierten Ru-noff-Risiko untersucht werden.

Inhalte der Arbeit

Auswahl eines auf Landschaftsebene einsetzbaren Simulationsmodells

Aufgrund der Komplexität der meisten Modelle wurde von der Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) die Verwendung eines vereinfachten Modells (simplified formula for indirect loadings caused by runoff, SFIL) für die Risikobewertung von Pestiziden vorgeschlagen (Reus et al., 1999). Die Formel stellt ein Teilmodell des ebenfalls von der OECD (OECD, 2000) vorgeschlagenen „Ratio of Exposure to Toxicity-“ (REXTOX) Modells dar.

Die SFIL wurde in dieser Arbeit zur Simulation der Pestizid-Einträge verwendet (Abschnitte 1.1 und 1.2). Das Modell erlaubt die Simulation diffuser Pestizid-Einträge über den Eintragsweg Runoff mit vergleichsweise geringem Aufwand. Die erforderlichen Eingangsparameter (Landnutzung, Niederschlag, Bodenart, Gefälle, Anwendungszeitpunkt und -menge von Pflanzenschutzmitteln) müssen nicht gesondert erfasst werden, sondern liegen größtenteils bereits in digitaler Form bei den zuständigen Behörden und Institutionen im Rahmen von Routinemessprogrammen vor. Die SFIL erlaubt die Risiko-Abschätzung sowohl auf Landschaftsebene als auch auf der Ebene kleinster Gewässer, Probestellen oder Ackerschläge. Die Genauigkeit der Simulationsergebnisse erhöht sich, wenn exakte Eingangsparameter (Anwendungszeitraum, -menge, usw.) zur Verfügung stehen. Alternativ kann auf Standardszenarien zurückgegriffen werden, die z.B. durch Befragung von Landwirten ermittelte mittlere Anwendungsmengen oder durchschnittliche Niederschlagswerte eines Einzugsgebiets widerspiegeln.

Das ursprünglich von der OECD vorgeschlagene Modell war zur Simulation des prozentualen Anteils der ausgebrachten Pestizid-Menge bestimmt, die sich im Oberflächenabfluss wieder findet, ohne jedoch die im Gewässer zu erwartenden Konzentrationen (predicted environmental concentration, PEC) zu berücksichtigen. Aufgrund der Bedeutung der resultierenden Konzentrationen für die ökotoxikologische Risikobewertung (Liess & Schulz, 1999) wurde das hier verwendete Simulationsmodell durch Berenzen (Berenzen et al., 2004) entsprechend erweitert (siehe auch Abschnitt 1.1).

Validierung des Modells im Freiland

Die Eignung des Modells zur Expositionsabschätzung wurde in zwei vorangehenden Studien (Dabrowski & Schulz, 2003; Berenzen et al., 2004) bestätigt. Berenzen (2004) überprüfte das Modell in einer Feldstudie an 18 Gewässern im Braunschweiger Umland durch den Vergleich gemessener mit simulierten Konzentrationen. Dabei konnten signifikante Korrelationen für folgende Wirkstoffe festgestellt werden: Azoxystrobin: $r^2 = 0.43$; $p = 0.03$; Epoxiconazol: $r^2 = 0.71$; $p \leq 0.01$; Tebuconazol: $r^2 = 0.77$; $p \leq 0.01$. Für die genannten Substanzen konnte das Modell erfolgreich die durch Runoff hervorgerufene Konzentration im Gewässer vorhersagen. Dabrowski und Schulz (2003) verglichen im Gewässer gemessene Pestizidfrachten mit dem simulierten Anteil der ausgebrachten Pestizidmenge im Runoff und stellten ebenfalls die Eignung des Modells zur Expositionsabschätzung fest.

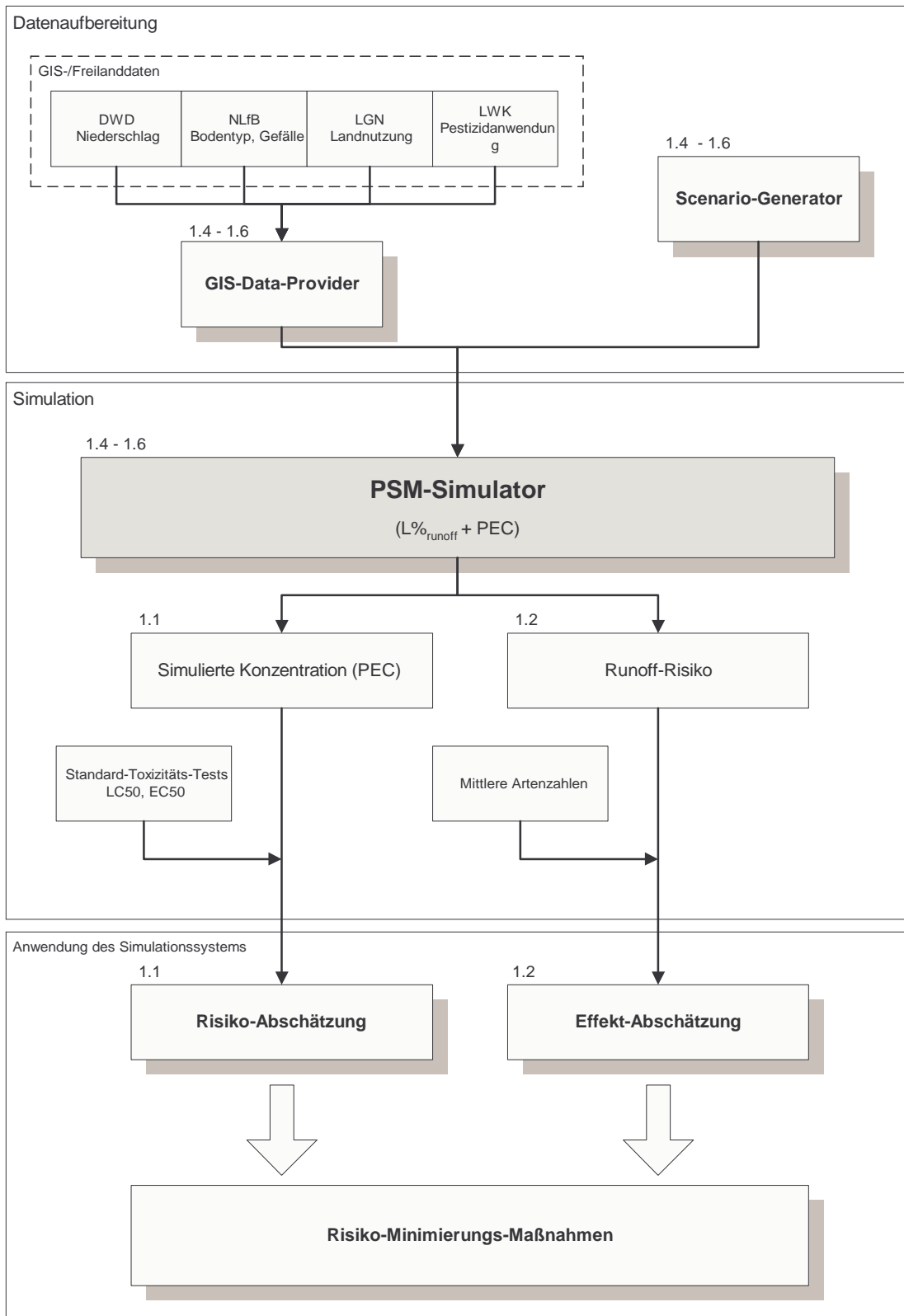


Abb. 1 - Konzeptioneller Ansatz der Arbeit: Die Eingangsdaten werden direkt aus dem GIS extrahiert oder vom Anwender per Szenario-Generator erzeugt. Der Simulator berechnet die Konzentration im Gewässer (PEC) sowie das Runoff-Risiko. Anhand der Toxizitätstests (LC₅₀, EC₅₀) bzw. der Artenzahlen wurden Risiken sowie Effekte abgeschätzt. Die Abschnittsnummern sind jeweils angegeben.

Erstellung von Risiko-Karten durch GIS-Kopplung

Ein wichtiger Aspekt für die Planung und Erfolgsbewertung (Was-wäre-wenn-Analysen) von Risiko-Minimierungsmaßnahmen ist die Möglichkeit, die Simulationsergebnisse möglichst übersichtlich darzustellen (Page & Hilty, 1995). Das Simulationsmodell wurde daher mit einem geographischen Informationssystem (GIS) gekoppelt. Auf diese Weise können die, normalerweise als Datenbanktabellen vorliegenden, Ergebnisdaten in Form von Risiko- und Gütekarten auf verschiedenen Maßstabsebenen dargestellt werden (Abschnitt 1.1). Die realistische Einschätzung der Belastungssituation, z.B. auf Ebene eines Flusseinzugsgebietes oder einer naturräumlichen Region, wird so erleichtert und die Auswirkungen von Managementmaßnahmen, z.B. die Variation der Randstreifenbreite, können besser abgeschätzt werden.

Sensitivitätsanalyse zur Ermittlung der wichtigsten Parameter

Zur Beurteilung der Zuverlässigkeit eines Simulationsmodells stellt die Sensitivitätsanalyse ein wichtiges Hilfsmittel dar. Die Sensitivität stellt dabei ein Maß für die Schwankungsbreite des Modellergebnisses in Abhängigkeit von der Variation eines bestimmten Eingangsparameters dar. Sensitive Modellkomponenten haben signifikanten Einfluss auf das Simulationsergebnis. Werden sensitive Eingangsparameter ungenau erfasst oder fehlen diese sogar teilweise, führt dies zu Ungenauigkeiten in den Ergebnissen. Aus diesem Grund sollten die Eingangsdaten für sensitive Parameter mit größtmöglicher Sorgfalt erfasst und eingegeben werden (Jorgensen, 1995). Eine Möglichkeit, die Sensitivität von Teilmodellen oder einzelnen Funktionen zu bestimmen, stellt der von Jorgensen (1995) vorgeschlagene Sensitivitätsindex $|S|$ dar. Die Sensitivität $|S|$ eines Parameters P ist bezüglich des Simulationsergebnisses R , nach Jorgensen, wie folgt definiert: $|S| = |\delta R/R| / |\delta P/P|$. Der Index $|S|$ stellt demnach ein Maß für den möglichen Wertebereich (die möglichen Schwankungen) des Modellergebnisses in Abhängigkeit von der Variation des jeweiligen Eingangs-Parameters dar.

Für alle geomorphologischen, klimatischen und chemisch-physikalischen Eingangsparameter des in dieser Arbeit verwendeten Simulationsmodells wurde jeweils eine Sensitivitätsanalyse nach Jorgensen durchgeführt. Dabei stellten sich die Breite des Randstreifens sowie die Pflanzen-Interzeption als die sensitivsten und somit wichtigsten Modellparameter heraus (Abschnitt 1.1).

Praktische Anwendbarkeit des Simulationssystems

Neben der grundsätzlichen Eignung eines Modells, den betrachteten Umweltausschnitt mathematisch abzubilden, stellen die Verfügbarkeit der benötigten Eingangsdaten sowie die Umsetzung in eine Software-Anwendung wichtige Aspekte für die praktische Anwendbarkeit dar. Mit der Verwendung der SFIL wurde ein Modell gewählt, dessen Eingangsdaten bei Behörden und anderen Institutionen oft bereits in digitaler Form vorliegen. Eine aufwändige Neuerfassung kann damit entfallen und die Übertragbarkeit des Verfahrens auf Gebiete mit ähnlicher Datenqualität wird erleichtert.

Um eine möglichst einfache Anwendbarkeit und gute Akzeptanz, z.B. bei Behörden und Gutachterbüros, zu gewährleisten, wurde bei der Entwicklung des Simulators auf standardisierte Techniken zurückgegriffen. Der Simulator selbst wurde als MS-Windows-Anwendung (Microsoft Corp.) implementiert, die auf jedem handelsüblichen Personal Computer lauffähig ist. Das System wurde mit Hilfe der Entwicklungsumgebung Delphi 5 Professional (Borland Corp., USA) auf Basis der Programmiersprache Object Pascal implementiert. Die GIS-Kopplung erfolgte über das bei Behörden und Universitäten relativ weit verbreitete Geo-

Informationssystem ArcView (ESRI, Redlands, CA, USA). Der Datenaustausch zwischen GIS und Simulator sowie zu externen Anwendungen wurde einheitlich über das etablierte dBASE-Format realisiert. Um den Anwendern den Einstieg und die Benutzung des Systems zu erleichtern, wurden ein ausführliches Benutzerhandbuch (Abschnitt 1.5) sowie eine technische Dokumentation (Abschnitt 1.6) erstellt.

Erzeugung der Eingangsdaten

Als Eingabedaten für das Simulationssystem können zum einen Freilanddaten dienen, die direkt aus digitalen GIS-Karten gewonnen wurden. Zum anderen können Standardszenarien verwendet werden, welche z.B. auf gebietstypischen Mittelwerten basieren und vom Benutzer modifiziert werden können (Abschnitte 1.4 - 1.6). Die Eingabedaten müssen einem bestimmten Importformat (strukturierte dBASE-Tabelle) entsprechen und für den Simulator aufbereitet werden. Um die Anwender bei der Erzeugung geeigneter Eingabetabellen zu unterstützen, wurden neben dem Simulator zwei weitere Software-Werkzeuge implementiert. Für die Simulation auf Landschaftsebene wurde der GIS-Data-Provider (Abschnitt 1.5) entwickelt, ein GIS-Skript, mit dessen Hilfe sich sämtliche für die Simulation erforderlichen Eingangsparameter direkt aus den GIS-Karten (shapes) extrahieren lassen. Dabei werden die verschiedenen Ebenen (layer), wie z.B. Bodenart, Niederschlag oder Gefälle, über spezielle GIS-Operationen verschnitten (intersection) und daraus eine Ergebnistabelle erzeugt, welche eine Kombination der relevanten Informationen für jede Probestelle enthält. Für Fallstudien, bei denen der Schwerpunkt auf der Untersuchung des Einflusses einzelner Parameter auf das Simulationsergebnis liegt, wurde ein Szenario-Generator (Abschnitt 1.5) entwickelt. Dieses Werkzeug erlaubt es, vordefinierte Standardszenarien zu modifizieren oder komplett neue Szenarien zu erstellen (z.B. zur Untersuchung der Auswirkungen des Klimawandels an einer existierenden Probestelle). Beide Werkzeuge erzeugen für den Simulator geeignete, gleich strukturierte Eingabetabellen (Abschnitte 1.5 + 1.6). Das Simulator-Modul liest diese Tabellen ein, führt die Simulationsberechnungen entsprechend der SFIL aus und schreibt die Ergebnisse in Ergebnistabellen. Diese, ebenfalls im dBASE-Format vorliegenden, Tabellen enthalten für jede Probestelle den Anteil $L\%_{\text{runoff}}$ [%] der ausgebrachten Pestizidmenge im Runoff sowie die erwartete Konzentration P_c [$\mu\text{g/L}$] im Gewässer (PEC). Die so erzeugten Tabellen können anschließend für die grafische Darstellung via GIS (z.B. als Risikokarten) sowie für statistische Auswertungen, z.B. mit Excel (Microsoft Corp., USA) oder SPSS (SPSS, Chicago, IL, USA), verwendet werden. Der Vorgang der Datenaufbereitung, Simulation und Ergebnisausgabe ist in Abb. 2 dargestellt.

Expositions-Abschätzung anhand der simulierten Konzentration

Für die Bewertung der von Pestizideinträgen ausgehenden Gefährdung für Fließgewässer-Lebensgemeinschaften ist zunächst eine Expositionsabschätzung (exposure assessment) erforderlich. Die im Gewässer zu erwartende Konzentration eines toxischen Stoffes oder eines Stoffgemisches stellt einen wichtigen Anhaltspunkt für die mögliche Gefährdung dar. So wurden für kurzfristige Insektizidkontaminationen im Konzentrationsbereich weniger $\mu\text{g/L}$ signifikante Veränderungen von aquatischen Lebensgemeinschaften nachgewiesen (Schulz & Liess, 1999; Berenzen et al., 2005). Weiterhin wird durch die Festlegung des Europäischen Trinkwassergrenzwerts auf $0,1 \mu\text{g/L}$ für einzelne Substanzen bzw. $0,5 \mu\text{g/L}$ für Stoffgemische (EU, 1998) ein weiterer wichtiger Anlass zur Überprüfung und Abschätzung der im Gewässer auftretenden Konzentrationen gegeben.

Das in dieser Arbeit angewendete Simulationsmodell ermöglicht die Abschätzung des prozentualen Anteils der ausgebrachten Pestizidmenge im Runoff sowie die Berechnung der zu er-

wartenden Konzentration (predicted environmental concentration, PEC) im Gewässer. In Abschnitt 1.1 wurden die im Gewässer zu erwartenden Konzentrationen für die 15 im Untersuchungsgebiet am häufigsten nachgewiesenen Substanzen berechnet. Auf diese Weise konnten für jede Substanz solche Stellen ermittelt werden, die besonders eintragsgefährdet sind und die für eine weitergehende Beprobung in Frage kommen.

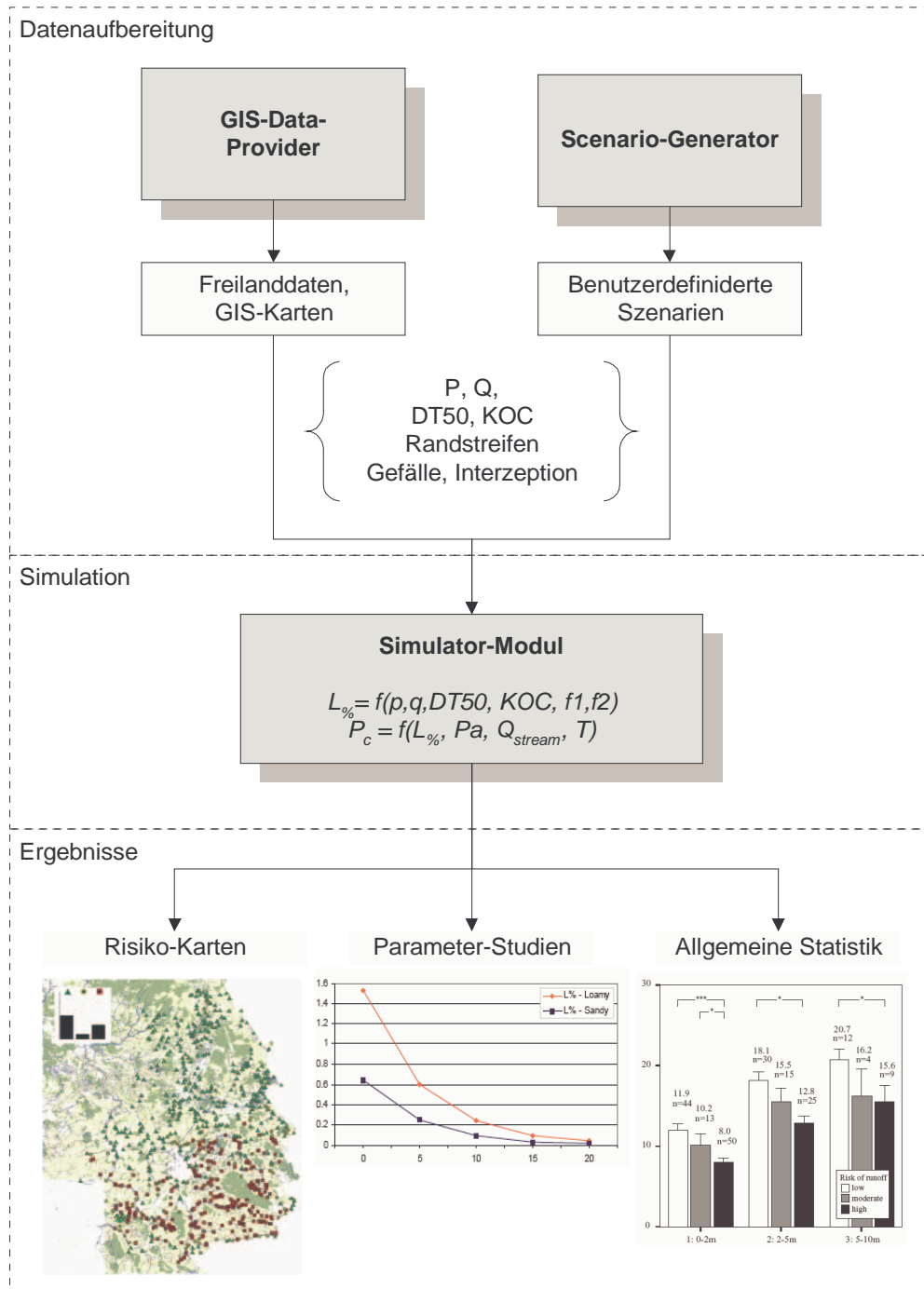


Abb. 2. Flussdiagramm des Simulationsprozesses: Datenaufbereitung via GIS-Data-Provider oder Szenario-Generator, Simulationsprozess, Ergebnis-Verarbeitung.

Risiko-Abschätzung anhand von Standard-Toxizitätstests

Das von Pestizideinträgen ausgehende Risiko für aquatische Organismen (risk assessment) lässt sich alleine aufgrund der Konzentration, der diese potenziell ausgesetzt werden, nur

schwer abschätzen. Die verschiedenen Organismengruppen reagieren teilweise sehr unterschiedlich auf Belastungen ihres Lebensraumes. Einige Arten verschwinden infolge von Pestizidkontaminationen längerfristig aus dem Gewässer oder zeigen einen starken Abundanzrückgang (Schulz, 1997). Andere, weniger empfindliche, Arten zeigen dagegen subletale Reaktionen oder entwickeln Vermeidungsstrategien (Schulz, 1997). Ein weiterer Aspekt, der die Risiko-Abschätzung allein auf Basis von Konzentrationen erschwert, ist die unterschiedliche Toxizität der einzelnen Wirkstoffe. Moderne Pestizide (insbesondere Insektizide) werden zwar in deutlich geringeren Anwendungsmengen ausgebracht, ihre Toxizität gegenüber den verschiedenen Organismengruppen ist jedoch in der Regel höher als die älterer Substanzen. Eine realistische Einschätzung des von einer Kontamination ausgehenden Risikos sollte daher möglichst für jede Substanz erfolgen und sich an den jeweils empfindlichsten Organismen orientieren.

Die Abschätzung des Risikos für aquatische Lebensgemeinschaften wurde in Abschnitt 1.1 auf Basis von Gefährdungs-Klassen durchgeführt. Als Endpunkte dienten Standard-Toxizitätstests (lethal concentration LC_{50} , effect concentration EC_{50}) für Fische, Algen und Makroinvertebraten, die aus Literaturwerten und Online-Datenbanken abgeleitet wurden. Auf diese Weise war es möglich, für die einzelnen Substanzen Konzentrationsbereiche anzugeben, für die keine, moderate oder starke schädigende Effekte auf die jeweilige Organismengruppe zu erwarten sind. Die Simulation wurde für die 15 im Untersuchungsgebiet am häufigsten nachgewiesenen Substanzen durchgeführt. Die Vorbedingungen bildeten acht verschiedene Umweltszenarien, die verschiedene Grade von Risiko-Minimierungsmaßnahmen (Randstreifenbreite) sowie klimatische und saisonale Aspekte umfassten. Die höchsten Konzentrationen wurden für ein Szenario vorhergesagt, das keinen Randstreifen sowie starke Regenfälle als Vorbedingung hatte. Die aus den Konzentrationen abgeleiteten Risikoklassen je Szenario und Substanz wurden anschließend zur Erstellung von Risiko-Karten im Landschaftsmaßstab verwendet (Abb. 3)

A) Isoproturon: current best practice

B) buffer zone - 50%

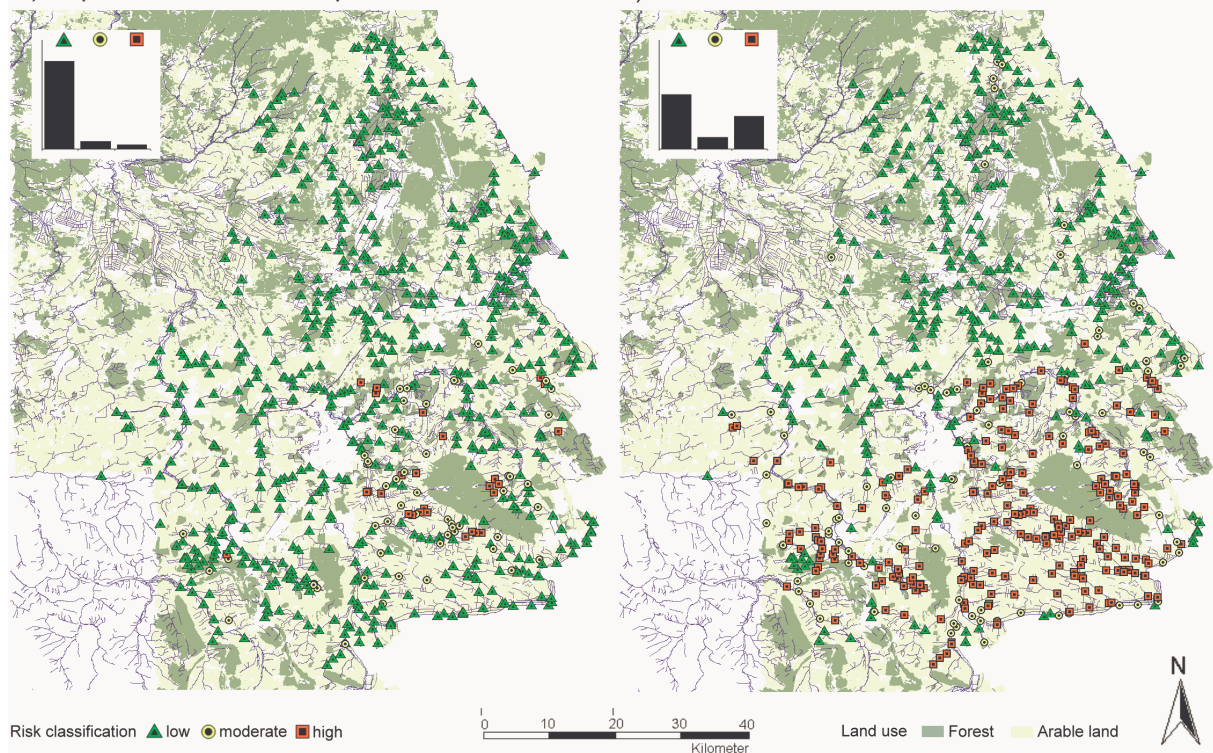


Abb. 3. Beispiel für eine Risiko-Karte: Gegenüberstellung zweier Szenarien. ($n=737$ Probestellen). Isoproturon (Risiko-Klassen ($\mu\text{g/L}$): gering < 4 , mittel ≥ 4 und < 8 , hoch: ≥ 8): **Szenario A:** gute landwirtschaftliche Praxis – **Szenario B:** Randstreifen reduziert um 50%.

Abschätzung von Freilandeffekten

Die Artenzahl und -zusammensetzung von Lebensgemeinschaften in Fließgewässern hängt stark von den Umweltfaktoren ab, denen diese ausgesetzt sind (Wally & Fontama, 1998; Ruse, 2000). In landwirtschaftlich geprägten Fließgewässern gehören zu diesen Faktoren zum Beispiel die kurzfristige Zunahme der Wasserführung (Schulz, 1997), erhöhte Sedimentkonzentrationen (Schulz, 1997), organische Belastungen (Whitehurst, 1991), Verlandung des Flussbetts (Vuori & Joensuu, 1996) sowie der Eintrag von Pestiziden (Schulz, 1997; Liess & Schulz, 1999; Liess et al., 1999). Aufgrund der Dominanz von landwirtschaftlich genutzten Flächen in vielen Gebieten, stellt sich die Frage, wie stark die beschriebene Variabilität von landwirtschaftlichen Aktivitäten - im Vergleich zu anderen Umweltfaktoren - abhängt. Bisher durchgeführte Freilandstudien (Matthiesen et al., 1995; Liess & Schulz, 1999; Liess et al., 1999), die sich mit der Bedeutung landwirtschaftlich bedingter Stressoren befassen, haben jeweils nur eine oder wenige Gewässerabschnitte einbezogen. Im Rahmen dieser Arbeit sollte untersucht werden, inwieweit sich die Ergebnisse dieser Studien auf den Landschaftsmaßstab mit einer Vielzahl von Gewässern übertragen lassen.

In Abschnitt 1.2 wurde der Einfluss verschiedener Umweltfaktoren, wie z.B. der Gewässerbreite, der Landnutzung (Acker, Wald, Wiese, Siedlung) sowie landwirtschaftlich bedingter Stressoren, auf die langjährigen mittleren Artenzahlen von Makroinvertebraten-Taxa im landwirtschaftlich geprägten Umland der Stadt Braunschweig untersucht. Die von landwirtschaftlichen Aktivitäten ausgehende Belastung wurde dabei durch den Faktor „Runoff-Risiko“ abgebildet. Dieser Faktor integriert einen großen Teil des landwirtschaftlich bedingten Einflusses auf Fließgewässerlebensgemeinschaften, da Oberflächenabfluss in Folge von Starkregenereignissen als die wichtigste Quelle von Stoffeinträgen (Cooper & Lipe, 1992) und Pestiziden (Schulz, 2001a) in Gewässer angesehen wird und oft mit biologischen Effekten in Verbindung gebracht wird (Liess & Schulz, 1999; Liess et al., 1999). Die multivariate Analyse konnte 40% der Varianz der Artenzahlen erklären. Die dominierenden Faktoren waren die Gewässerbreite (25%) sowie das Runoff-Risiko (10%). Die Artenzahlen waren in breiteren Gewässern – unabhängig von landwirtschaftlicher Beeinflussung – signifikant höher gegenüber den Artenzahlen in kleineren Gewässern. Dies lässt sich vor allem durch eine potenziell höhere Strukturdiversität erklären, die zu einer höheren Anzahl von Habitaten und ökologischen Nischen führt. Trotzdem konnten die negativen Effekte aufgrund eines erhöhten Runoff-Risikos klar vom Einfluss der Gewässerbreite getrennt werden: die Artenzahlen innerhalb verschiedener Gewässerbreitenklassen nahmen mit steigendem Runoff-Risiko signifikant ab. Abb. 4 zeigt die mittleren Artenzahlen der Jahre 1985 bis 1999 im Braunschweiger Umland in Abhängigkeit von Gewässerbreite und Runoff-Risiko.

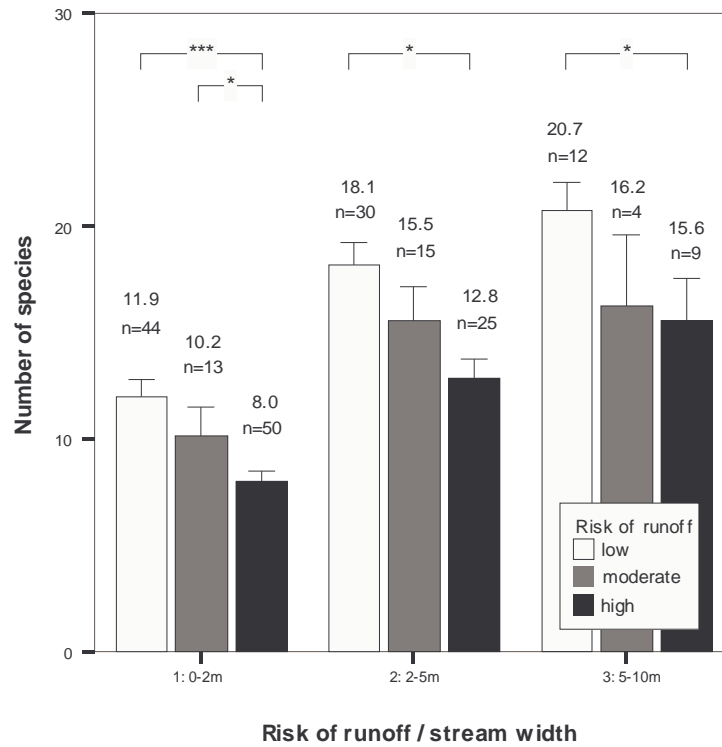


Abb. 4. Mittlere Artenzahl je Gewässerbreitenklasse (0-2m, 2-5m, 5-10m) und Runoff-Risiko-Klasse (gering, mittel, hoch). n = Anzahl Stellen je Klasse. Signifikanzniveau: (two-way ANOVA, Scheffé's *F* test), mit $p \leq 0.05$ (**), $p \leq 0.01$ (*), $p \leq 0.001$ (***). Fehlerbalken entsprechen dem Standardfehler. Die Daten basieren auf Proben, die bei 202 Stellen in 90 Gewässern des Braunschweiger Umlands zwischen Mai und August der Jahre 1985 bis 1999 genommen wurden.

Literaturangaben

- Adriaanse, P., R. Allen, V. Gouy, J. Hosang, T. Jarvis, M. Klein, R. Layton, J. Linders, L. Schäfer, L. Smeets, D. Yon (1997). Surface Water Models and EU Registration of Plant Protection Products - Dok. 6476/VI/96, Final report of the work of the Regulatory Modelling Working Group of Surface Water - Models of FOCUS (FORum for the Co-ordination of pesticide fate models and their USE).
- Berenzen, N., T. Kumke, H. K. Schulz, R. Schulz (2005). "Macroinvertebrate community structure in agricultural streams: impact of runoff-related pesticide contamination." *Ecotoxicology and Environmental Safety* 60(1): 37-46.
- Berenzen, N., A. Lentzen-Godding, M. Probst, H. Schulz, R. Schulz, M. Liess (2004). "A comparison of predicted and measured levels of runoff-related pesticide concentrations in small lowland streams on a landscape level." *Chemosphere* 58: 683-691.
- Berenzen, N., J. Wogram, R. Schulz, M. Liess (1999). "Integration ereignisbezogener Probenahmemethoden in die Fließgewässerbewertung." Tagungsbericht 1999 - Tagung der Deutschsprachigen Gesellschaft für Limnologie (DGL), Rostock 1(127-136).
- Blanchard, P. E., R. N. Lerch (2000). "Watershed vulnerability to losses of agricultural chemicals: Interactions of chemistry, hydrology, and land-use." *Environmental Science and Technology* 34(16): 3315-3322.
- Carsel, R. F., Smith, C.N., Mulkey, L.A., Dean, J.D, Jowise, P. (1984). "User's Manual for Pesticide Root Zone Model (PRZM), Release 1." U.S. Government Printing Office, Washington D.C. USEPA 600/3-84-109.
- Cooper, C. M., W. M. Lipe (1992). "Water quality and agriculture: Mississippi experiences." *Journal of Soil and Water Conservation* 47: 220-223.
- Dabrowski, J. M., R. Schulz (2003). "Predicted and measured levels of azinphosmethyl in the Lourens River, South Africa: Comparison of runoff and spray drift." *Environmental Toxicology and Chemistry* 22: 494-500.
- Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN) (1990). "Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Biologisch-ökologische Gewässeruntersuchung (Gruppe M); Bestimmung des Saprobienindex (M 2)." Ausgabe:1990-10: 18.
- Donigan, A. S., D. C. Byrerlein, H. H. Davis, N. H. Crawford (1977). "Agricultural Runoff Management Model, Version II: Refinement and Testing." U.S. Government Printing Office, Washington D.C. USEPA 600/3-77-098.
- Edmund Siemers Stiftung (2003). "Gewässerschutz für Bäche und kleine Flüsse." (InfoNet-Umwelt_SH > Organisationen > NGOs > EdmundSiemersStiftung)
<http://www.umwelt.schleswig-holstein.de/servlet/11616>.
- EU (1998). "Richtlinie 98/83/EG des Rates vom 3. November 1998 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch." Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft 5.12.98.

- EU (2000). "Gemeinsamer Entwurf für eine Richtlinie des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, Stand 18.7.2000." Richtlinie 2000/ /EG 97/0067, C5-0347/00: 1-251.
- Gerecke, A. C., M. Scharer, H. P. Singer, S. R. Müller, R. P. Schwarzenbach, M. Sagesser, U. Ochsenbein, G. Popow (2002). "Sources of pesticides in surface waters in Switzerland: Pesticide load through waste water treatment plants: Current situation and reduction potential." *Chemosphere* 48(3): 307-315.
- Haberer, K., T. P. Knepper (2000). Gewässerbelastung durch Pflanzenschutzmittel. Handbuch der Umweltveränderungen und Ökotoxikologie , Band 3 B: Aquatische Systeme: Biogene Belastungsfaktoren - Organische Stoffeinträge - Verhalten von Xenobiotika. R. Guderian and G. Gunkel. Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag: 400-419.
- Jorgensen, S. E. (1995). "State of the art of ecological modelling in limnology." *Ecological Modelling* 78: 101-115.
- Kniesel, W. G. (1980). CREAMS - A field scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems. Washington, Conservation Research Report.
- Kreuger, J. (1998). "Pesticides in stream water within an agricultural catchment in southern Sweden, 1990-1996." *The Science of the Total Environment* 216: 227-251.
- Kreuger, J. K., N. Brink (1988). Losses of pesticides from agriculture. Pesticides: Food and Environmental Implications., Vienna, International Atomic Energy Agency.
- Legrand, M. F., E. Costentin, A. Bruchet (1991). "Occurrence of 38 pesticides in various French surface and ground waters." *Environmental technology* 12: 985-996.
- Liess, M. (1993). Zur Ökotoxikologie der Einträge von landwirtschaftlich genutzten Flächen in Fließgewässer. Göttingen, Cuvillier.
- Liess, M., R. Schulz (1999). "Linking insecticide contamination and population response in an agricultural stream." *Environmental Toxicology and Chemistry* 18: 1948-1955.
- Liess, M., R. Schulz, N. Berenzen, J. Nanko-Drees, J. Wogram (2001). Pflanzenschutzmittel-Belastung und Lebensgemeinschaften in Fließgewässern mit landwirtschaftlich genutztem Umland. Berlin, Umweltbundesamt, UBA-Texte 65/01 zum FE-Vorhabens 296 24 511.
- Liess, M., R. Schulz, M. H.-D. Liess, B. Rother, R. Kreuzig (1999). "Determination of insecticide contamination in agricultural headwater streams." *Water Research* 33(1): 239-247.
- Lutz, W. (1984). Calculation of stormwater discharge using catchment variables (in German), Communications, Institute of Hydrology and Water Research. Karlsruhe, University of Karlsruhe.
- Maniak, U. (1992). "Regionalisierung von Parametern für Hochwasserabflußganglinien." *Regionalisierung der Hydrologie* (H.B. Kleeberg), DFG, Mittlg. Senatskomm. für Wasserf. 11: 325-332.

- Matthiesen, P., D. Sheahan, R. Harrison, M. Kirby, R. Rycroft, A. Turnbull, C. Volkner, R. Williams (1995). "Use of a *Gammarus pulex* bioassay to measure the effects of transient carbofuran runoff from farmland." *Ecotoxicology and Environmental Safety* 30(2): 111-119.
- Neumann, M., R. Schulz, K. Schäfer, W. Müller, W. Mannheller, M. Liess (2002). "The significance of entry routes as point and non-point sources of pesticides in small streams." *Water Research* 36: 835-842.
- Niedersächsisches Umweltministerium (2005). "Daten zur Gewässerunterhaltung." [Home > Themen > Wasser > Flüsse, Bäche, Seen > Gewässerunterhaltung] http://www.umwelt.niedersachsen.de/master/C786155_N11352_L20_D0_I598.html.
- OECD (2000). Report of the OECD Pesticide Aquatic Risk Indicators Expert Group. Braunschweig, Germany, OECD: 14-21.
- Page, B., H. M. Hilty (1995). *Umweltinformatik*, R. Oldenburg Verlag München Wien.
- Reus, J., C. Lenndertse, C. Bockstaller, I. Fomsgaard, V. Gutsche, K. Lewis, C. Nilsson, L. Pussemier, M. Trevisan, H. van der Werf, F. Alfarroba, S. Bluemel, J. Isart, D. Mc Grath, T. Seppaelae (1999). *Comparing Environmental Risk Indicators for Pesticides. Results of the European CAPER Project, CLM 426*. Utrecht, Centre for Agriculture and Environment.
- Ruse, L. P. (2000). "Multivariate techniques relating macroinvertebrates and environmental data from a river catchment." *Water Research* 30: 3017-3024.
- Schulz, R. (1997). *Aquatische Ökotoxikologie von Insektiziden - Auswirkungen diffuser Insektizideinträge aus der Landwirtschaft auf Fließgewässer-Lebensgemeinschaften*. Landsberg, Ecomed Verlag.
- Schulz, R. (2001a). "Comparison of spraydrift- and runoff-related input of azinphos-methyl and endosulfan from fruit orchards into the Lourens River, South Africa." *Chemosphere* 45: 543-551.
- Schulz, R. (2001b). *Nonpoint-source pesticide pollution in running waters: exposure assessment, ecological effects and risk mitigation*. Braunschweig, Habilitationsschrift an der Technischen Universität.
- Schulz, R. (2004). "Field studies on exposure, effects and risk mitigation of aquatic nonpoint-source insecticide pollution - A review." *Journal of Environmental Quality* 33: 419-448.
- Schulz, R., M. Liess (1999). "A field study of the effects of agriculturally derived insecticide input on stream macroinvertebrate dynamics." *Aquatic Toxicology* 46: 155-176.
- Seel, P., T. P. Knepper, G. Stanislava, A. Weber, K. Haberer (1996). "Kläranlagen als Haupteintragspfad für Pflanzenschutzmittel in ein Fließgewässer - Bilanzierung der Einträge." *Vom Wasser* 86: 247-262.
- UBA (2001). *Wasserwirtschaft in Deutschland. Teil III - Emissionen in die Oberflächengewässer und Meere*. Bonn.

- UNESCO (2003). Weltwasserentwicklungsbericht der Vereinten Nationen, Deutsche UNESCO Kommission e.V.
- Vuori, K., I. Joensuu (1996). "Impact of forest drainage on the macroinvertebrates of a small boreal headwater stream: Do buffer zones protect lotic biodiversity?" *Biological Conservation* 77: 87-95.
- Wally, W. J., V. N. Fontana (1998). "Neural network predictors of average score per taxon and number of families at unpolluted river sites in Great Britain." *Water Research* 32: 613-622.
- Wauchop, R. D. (1978). "The pesticide content of surface water draining from agricultural fields - a review." *Journal of Environmental Quality* 7: 459-472.
- Whitehurst, I. T. (1991). "The Gammarus - Asellus Ratio As an Index of Organic Pollution." *Water Research* 25(3): 333-340.
- Williams, R. J., D. Brooke, P. Matthiesen, M. Mills, A. Turnbull, R. M. Harrison (1995). "Pesticide transport to surface waters within an agricultural catchment." *Journal of the Institution of Water and Environmental Management* 9: 72-81.

Anhang

Exposition, Risiko und Effekte

Inhaltsverzeichnis

1.1 Scenario based simulation of runoff-related pesticide entries into small streams on a landscape level.....	27
1.2 Linking land use variables and invertebrate taxon richness in small and medium-sized agricultural streams on a landscape level.....	50
1.3 Informationssystem zur ökotoxikologischen Bewertung der Gewässergüte in Bezug auf Pflanzenschutzmitteleinträge aus der Landwirtschaft - Systemaufbau und Anwendungsmöglichkeiten.....	61



1.1 Scenario based simulation of runoff-related pesticide entries into small streams on a landscape level

Michael Probst^{a,*}, Norbert Berenzen^b, Annette Lentzen-Godding^b, Ralf Schulz^a

^a *Institute for Environmental Sciences, University Koblenz-Landau, Fortstrasse 7, D-76829 Landau, Germany*

^b *Zoological Institute of the Technical University Braunschweig, Limnology and Ecotoxicology, Fasanenstr. 3, D-38102 Braunschweig, Germany*

Received 12 August 2004; received in revised form 13 April 2005; accepted 21 April 2005
Available online 15 June 2005

Abstract

The prediction of runoff-related pesticide entry into surface waters on a landscape level usually requires considerable efforts regarding input data, time and personnel. Therefore the need for an easy to use simulation tool with easily accessible input data, for example from already existing public sources, is obvious. In this paper we present a simulation tool for the simulation of pesticide entry from arable land into adjacent streams. Our aim was to develop a tool applicable on the landscape-level using “real world data” from numerous sites as well as for the simulation of parameter case studies concerning particular parameters at single sites. We used the REX-TOX (Ratio of EXposure to TOXicity) model proposed by the OECD, which had been successfully validated in the study area as part of a previous study, and which was extended to calculate pesticide concentrations in adjacent streams. We simulated the pesticide entry on the landscape level at 737 sites in small streams situated in the central lowland of Germany with winter wheat, barley and sugar beat as the main agricultural crops. A sensitivity analysis indicated that the most significant model parameters were the width of the no-application-zone and the degree of plant-interception. The simulation was carried out for the 15 most frequently detected found substances in the study area using eight different environmental scenarios, covering variation of the width of the no-application-zone, climate and seasonal scenarios. The highest in-stream concentrations were predicted at a scenario using no (0 m) buffer zone in conjunction with increased precipitation. According to the predicted concentrations, the risk for the aquatic communities was estimated based on standard toxicity tests and the application of a safety factor. The simulation results are presented by means of risk maps for the study area showing the simulated pesticide concentration and the resulting ecological risk for numerous sites under varying scenarios as well as by case study diagrams with focus on the model behavior under the influence of single parameters. Risk maps confirmed the importance of no-application (buffer) zones for the levels of pesticide input. They also indicated the importance of the existing no-application zones for certain compounds - and in some cases the need for a further evaluation of these regulations. The simulation tool was implemented as a standard PC-software combining the REXTOX-model with a geographical information system (GIS) and can be used on any current personal computer. All input data was taken from public sources of German authorities. With little effort the tool should be applicable for other areas with similar data quality.

Keywords: risk assessment, pesticides, runoff, buffer zones, simulation, modeling, landscape level, climate change, risk mitigation

* To whom correspondence may be addressed (m.probst@tu-braunschweig.de).

1. Introduction

Because of the many factors influencing pesticide entry into streams via runoff (geophysical factors (e.g. slope), soil type, climate, plant coverage, physical and chemical pesticide properties) simulation models, especially on the landscape level, usually have extensive requirements with regard to input data, time, personnel and thus money. However, many authors emphasize the importance of rainfall-induced surface runoff as a main entry route for non point source pesticide pollution into streams affecting macro-invertebrate communities in these streams (Schulz 2004). Therefore there is a need for easy to use simulation tools as an aid in decision making regarding environmental management tasks. Our aim was to develop such a simulation tool which only requires readily accessible data from public sources that can be run on any standard computer system.

Existing simulation models for the pesticide entry into streams via runoff, like ARM (Donigan et al. 1977), CREAMS (Kniesel 1980) or PRZM (Carsel 1984), were reviewed by the Forum for the Coordination of Pesticide Fate Models and their Use (FOCUS) (Adriaanse et al. 1997). Because of the numerous preconditions and complexity of most models, Reus et al. (1999) proposed the use of the “simplified formula for indirect loadings caused by runoff” (SFIL) for the time no validated models being available. The SFIL, which is a sub model of the more general REXTOX-model (OECD 2000), was used for this study.

The original model proposed by the OECD was suggested for simulating the percentage of the pesticide application dose to be found in surface runoff but did not consider the resulting concentration in the stream. Because of the significance of in-stream concentration for the exposure part of the ecotoxicological risk assessment, the simulation model used here was extended by Berenzen (Berenzen et al. 2004) to simulate pesticide concentrations in the water phase of streams. Berenzen furthermore validated the model in field studies at 18 streams in the study area by comparing the computed results with measured concentrations. The linear regression between the simulated and measured concentrations showed significant correlations for the following pesticides: Azoxystrobin: $r^2 = 0.43$; $p = 0.03$; Epoxiconazole: $r^2 = 0.71$; $p \leq 0.01$; Tebuconazole: $r^2 = 0.77$; $p \leq 0.01$. The model successfully explained pesticide concentrations associated with single entry events caused by runoff, especially at concentration levels above $\geq 0.5 \mu\text{g/L}$.

The simulation tool presented here was developed for two types of simulation tasks. A scenario mode is used for the examination of the effects of particular parameters on the simulation results. Here only the parameter under consideration may be varied, while all other parameters remain either on standard values or values set by the user. In the landscape mode all input data is derived from existing regional data such as GIS-maps of the study area, information on pesticide application (amount and timing) and data on climate conditions. Once again the absence of single or several input parameters can be substituted by standard scenario values.

2. Materials and methods

2.1 Study area

The simulation on the landscape-level was carried out for the region around the city of Braunschweig (52°26'N, 10°52'E), Lower Saxony, Germany. It extends for an area of about 65x85 kilometers (3573-3637, 5765-5850 Gauss Krueger coordinates). Loamy soils can be found in the hilly south, whereas sandy soils dominate the plains in the northern regions. Arable land (actually under cultivation) and forest represent the main type of land use. The average proportion of arable land varies from 65% in the south to 35% in the north. The dominant crops are winter wheat, barley, and sugar beet (Niedersächsisches Landesamt für Statistik) (NLFS 2002). The southern region is characterized by large areas of arable land and few, but large forests. In the north arable land alternates with smaller but more numerous forests. Urban areas and pastures are of minor importance.

2.2 Selection of the sites

The landscape level simulation was carried out for 737 sampling sites which are normally used for routine monitoring programs by regional water boards (Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft und Küstenschutz, NLWK). For each site a 1000x50-m buffer was generated by means of GIS; that is, the stream is enclosed in an area 50 m wide, upstream of the site, extending for 1000 m upstream along the course of the stream. A buffer-length of 1000 meters was chosen for the stream sections because other investigations suggested that within this distance most insecticides are adsorbed and therefore the in-stream concentration (and their toxicological potential) will be reduced for the most part (Sibley et al. 1991; Schulz et al. 1999). The proportion of arable land inside the buffer then was used for the landscape level simulation.

2.3 Data processing and implementation

The input data can be provided to the simulation tool either by field data extracted from GIS-maps or by user defined scenarios based on default (mean) values that can be altered by the user. All data must be formatted to fit a predefined import format table (dBase[®]).

To aid the user in generating suitable input tables we implemented two software tools. For the landscape-level simulation with numerous sites we developed a GIS-script, the GIS-Data-Provider, which extracts all input data from digital GIS-maps (Figure 1). The tool intersects the different layers with environmental data like soil type, precipitation or slope leading to one resulting layer containing all relevant data for each site. For parameter case studies with focus on the effects of specific parameters we developed the Scenario-Generator application which allows the user either to modify predefined standard scenarios based on mean values observed in the study area or to create completely new scenarios according to specific aspects like the assessment of climate changes, for instance.

According to the GIS-maps the output-table of the GIS-Data-Provider usually contains numerous datasets, each corresponding to one site whereas the Scenario-Generator output consists of one dataset corresponding to a more or less virtual site with user-defined parameters. Both, the Scenario-Generator and the GIS-Data-Provider, produce equal structured dBase[®]-format database tables. The simulator module reads these tables, performs the simulation task according to equations 1 and 2 and then writes the results into output tables containing the coordinates, the percentage of the pesticide application dose available in runoff and also the

simulated concentration in the stream for each site. These result output tables (also in dBase®-format) then can be used for graphical presentation via GIS as well as for statistical purposes via Excel® (Microsoft Corporation, USA) or SPSS® (SPSS, Chicago, IL, USA).

The simulation module and the Scenario-Generator were implemented as standard Windows® (Microsoft Corporation, USA) applications using the Delphi® 5 Professional (Borland Corporation, USA) development environment. The GIS-Data-Provider was implemented using the Avenue® (ESRI, Redlands, CA, USA) script language which is part of ArcView®-GIS (ESRI, Redlands, CA, USA).

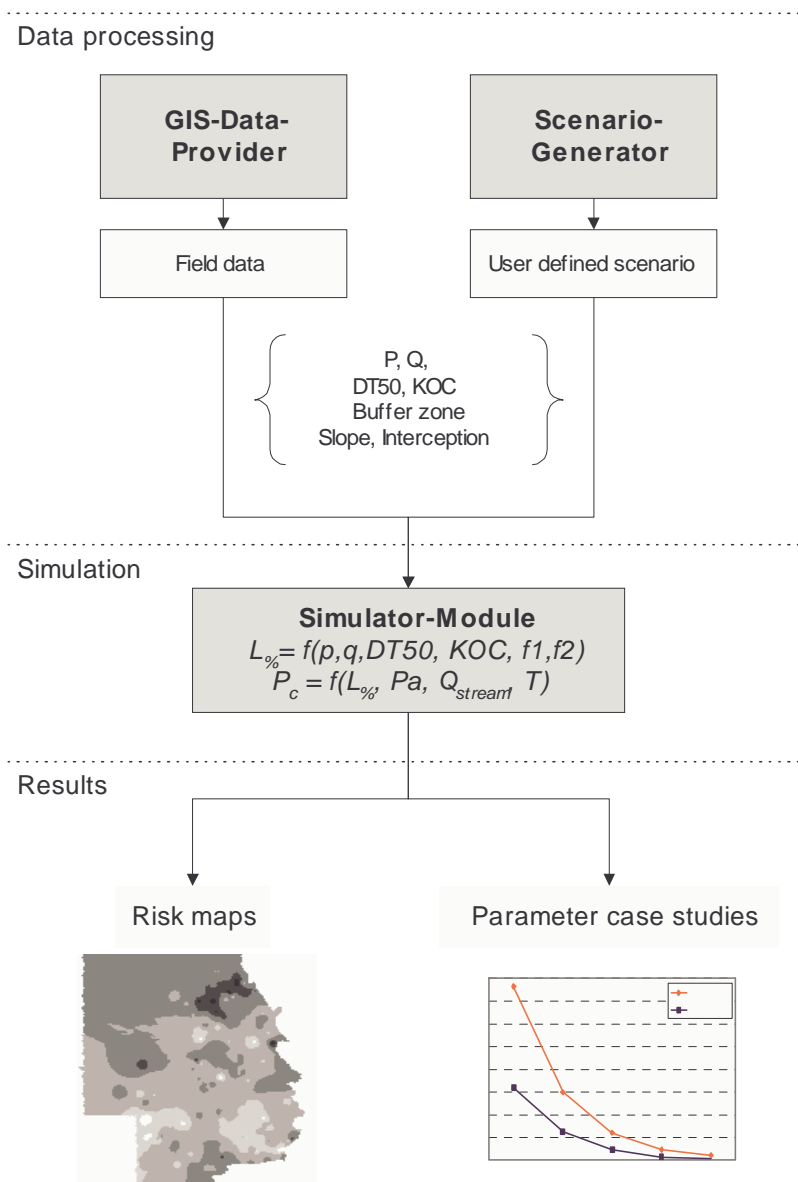


Fig. 1. Flowchart of the simulation process with data processing via GIS-Data-Provider or Scenario-Generator, simulator module and results output.

2.4 Simulation

The simulator module is capable to simulate the percentage of the application dose available in runoff water ($L\%_{\text{runoff}}$) and also to simulate the resulting pesticide concentration (P_c) in the stream. For parameter case studies with focus on the qualitative effects of particular parameters, a higher precipitation for instance, we used $L\%_{\text{runoff}}$ whereas the in-stream pesticide concentration P_c was suitable for simulations on the landscape level, e.g. for the planning of risk mitigation strategies.

The simulation of the pesticide concentration in the stream is based on a sub model of the REXTOX-Model which was proposed by the OECD (OECD 2000). The original formula (Equation 1) was suggested for the simulation of the percentage of the pesticide application dose in runoff. It was extended by Berenzen to simulate pesticide concentrations in the stream (Equation 2). The model as described here was reviewed and validated by Berenzen (2004).

$$L\%_{\text{runoff}} = \left(\frac{Q}{P} \right) * Cr_{\text{soil_surface}} * f1_{\text{slope}} * f2_{\text{bufferzone}} * 100 \quad (1)$$

Equation 1. Percentage of application dose available in runoff-water (OECD 2000).

The terms of equation 1 are described as follows:

$L\%_{\text{runoff}}$ = Percentage of application dose available in runoff-water as dissolved substance

P = Daily precipitation (mm/d). Rain event is assumed to occur 3 days following application of pesticides (OECD 2000).

Q = Runoff volume (mm)

The runoff volume is obtained from lookup tables according to models of Lutz (Lutz 1984) and Maniak (Maniak 1992) which cover two soil types (sandy, loamy) and three scenarios concerning application time, crop and soil moisture:

Scenario 1: application in autumn on bare soil with high soil moisture

Scenario 2: application in early spring on bare soil with low soil moisture

Scenario 3: application in early summer on covered soil with low soil moisture

For this study scenario 3 was chosen (application date June 15th), during the growing season when plant coverage as well as insecticide application can be assumed. Runoff volumes as used here for scenario 3: covered soil (cereals) with low soil moisture:

Loamy soils:

$$Q = -0.00001P^3 + 0.0043P^2 + 0.0279P + 0.0634$$

Sandy soils:

$$Q = -0.00001P^3 + 0.0028P^2 + 0.0047P + 0.0024$$

$$Cr_{soilsurface} = e^{\left(\frac{-3 \cdot \ln(2)}{DT_{50soil}}\right)} * \left(\frac{1}{(1 + K_d)}\right) * (1 - plantinterception/100)$$

DT_{50soil} = Half-life time (d) of active ingredient in soil

$K_d = (K_{oc} * \%OC)/100$; K_d = ratio of dissolved to sorbed pesticide concentrations with K_{oc} = sorption coefficient of active ingredient to organic carbon and $\%OC$ = organic carbon content of soil.

The amount of pesticides ($Cr_{soilsurface}$) relative to the dose applied available for runoff three days after application. Only the contribution to the dissolved concentration in water is considered. Within the first three days the compound is degraded under a first order kinetics. Finally, the proportion of pesticides reaching the soil depends on the amount that is intercepted by the plant when it is applied.

$$f1_{slope} = 0.02153 * slope + 0.001423 * slope^2 \quad ; \text{if slope} < 20\% \\ = 1 \quad ; \text{if slope} \geq 20\%$$

The correction factor for the slope of fields. For slopes below 20% the loss of runoff increases according to the formula ($f1_{slope}$) and is constant for slopes larger than 20%.

$$f2_{bufferzone} = 0.83^{\text{buffer width}}$$

The correction factor for the buffer zone (no application zone) (m). The loss of runoff decreases exponentially with the width of the buffer zone. If the buffer zone is not densely covered with plants, the width is set to zero (0 m).

The percentage of pesticides found in surface runoff was simulated by equation 1. In order to simulate the in-stream concentration Berenzen extended equation 1 by the pesticide application amount, the stream flow and the mean duration of rain events (equation 2).

$$P_c = L\%_{runoff} * Pa * \frac{1}{Q_{stream} * \Delta T} \quad (2)$$

Equation 2. Calculation of pesticide concentration P_c ($\mu\text{g/L}$) in the stream

The terms of equation 2 are described as follows:

P_c = Simulated mean pesticide in-stream concentration ($\mu\text{g/L}$)

$L\%_{runoff}$ = Percentage of application dose available in runoff-water as dissolved substance

Pa = Amount of pesticides applied to the simulation area (μg)

Q_{stream} = Peak stream flow during heavy rain events (L/s)

ΔT = Duration of heavy rain event (s)

2.5 Model input data

The parameter case study simulation was carried out using average (mean) values for environmental parameters and substances found in the study area as default values (Table 1). Out of the 15 pesticides most frequently detected in the study area between 1991 and 2002, a model-substance was derived by aggregation. Therefore the physico-chemical properties K_{OC} and DT_{50} and the application-related properties application rate and recommended width of buffer strip were aggregated to means (Table 1). The resulting model-substance then was used for the case study simulation.

The landscape level simulation was carried out with environmental data derived from current digital GIS-maps that were provided by public authorities for the study area: topographic maps (scale 1:50,000) and data on landuse (scale 1:25,000) from surveying and mapping services (Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen, LGN), data on soil type (scale 1:50,000) from regional authorities for soil sciences (Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, NLFB), data on daily precipitation from the German weather service (Deutscher Wetterdienst, DWD). The landscape level simulation was carried out individually for each of the 15 substances most frequently detected in the study area (Table 2). The pesticide residues were analyzed at the Institute for Ecological Chemistry of the Technical University of Braunschweig. The detection limit for all substances was 0.05 μ g/L.

Table 1. Default seasonal, environmental and substance related modeling parameters used for the case studies for an early summer scenario.

Date ^a	Seasonal and environmental parameters							Substance related parameters			
	Precipitation ^b (mm/d)	Area ^c (m ²)	Time ^d (d)	Slope ^e (%)	Plant inter- ception ^f (%)	Flow ^g (L/s)	Soil type ^h	K _{oc} ⁱ (L/kg)	DT ₅₀ soil ⁱ (d)	Application rate ⁱ (g/ha)	Buffer- strip ⁱ (m)
July 15th	10	10,000	3	2	80	35	loamy sandy	797	93	750	15

^a growing stage, plant coverage, dry soil according to scenario 3 (Lutz 1984; Maniak 1992)

^b assuming that runoff occurs on rain events 10 mm/d and above (Liess 1993; Schulz 1997)

^c agricultural field sizes of 1-25 ha were found in the study area (Berenzen et al. 2004). The default, a field size of 1 ha, was used for the case studies because in this case only the percentage of the application dose is considered which is independent from the area size. For the landscape level simulation with resulting in-stream concentrations the real field sizes were obtained by GIS-maps

^d assuming the application was done 3 days before the rain event (OECD 2000)

^e typical value for slopes in the area (slopes between 0.5 and 4% were found) (Berenzen et al. 2004)

^f derived from mean interception values for dominant crops in the study area during the growing season (July, scenario 3 with covered soil, low moisture): cereals (80%), potatoes (80%), rape (70%) and beets (90%) (NLFS 2002).

^g typical value for streams in the study area (values from 5-150 L/s were found) (Schulz 1997)

^h all simulations were carried out for two types of soil

ⁱ mean values of the 15 most frequently detected pesticides in the study area during the period 1991 – 2002 (Table 2)

Table 2. Physico-chemical, application-related and ecotoxicological properties of the 15 pesticides detected most frequently in the study area during the period 1991 – 2002.

Active ingredient	Type ^a	K _{OC} ^b (L/kg)	DT ₅₀ ^c (d)	Application rate ^d (g/ha)	Buffer- strip ^e (m)	Algae 72h-EC ₅₀ (µg/L) ^f	Fish 96h-L(E)C ₅₀ (µg/L) ^f	Invertebrate 48h-L(E)C ₅₀ (µg/L) ^f	Class limit low-moderate (µg/L) ^g	Class limit moderate-high (µg/L) ^h	Count ⁱ
Epoxiconazole	f	442	310	125	7.5	1660	4600	8700	46	460	287
Ethofumesate	h	182	62.5	480	7.5	2760	17500	49000	175	1750	270
Isoproturon	h	140	34	1102	20	40	2500	1000	4	8	226
Azoxystrobin	f	143	17.5	250	12.5	92	400	260	2.6	26	218
Chloridazon	h	120 ^j	35	2138	10	10	23000	50100	1	2	165
Lindane	i	1100 ^j	400 ^j	800	20	1600	30	39	0.3	3	159
Metamitron	h	19	12	1793	12.5	2900	315	5700	3.15	31.5	151
Parathion-ethyl	i	705	16	147	25	390	370	1	0.01	0.1	143
Tebuconazole	f	603	200	255	15	1450	3800	3400	34	340	109
Kresoxim-methyl	f	421	1.75	115	20	37	163	260	1.63	16.3	74
Pendimethalin	h	5000 ^j	90 ^j	2000	20	468	113	230	1.13	11.3	64
Metribuzin	h	52 ^j	40 ^j	525	10	23	32900	2950	2.3	4.6	56
Fenpropimorph	f	804	54	750	10	3850	5900	2400	24	240	54
Bifenox	h	1572	16.5	656	20	3	180	350	0.3	0.6	35
Propiconazole	f	648 ^j	110 ^j	125	15	2200	670	2600	6.7	67	21

^a Type of pesticide: h=herbicide, f=fungicide, i=insecticide

^{b, c} K_{OC}- and DT₅₀-values were extracted from the ARS (Agricultural research service) by USDA (United States Department of Agriculture) Pesticide Properties Database (USDA 2002)

^d recommended median application rates, LWK-Hannover (Pflanzenschutzhinweise, Landwirtschaftskammer Hannover) (LWK-Hannover 2003)

^e recommended width of buffer strip, BBA (Biologische Bundesanstalt)-Pesticide-Databse (BBA 2002)

^f lowest toxicity test values for invertebrates (*Daphnia magna*), fish (*Oncorhynchus mykiss*) and algae (green algae) found in the US-EPA ECOTOX-database (USEPA 1995)

^g risk class limit low-moderate according to EU Uniform Principle: lowest concentration level resulting from $0.01 \times$ acute L(E)C₅₀ of *Daphnia* and fish or $0.1 \times$ EC₅₀ of algae (EU 1997)

^h risk class limit moderate-high according to Brock et al (2000a,b)

ⁱ frequency of detection in the study area during 1991 to 2002

^j pesticide properties according to (Hornsby et al. 1995)

2.6 Risk classification

To estimate the ecotoxicological risk, the predicted in-stream concentrations were classified into three risk classes (low, moderate and high). The range of each class was defined individually for each substance with reference to standard toxicity tests and the application of a safety factor (Table 2). For each substance the lowest 72 h-EC₅₀ values for algae (green algae), 96h-L(E)C₅₀ for fish (*Oncorhynchus mykiss*) and 48h-L(E)C₅₀ for invertebrates (*Daphnia magna*) were collected from the US-EPA-ECOTOX- (USEPA 1995) database. According to the standard set by the EU (European Union) Uniform Principle (EU 1997) the lowest concentration level resulting from $0.01 \times$ acute L(E)C₅₀ or $0.1 \times$ chronic NOEC of *Daphnia* and fish or $0.1 \times$ EC₅₀ of algae should be a safe concentration for aquatic biota. This implies that levels above these values may lead to adverse effects. Consequently we defined concentrations below the level set by the Uniform Principle as low risk class. The concentration level separating the moderate and high risk class was defined according to studies on the ecological risk of pesticides in freshwater model systems (micro- and mesocosms). Brock et al. (2000a, b) found that the ecological threshold levels for herbicides with a photosynthesis- or growth-inhibiting effect are generally equal to $0.1 \times$ the geometric mean of the EC₅₀ values for the most sensitive standard alga. Herbicides that simulate the effect of the plant growth hormone auxin deviate from this general picture. For these compounds, the levels were between 0.001 and $0.01 \times$ the geometric mean of the EC₅₀. However, for this study we used no auxin simulating substances. For insecticides, the threshold levels, according to Brock et al. (2000a, b), were generally in the range of $0.1 - 0.01 \times$ EC₅₀ of the most sensitive standard test species. To define the upper limit of the moderate risk class, we thus applied a safety factor according to the following rule: if the most sensitive test species for an individual substance belonged to invertebrates or fish (which was the case for all insecticides and fungicides used in this study), we applied a safety factor of 10. Accordingly the moderate to high class limit was estimated by $0.1 \times$ E(L)C₅₀ of *Daphnia* or fish. If the most sensitive test species belonged to algae (which was the case for four of the seven herbicides), we applied a safety factor of 5. Here the class limit was estimated by $0.2 \times$ EC₅₀ (Table 2). For example 1.0 µg/L (48h-LC₅₀ *Daphnia magna*) was the lowest acute toxicity level for Parathion-ethyl. We defined the low-to-moderate class limit as $1.0 \mu\text{g/L} \times 0.01 = 0.01 \mu\text{g/L}$ and defined the moderate-to-high class limit as $1.0 \mu\text{g/L} \times 0.1 = 0.1 \mu\text{g/L}$.

2.7 Sensitivity analysis

To estimate the reliability of a simulation model a sensitivity analysis is a suitable method because sensitive model components have significant influence on the modeling results. Uncertainty or lack of input data in sensitive components will consequently lead to uncertainty in the results while non sensitive parameters are of minor importance in this aspect. For that reason the input data for sensitive components should be entered with the most accuracy (Jørgensen 1995).

Jørgensen (1995) proposed the use of the sensitivity index $|S|$ as a measure of the sensitivity of parameters, forcing functions or sub models to the state (result) variables of greatest interest. In terms of our model, the parameters are precipitation (P), runoff volume (Q), half-life time in soil (DT₅₀), ratio of dissolved to sorbed pesticide concentrations (K_d) with K_{oc} the sorption coefficient of an active ingredient to organic carbon and $OC\%$ the organic carbon content of soil, field slope, width of the buffer zone, plant interception, area, time, and flow. On the other hand, the state variables are the simulation results, such as the percentage of application dose available in runoff ($L\%_{\text{runoff}}$) and the in-stream concentration (P_c).

The sensitivity analysis in practice is carried out by changing the modeling parameters and observing the corresponding response on the selected simulation result. Jørgensen suggests defining the amount of change according to the estimated uncertainty of a component. If, for instance, the uncertainty is assumed to be 50%, a change in that parameter about $\pm 10\%$ and $\pm 50\%$ will be chosen. The sensitivity S of a parameter P , according to Jørgensen, is defined as follows: $S = |\delta R/R| / |\delta P/P|$, where R is the simulation result under consideration and S is a function of time. In case of $|S| = \text{const}$, the sensitivity of a simulation result R is independent from the values of a parameter P . If $|S|$ can be expressed by a functional relation $|S| = g(P)$ the sensitivity of the simulation result R differs with changing values of a parameter P .

For this study a sensitivity analysis for all modeling parameters was performed to assess their influence on the output parameter $L\%_{\text{runoff}}$. The parameters were varied in range according to realistic values to be observed in the study area. The sensitivity index S was computed and plotted for all modeling parameters using Mathcad[®] (MathSoft, USA).

3. Results

3.1 Sensitivity analysis

Of the various modeling parameters, only the width of the buffer zone and the plant interception showed a sensitivity index exceeding a constant value. All other parameters evaluated (precipitation, runoff volume, half-life time, K_d with K_{Oc} and %OC, slope, area, time and flow) showed nonlinear functions converging to the constant value 1. Hence, width of buffer zone and plant interception could be identified as the most sensitive model components. A plot of the sensitivity index S dependent on the width of buffer zone (varied from 0-20 m) and the plant interception (varied from 0-100%) is shown in figure 2.

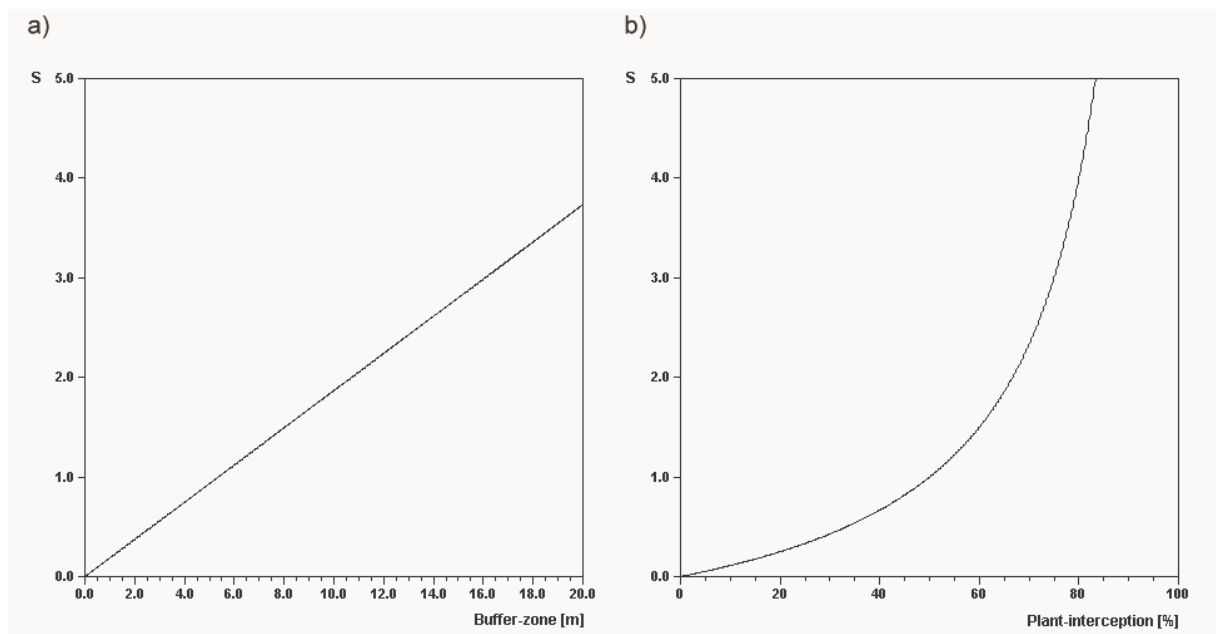


Fig. 2. Sensitivity index S depending on a) width of buffer zone from 0 – 20 m b) plant interception from 0 – 100%.

3.2 Parameter case studies

To analyze the general (qualitative) effects of single environmental parameters like buffer zone, plant interception or precipitation, case studies for particular parameters were carried out. In each case the value of the parameter under consideration was varied in range to estimate the strength of the effects on the percentage of application dose being available in runoff-water ($L\%_{\text{runoff}}$). All other simulation parameters remained on fixed default values as shown in table 1. The simulations were carried out for two types of soil (sandy, loamy).

The parameters “width of buffer zone” and “plant-interception” showed the strongest reducing effects on $L\%_{\text{runoff}}$. Width of buffer zone, varied from 0 – 20 m, led to an exponentially decrease of $L\%_{\text{runoff}}$ from 1.53 to 0.04% (loamy soil). The strongest effects on $L\%_{\text{runoff}}$ were observed for buffer zones up to 10 m (Figure 3a). A variation in plant interception ranging from 0 – 100% showed a linear decrease of the percentage of pesticides in runoff water ($L\%_{\text{runoff}}$) from initially 0.47 to 0.0% (loamy soil) (Figure 3b).

An increase in the parameters “precipitation” and “DT₅₀ half-life” resulted in an increase in $L\%_{\text{runoff}}$. A variation in the precipitation between 10 and 30 mm/d led to a linear increase in $L\%$ from 0.05 to 0.25% (Figure 3c). Accordingly the variation of the DT₅₀ half life in soil from 1 to 25 days resulted in a non-linear increase in $L\%$ from initially 0.02 to 0.09% (loamy soil). The strongest effect on $L\%_{\text{runoff}}$ was observed for half life times up to 10 days (Figure 3d).

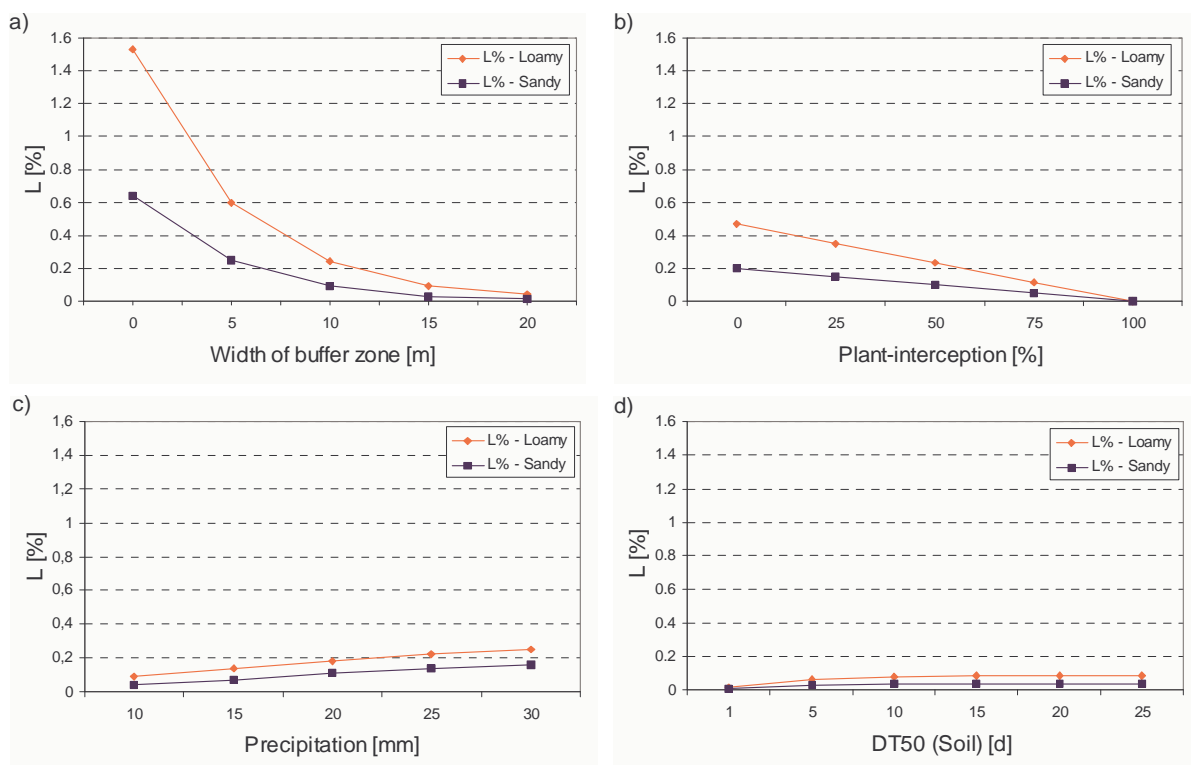


Fig. 3. Parameter case studies on the percentage of application dose available in runoff-water as dissolved substance ($L\%_{\text{runoff}}$) depending on the parameters soil type (sandy, loamy) and a) width of buffer zone b) plant-interception c) precipitation (assuming that runoff occurs on rain events ≥ 10 mm/d) d) DT₅₀ half life soil.

3.3 Landscape-level simulation

The landscape-level simulation was carried out for each of the 15 most frequently detected active ingredients between 1991 and 2002 at 737 sites in the study area using eight different scenarios. The results represent the concentrations in the stream for a 10 mm precipitation event at crop-covered and almost dry soil, which is a typical scenario for this area in the early summer (scenario 3 by Lutz (1984) and Maniak (1992)). The predicted average in-stream pesticide concentrations ranged from 0.0 to 451.1 µg/L, the maximum predicted concentration for a single substance was 7169 µg/L. The predicted concentrations are listed in Table 3. To estimate the risk to the aquatic community, the simulated in-stream concentrations were categorized into three risk-classes individually for each substance. The proportion of sites in the high risk class ranged between 0% and 97.8% (Table 4). In order to show the distribution of the different risk classes across the study area, and also to show the differences between scenarios and substances, risk maps for Isoproturon, Chloridazon, Parathion-ethyl and Azoxystrobin are shown in Figure 4.

- A) A control-scenario which represents the current best practice of pesticide application by farmers in the study area. In this scenario Chloridazon showed by far the highest proportion of high risk sites (71.1%). Higher proportions also were predicted for Metribuzin (39.3%) and Metamitron (22.7%). All other substances ranged below 5% high risk sites.
- B) A management-scenario with a reduced buffer-strip by 50%. Compared to scenario A, considerable increases in the proportion of high risk sites were found for Isoproturon, Lindane, Metamitron, Parathion-ethyl and Bifenox. The predicted concentrations for these substances were up to ten times higher than in the control scenario.
- C) A management-scenario with no (0 m) buffer zone. In this scenario, high proportions of sites in the high risk class with potentially adverse effects on aquatic life were predicted for many substances. An increase in high risk sites up to a factor of 20 could be observed for example for Parathion-ethyl. However, Epoxiconazole, Ethofumesate, Tebuconazole, Kresoxim-methyl, Fenpropimorph and Propiconazole showed 0% high risk sites.
- D) In this scenario, the buffer-zone was moderately increased by 50% resulting in a clear reduction of high risk sites compared with scenario A. Only Chloridazon (55%) and Metribuzin (22.9%) showed higher proportions of high risk sites.
- E) Another management-scenario simulating a buffer zone increased by 100% resulted in the strongest reduction of high risk sites. Here nearly all substances showed no sites remaining in the high risk class and only few in the moderate risk class. Nevertheless, for Chloridazon (36.4%) and Metribuzin (6.5%) considerable proportions were still predicted as high risk sites.
- F) A seasonal-scenario. Here the plant-interception was reduced from 80% to 50% as can be found in the earlier growing stages with bare soil conditions (scenario 2 by Lutz (1984) and Maniak (1992)). The strongest increase in the proportion of high risk sites was found for Isoproturon and Bifenox. Both substances showed about four times more high risk sites compared to scenario A.
- G) A “heavy-rain” climate-scenario with a precipitation amount increased from 10 to 20 mm/d. Again Isoproturon and Bifenox showed the strongest increase (about three times) in high risk sites compared to scenario A.

H) Finally a “worst-case” scenario using no (0 m) buffer zone in conjunction with a precipitation increased by 100%. In this scenario, for all substances the highest concentrations were predicted. The highest percentage of high risk sites was that for Chloridazon (97.8%) followed by Parathion-ethyl (89.3%), Metribuzin (86.2%) and Isoproturon (79.9%). On the other hand Epoxiconazole, Ethofumesate, Kresoxim-methyl, Fenpropimorph and Propiconazole showed 0% of the sites in the high risk class.

Table 3. Simulated maximum and average in-stream concentrations.

Scenario	Simulated in-stream concentrations (µg/L)									
	Epoxiconazole		Ethofumesate		Isoproturon		Azoxystrobin		Chloridazon	
	max	avg	max	avg	max	avg	max	avg	max	avg
A Current best practice	12	0.78	92	5.9	24	1.5	21	1.3	337	21
B Buffer zone reduced by 50%	24	1.6	184	12	156	9.9	66	4.2	855	54
C No buffer zone (0 m)	48	3.1	371	24	1004	64	212	13	2169	137
D Buffer zone increased by 50%	5.9	0.39	46	2.9	3.8	0.24	6.4	0.41	133	8.4
E Buffer zone increased by 100%	2.9	0.19	23	1.5	0.58	0.04	2.0	0.13	52	3.3
F Plant interception decreased from 80% to 50%	30	1.9	229	15	60	3.9	52	3.3	842	53
G Precipitation increased by 100% to 20 mm/d	23	1.5	175	12	46	3.0	39	2.6	643	42
H No buffer zone (0 m) & precipitation + 100%	91	6.2	708	47	1918	125	405	27	4145	270

Scenario	Simulated in-stream concentrations (µg/L)									
	Lindane		Metamitron		Parathion-ethyl		Tebuconazole		Kresoxim-methyl	
	max	avg	max	avg	max	avg	max	avg	max	avg
A Current best practice	3.2	0.21	365	22	0.31	0.02	23	1.5	0.44	0.03
B Buffer zone reduced by 50%	21	1.4	1171	71	3.2	0.21	92	5.9	2.8	0.19
C No buffer zone (0 m)	132	8.8	3752	228	33	2.2	371	24	18	1.2
D Buffer zone increased by 50%	0.49	0.03	114	6.9	0.03	0.002	5.6	0.36	0.07	<0.001
E Buffer zone increased by 100%	0.08	0.01	36	2.2	<0.001	<0.001	1.4	0.09	0.01	<0.001
F Plant interception decreased from 80% to 50%	8.0	0.53	913	56	0.77	0.05	57	3.6	1.1	0.07
G Precipitation increased by 100% to 20 mm/d	6.1	0.42	698	44	0.59	0.04	43	2.9	0.85	0.06
H No buffer zone (0 m) & precipitation + 100%	253	17	7169	451	62	4.2	709	47	35	2.4

Scenario	Simulated in-stream concentrations (µg/L)									
	Pendimethalin		Metribuzin		Fenpropimorph		Bifenox		Propiconazole	
	max	avg	max	avg	max	avg	max	avg	max	avg
A Current best practice	1.8	0.12	135	8.3	5.0	0.33	1.6	0.11	2.0	0.14
B Buffer zone reduced by 50%	12	0.77	342	21	13	0.88	11	0.71	8.3	0.55
C No buffer zone (0 m)	74	5.0	868	54	32	2.1	68	4.6	33	2.2
D Buffer zone increased by 50%	0.28	0.02	53	3.3	2.0	0.13	0.25	0.02	0.50	0.03
E Buffer zone increased by 100%	0.04	<0.001	21	1.3	0.77	0.05	0.04	<0.001	0.12	0.01
F Plant interception decreased from 80% to 50%	4.5	0.30	337	21	12	0.83	4.1	0.28	5.1	0.34
G Precipitation increased by 100% to 20 mm/d	3.4	0.24	257	16	9.5	0.65	3.1	0.22	3.9	0.27
H No buffer zone (0 m) & precipitation + 100%	142	9.8	1659	106	61	4.2	130	9.0	64	4.3

Table 4. Risk classification: percent of sites per risk class low, moderate or high (n=737 sites).

Scenario	Risk classification: % of sites within each risk class														
	Epoxiconazole			Ethofumesate			Isoproturon			Azoxystrobin			Chloridazon		
	low	mod	high	low	mod	high	low	mod	high	low	mod	high	low	mod	high
A Current best practice	100.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	88.5	7.6	3.9	84.1	15.9	0.0	19.5	9.4	71.1
B Buffer zone reduced by 50%	100.0	0.0	0.0	99.9	0.1	0.0	55.1	11.7	33.2	64.0	33.6	2.3	10.2	5.8	84.0
C No buffer zone (0 m)	99.9	0.1	0.0	98.8	1.2	0.0	22.4	11.9	65.7	40.8	42.7	16.4	3.3	4.6	92.1
D Buffer zone increased by 50%	100.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	98.0	2.0	0.0	33.1	11.0	55.9
E Buffer zone increased by 100%	100.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	48.7	14.9	36.4
F Plant interception decreased from 80% to 50%	100.0	0.0	0.0	99.9	0.1	0.0	71.5	13.2	15.3	66.6	32.6	0.8	10.2	6.1	83.7
G Precipitation increased by 100% to 20 mm/d	100.0	0.0	0.0	99.9	0.1	0.0	76.4	12.9	10.7	70.3	29.6	0.1	10.0	5.7	84.3
H No buffer zone (0 m) & precipitation + 100%	99.2	0.8	0.0	93.9	6.1	0.0	12.6	7.5	79.9	24.3	45.7	30.0	1.4	0.8	97.8

Scenario	Risk classification: % of sites within each risk class														
	Lindane			Metamitron			Parathion-ethyl			Tebuconazole			Kresoxim-methyl		
	low	mod	high	low	mod	high	low	mod	high	low	mod	high	low	mod	high
A Current best practice	77.3	22.5	0.1	33.9	43.4	22.7	60.4	35.3	4.3	100.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
B Buffer zone reduced by 50%	44.5	40.8	14.7	16.8	38.0	45.2	20.8	39.2	40.0	97.0	3.0	0.0	99.3	0.7	0.0
C No buffer zone (0 m)	16.3	36.2	47.5	5.7	27.7	66.6	2.2	18.2	79.6	77.5	22.4	0.1	76.8	23.2	0.0
D Buffer zone increased by 50%	99.3	0.7	0.0	55.8	39.9	4.3	95.9	4.1	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
E Buffer zone increased by 100%	100.0	0.0	0.0	78.0	21.8	0.1	100.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
F Plant interception decreased from 80% to 50%	62.8	34.2	3.0	19.4	41.5	39.1	41.9	42.1	16.0	99.5	0.5	0.0	100.0	0.0	0.0
G Precipitation increased by 100% to 20 mm/d	65.7	33.1	1.2	18.6	45.2	36.2	42.7	44.9	12.3	99.9	0.1	0.0	100.0	0.0	0.0
H No buffer zone (0 m) & precipitation + 100%	8.1	28.5	63.4	1.9	16.7	81.4	0.8	9.9	89.3	65.1	33.6	1.2	64.7	35.3	0.0

Scenario	Risk classification: % of sites within each risk class														
	Pendimethalin			Metribuzin			Fenpropimorph			Bifenox			Propiconazole		
	low	mod	high	low	mod	high	low	mod	high	low	mod	high	low	mod	high
A Current best practice	99.5	0.5	0.0	46.0	14.7	39.3	100.0	0.0	0.0	89.4	7.1	3.5	100.0	0.0	0.0
B Buffer zone reduced by 50%	77.7	22.1	0.1	30.3	10.7	59.0	100.0	0.0	0.0	56.7	10.9	32.4	99.9	0.1	0.0
C No buffer zone (0 m)	45.3	40.8	13.8	17.2	9.0	73.8	99.9	0.1	0.0	24.2	12.1	63.8	91.3	8.7	0.0
D Buffer zone increased by 50%	100.0	0.0	0.0	65.5	11.5	22.9	100.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
E Buffer zone increased by 100%	100.0	0.0	0.0	82.2	11.3	6.5	100.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
F Plant interception decreased from 80% to 50%	93.4	6.6	0.0	30.7	10.9	58.5	100.0	0.0	0.0	72.2	13.0	14.8	100.0	0.0	0.0
G Precipitation increased by 100% to 20 mm/d	95.7	4.3	0.0	30.3	11.9	57.8	100.0	0.0	0.0	77.3	13.0	9.6	100.0	0.0	0.0
H No buffer zone (0 m) & precipitation + 100%	30.0	43.6	26.5	8.1	5.7	86.2	97.4	2.6	0.0	13.7	7.6	78.7	80.2	19.8	0.0

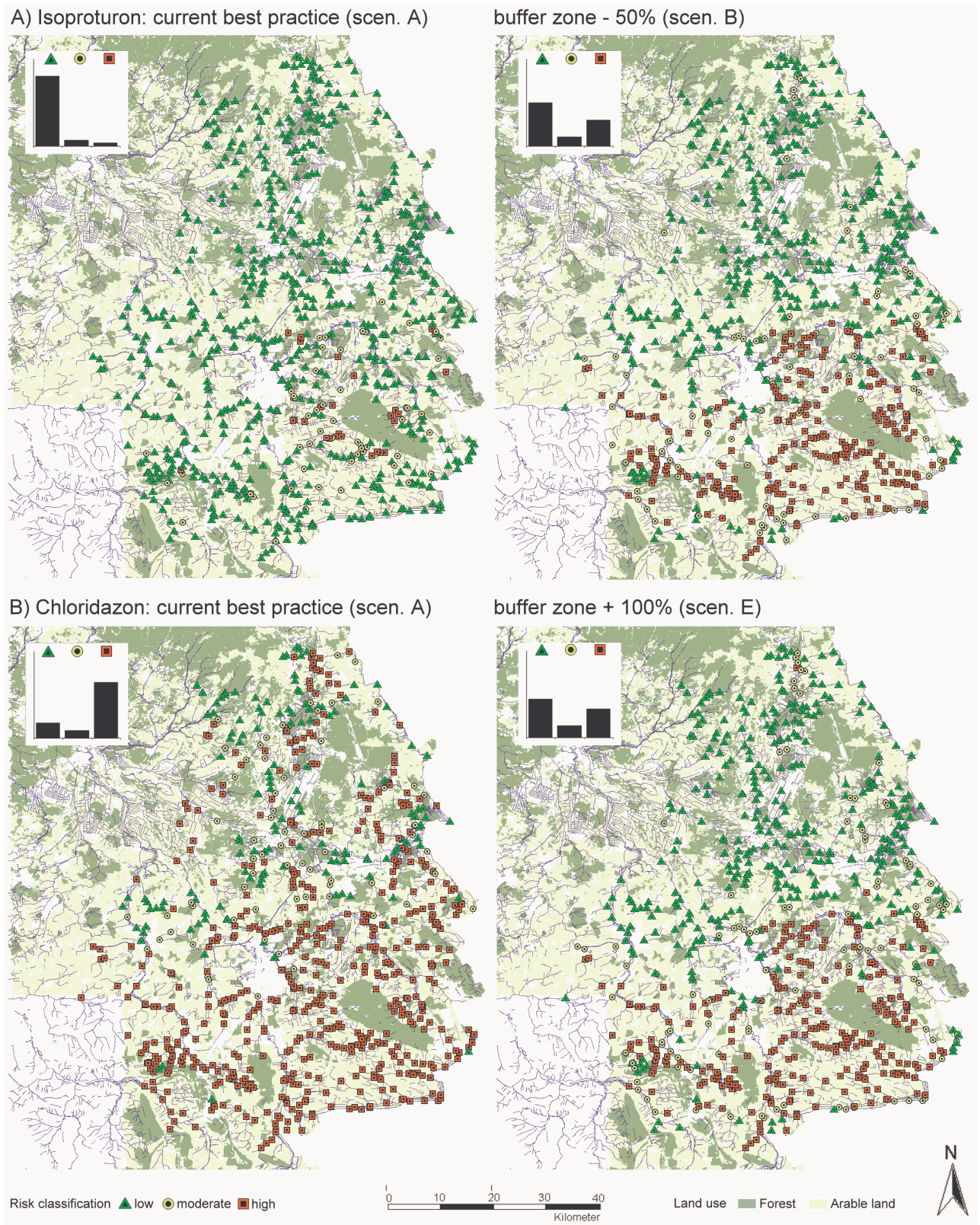


Fig. 4. Risk maps (n=737 sites). **A)** Isoproturon (risk classes (µg/L): low < 4, moderate ≥ 4 and < 8, high: ≥ 8): Scenario A: current best-practice – Scenario B: buffer zone reduced by 50% **B)** Chloridazon (risk classes (µg/L): low < 1, moderate ≥ 1 and < 2, high: ≥ 2): Scenario A: current best-practice – Scenario E: buffer zone increased by 100%.

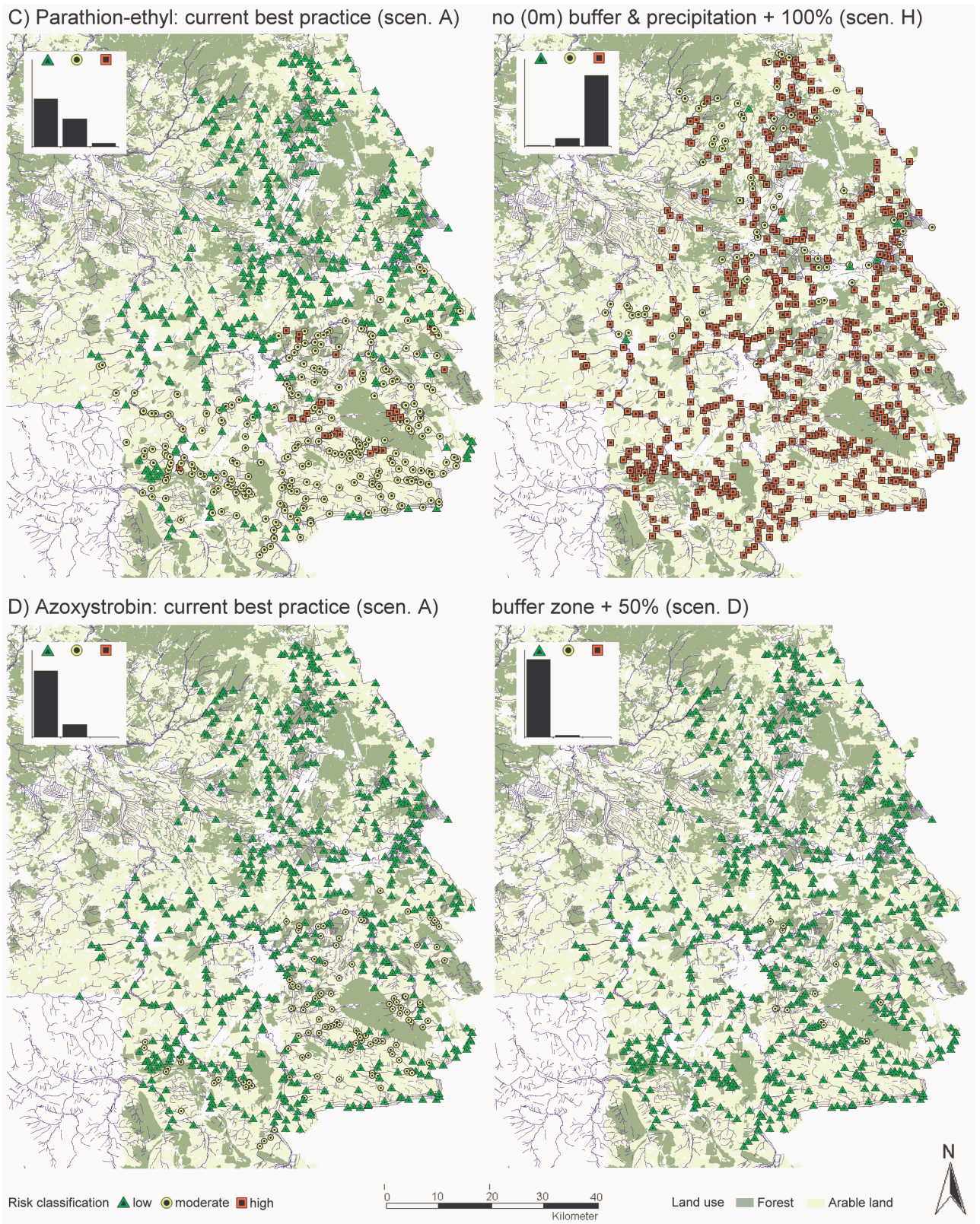


Fig. 4. Risk maps (n=737 sites). C) Parathion-ethyl (risk classes (µg/L): low < 0.01, moderate ≥ 0.01 and < 0.1, high: ≥ 0.1): Scenario A: current best-practice – Scenario H: worst-case (no buffer zone and precipitation increased by 100%) D) Azoxystrobin (risk classes (µg/L): low < 1, moderate ≥ 1 and < 2, high: ≥ 2): Scenario A: current best-practice – Scenario D: buffer zone increased by 100%.

4. Discussion

4.1 Sensitivity Analysis

The sensitivity analysis showed that the modeling results, in terms of the percentage of application dose available in runoff-water as dissolved substance ($L\%_{\text{runoff}}$) and the simulated in-stream concentration (P_c), showed similar sensitivities towards most modeling parameters. The model components precipitation, runoff volume, half-life time, K_d with K_{Oc} and %OC, slope, area, time, and flow showed linear relations to the modeling results $L\%_{\text{runoff}}$ and P_c with sensitivity indexes S converging to the constant value 1. Only for the parameters width of buffer zone and plant interception the sensitivity indexes S exceeded a constant value identifying these parameters as most important for the model. Consequently the input data with this parameters should be taken with most accuracy to reduce the degree of uncertainty in the results (Jorgensen 1995). Various studies have indicated the importance of buffer zones for runoff-related pesticide loss (Klöppel et al. 1997; Patty et al. 1997; Spatz et al. 1997).

4.2 Parameter case studies

One application providing an overview of the general behavior of the model and the amount particular parameters contribute to the modeling results is the parameter case study. Figure 3a showed strong effects on $L\%_{\text{runoff}}$ for changes in the width of the buffer zone. According to the exponential decrease of $L\%_{\text{runoff}}$, Figure 3a suggests a buffer zone of 5 – 15 m to be most effective regarding the cost-benefit relation between loss of arable land and reduction of pesticide entry. Similar results were stated in the literature. For Atrazine, Real (Real 1998) stated a pesticide reduction by 60% for a buffer strip of 6m up to 94% for a buffer strip of 20 m in width. Klöppel (Klöppel et al. 1997) found comparable results for Isoproturon (5m – 50%, 20 m – 94%).

4.3 Landscape level simulation

In the second step the landscape-level simulation is suitable to apply the obtained detail knowledge to real-world scenarios.

The simulation results of the control-scenario A represent the current “best practice” applied by farmers in the study area. The figures 4a-d showed the tendency that moderate and high risk sites are more frequent in the south of the study area whereas low risk sites dominate in the northern region. The higher probability of surface runoff in the southern region (leading to higher simulated in-stream concentrations) could mainly be explained by the dominance of loamy soils in combination with higher slopes (Lutz 1984; Maniak 1992) as well as a higher proportion of arable land in accordance with the digital soil-, slope- and landuse-maps.

The simulation was carried out for the 15 most found active ingredients from 1991 to 2002 in the study area. Out of the 15 substances 7 were herbicides (46.7%), 6 were fungicides (40%) and 2 were insecticides (13.3%). This proportion corresponds to other investigations which underline the higher application rates and total amounts of herbicides used compared to fungicides and insecticides (Legrand et al. 1991; Kreuger 1998; Haberer et al. 2000).

The maximum predicted concentrations were found in scenario H, which represents a worst-case scenario with no buffer zone and a precipitation increased by 100%, in scenario C with no (0 m) buffer zone, in scenario B with a significantly (by 50%) reduced buffer zone and in scenario F with a low (50% instead of 80%) plant interception. As mentioned above width of

buffer zone and plant interception represent the most sensitive and therefore most important parameters for the simulation model utilized here. Changes in these sensitive parameters will lead to maximum effects on the simulation results (Jorgensen 1995) in terms of maximum simulated in-stream concentrations.

The highest predicted in-stream concentrations did not necessarily lead to the highest proportions of high risk sites. For example, at the worst-case scenario H Metamitron reached by far the highest concentration of 7169 µg/L predicted in the present study. This resulted in about 81% high risk sites. However, due to the different toxicity, the proportion of high risk sites with Chloridazon (4145 µg/L = 98%), Parathion-ethyl (62 µg/L = 89%) and Metribuzin (1659 µg/L = 86%) even exceeded this value though lower in-stream concentrations were predicted. This example underlines the need for a substance-based risk assessment using toxicity data for individual substances rather than considering only threshold concentrations.

For Isoproturon, figure 4a indicates the importance of an application according to the recommended width of the buffer strip. In scenario A (current best practice), assuming for this compound a buffer strip of 20 meters, a total of 11.5% of the sites were classified into the high (3.9%) or moderate (7.6%) risk classes. Already a slightly reduction of the buffer strip by 50% (scenario B) led to a total of 45% high (33%) or moderate (12%) risk sites – equaling an increase factor of about four.

Figure 4b shows an example, which seems to require a wider buffer strip than actually recommended. In the current best practice scenario A for Chloridazon about 71% high risk sites were predicted. Even with a doubled buffer strip (scenario E) about 36% of the sites remained in the high risk class. To some extent this also applies to Metamitron. All other substances showed about 0% risk sites after doubling the buffer strip.

Figure 4c shows the possible effect of a “worst-case” scenario for Parathion-ethyl. In scenario A (current best practice) about 4% of the sites were classified as high-risk and 35% moderate, respectively. In the worst case scenario H, assuming no (0 m) buffer zone in conjunction with doubled precipitation (20 mm/d), about 89% of the sites belonged to the high risk class. Together with the 10% moderate sites, for about 99% of all 737 sites potentially adverse effects on the community were predicted. Similar results were found for other substances like Isoproturon or Bifenox. The example suggests the need for continuous verification and updating of application rules in view of climate changes for example.

The effect of a management measure is shown in Figure 4d for Azoxystrobin. In scenario A (current best practice) no high risk sites, 16% moderate risk sites and about 84% low risk sites were predicted. After moderately increasing the buffer zone by 50% (scenario D) only 2% of the sites remained in the moderate risk class and 98% were in the low risk class. Comparable strong reductions in the proportion of high risk sites were found with Isoproturon, Lindane and Parathion-ethyl.

In Scenario D and E the width of the buffer zone was increased stepwise by 50% and 100%, respectively. The simulated concentrations for these scenarios were the lowest for each individual substance. For Isoproturon, Tebuconazole and Bifenox a 50% wider buffer was already suitable to reduce the proportion of high risk sites towards 0%. Azoxystrobin, Lindane and Parathion-ethyl reached this level after applying a 100% increase of the buffer zone. However, it must be noted that considerable increases in buffer zones at a large scale level may not be acceptable to farmers because of the costs associated with loss of area available for crops (Mainstone et al. 1996). Moreover for some substances like Chloridazon, Metamitron and

Metribuzin considerable proportions of high and moderate risk sites were predicted even though the buffer zone was increased by 100%.

Scenario G represents a climate-scenario with a precipitation amount increased by 100% from 10 to 20 mm/d. Heavy rain events may be caused by climate changes for instance (Michener et al. 1997). Relatively high maximum concentrations up to 698 $\mu\text{g/L}$ (Metamitron) and proportions of high risk sites up to 84% (Chloridazon) were calculated. Although precipitation did not belong to the most-sensitive parameters, the parameter case diagram (Fig. 3c) showed a clear linear increase of $L\%_{\text{runoff}}$ with increasing precipitation leading to strong effects on the simulation results. This example shows that besides the most sensitive components other parameters may also have strong influence on the simulation results and should be taken into consideration. Storm rainfall events of 20 mm/d or higher are very likely to occur several times per application season in the study area (Bork et al. 1989).

The planning of management measures often implies a tradeoff between acceptable efforts for farmers, regarding loss of arable land or ease of application practice for instance, and effective pollution prevention on the other hand. In this study an increase of the width of the buffer zone by 50% (scenario D) and by 100% (scenario E) proved to be suitable measures for an effective risk reduction for many substances. On the other hand some substances like Epoxiconazole, Ethofumesate and Fenpropimorph appeared to have an inherently lower risk potential even in scenarios with adverse preconditions. The example suggests the use of substances having appropriate properties concerning environmental fate, e.g. high K_{OC} , low DT_{50} , low application amount, low toxicity combined with moderately increased buffer zones for an effective pesticide reduction in conjunction with good acceptance by farmers.

The simulation tool (and the underlying simulation model) presented in this paper showed to be applicable for the prediction of pesticide concentrations and the emerging risk for ecosystems in small streams on the landscape level as well as for the general assessment of particular parameters. It provides support for an exposure and risk assessment without the effort in personnel, time and money that usually is needed in landscape level investigations. It can help to identify streams with a high risk of pesticide contamination where further and intensive monitoring seems to be justified. Moreover it proved to be suitable for planning and assessing the effects of risk mitigation strategies. The absence of detailed input data in one or more parameters can be compensated by standard scenarios but it should be kept in mind that substituting field data by standard scenarios and mean values will lead to an increase of uncertainty in the results. If there is no sufficient input data available, especially with sensitive parameters, the model may not be used as a quantitative prediction tool. In this case the model might be better used for observing the qualitative behavior of the simulated system until more detailed data is available (Jorgensen 1995). By only using easily accessible public data the approach presented here is expected to be transferable to regions with similar data quality by acceptable effort.

Acknowledgements

This study was part of the research project “Informationssystem zur ökotoxikologischen Bewertung der Gewässergüte in Bezug auf Pflanzenschutzmitteleinträge aus der Landwirtschaft” which was funded by the Federal Ministry of Education and Research (bmb+f) (contract no 0339804). We would like to thank Dr. Helga Faasch for providing data and valuable hints.

References

- Adriaanse, P., R. Allen, V. Gouy, J. Hosang, T. Jarvis, M. Klein, R. Layton, J. Linders, L. Schäfer, L. Smeets, D. Yon (1997). Surface Water Models and EU Registration of Plant Protection Products - Dok. 6476/VI/96, Final report of the work of the Regulatory Modelling Working Group of Surface Water - Models of FOCUS (FOrum for the Co-ordination of pesticide fate models and their USE).
- BBA (2002). BBA-Pesticide Database, Biologische Bundesanstalt - BBA. 2002.
- Berenzen, N., A. Lentzen-Godding, M. Probst, H. Schulz, R. Schulz, M. Liess (2004). "A comparison of predicted and measured levels of runoff-related pesticide concentrations in small lowland streams on a landscape level." *Chemosphere* 58: 683-691.
- Bork, H.-R., J. d. Ploey, A. Schick (1989). "Theory and simulation of infiltration, overland flow, erosion, and deposition processes and their relevance to landscape evolution." *Landschaftsgenese und Landschaftsökologie*, Technical University, Braunschweig, Germany: 175 pp.
- Brock, T. C. M., J. Lahr, P. J. Van den Brink (2000a). Ecological risk of pesticides in freshwater ecosystems Part 1: Herbicides. Wageningen, Netherlands, Alterra, Green World Research.
- Brock, T. C. M., R. P. A. Van Wijngaarden, G. J. Van Geest (2000b). Ecological risk of pesticides in freshwater ecosystems Part 2: Insecticides. Wageningen, Netherlands, Alterra, Green World Research.
- Carsel, R. F., Smith, C.N., Mulkey, L.A., Dean, J.D, Jowise, P. (1984). "User's Manual for Pesticide Root Zone Model (PRZM), Release 1." U.S. Government Printing Office, Washington D.C. USEPA 600/3-84-109.
- Donigan, A. S., D. C. Byrlerlein, H. H. Davis, N. H. Crawford (1977). "Agricultural Runoff Management Model, Version II: Refinement and Testing." U.S. Government Printing Office, Washington D.C. USEPA 600/3-77-098.
- EU (1997). Council Directive 97/57/EC of September 21, 1997: Establishing Annex VI to Directive 91/414/EEC Concerning the Placing of Plant Protection Products on the Market. Office Journal of the European Communities L265, European Union: 87-109.
- Haberer, K., T. P. Knepper (2000). Gewässerbelastung durch Pflanzenschutzmittel. Handbuch der Umweltveränderungen und Ökotoxikologie, Band 3 B: Aquatische Systeme: Biogene Belastungsfaktoren - Organische Stoffeinträge - Verhalten von Xenobiotika. R. Guderian and G. Gunkel. Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag: 400-419.
- Hornsby, A. G., R. D. Wauchope, A. E. Herner (1995). Pesticide properties in the environment. New York, Springer Verlag.
- Jorgensen, S. E. (1995). "State of the art of ecological modelling in limnology." *Ecological Modelling* 78: 101-115.
- Klöppel, H., W. Kördel, B. Stein (1997). "Herbicide transport by runoff and herbicide retention in a filter strip." *Chemosphere* 35: 129-141.
- Kniesel, W. G. (1980). CREAMS - A field scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems. Washington, Conservation Research Report.
- Kreuger, J. (1998). "Pesticides in stream water within an agricultural catchment in southern Sweden, 1990-1996." *The Science of the Total Environment* 216: 227-251.
- Legrand, M. F., E. Costentin, A. Bruchet (1991). "Occurrence of 38 pesticides in various French surface and ground waters." *Environmental technology* 12: 985-996.
- Liess, M. (1993). Zur Ökotoxikologie der Einträge von landwirtschaftlich genutzten Flächen in Fließgewässer. Göttingen, Cuvillier.

- Lutz, W. (1984). Calculation of stormwater discharge using catchment variables (in German), Communications, Institute of Hydrology and Water Research. Karlsruhe, University of Karlsruhe.
- LWK-Hannover (2003). Pflanzenschutzhinweise, Landwirtschaftskammer Hannover.
- Mainstone, C. P., K. Schofield (1996). "Agricultural management for nonpoint pollution control, with particular reference to the UK." *European Water Pollution Control* 6(3): 21-29.
- Maniak, U. (1992). "Regionalisierung von Parametern für Hochwasserabflußganglinien." *Regionalisierung der Hydrologie* (H.B. Kleeberg), DFG, Mittlg. Senatskomm. für Wasserf. 11: 325-332.
- Michener, W. K., E. R. Blood, K. L. Bildstein, M. M. Brinson, L. R. Gardner (1997). "Climate change, hurricanes and tropical storms, and rising sea level in coastal wetlands." *Ecological Applications* 7(3): 770-801.
- NLFS (2002). Statistics on agricultural land use, Niedersächsisches Landesamt für Statistik. 2002.
- OECD (2000). Report of the OECD Pesticide Aquatic Risk Indicators Expert Group. Braunschweig, Germany, OECD: 14-21.
- Patty, L., B. Real, J. J. Gril (1997). "The use of grassed buffer strips to remove pesticides, nitrate and soluble phosphorus compounds from runoff water." *Pesticide Science* 49: 243-251.
- Real, M. (1998). "Buffer strips for the reduction of the pesticide load in surface runoff water." Tagungsunterlagen, Isoproturon: Recent Advances in Environmental Research, Bonn 20.-21.04.1998.
- Reus, J., C. Lenndertse, C. Bockstaller, I. Fomsgaard, V. Gutsche, K. Lewis, C. Nilsson, L. Pussemier, M. Trevisan, H. van der Werf, F. Alfarroba, S. Bluemel, J. Isart, D. McGrath, T. Seppaelae (1999). Comparing Environmental Risk Indicators for Pesticides. Results of the European CAPER Project, CLM 426. Utrecht, Centre for Agriculture and Environment.
- Schulz, R. (1997). *Aquatische Ökotoxikologie von Insektiziden - Auswirkungen diffuser Insektizideinträge aus der Landwirtschaft auf Fließgewässer-Lebensgemeinschaften*. Landsberg, Ecomed Verlag.
- Schulz, R. (2004). "Field studies on exposure, effects and risk mitigation of aquatic nonpoint-source insecticide pollution - A review." *Journal of Environmental Quality* 33: 419-448.
- Schulz, R., M. Liess (1999). "A field study of the effects of agriculturally derived insecticide input on stream macroinvertebrate dynamics." *Aquatic Toxicology* 46: 155-176.
- Sibley, P. K., K. N. Kaushik, D. P. Kreutzweiser (1991). "Impact of a Pulse Application of Permethrin on the Macroinvertebrate Community of a Headwater Stream." *Environmental Pollution* 70: 35-55.
- Spatz, R., F. Walker, K. Hurlle (1997). "Effect of grass buffer strips on pesticide runoff under simulated rainfall." *Mededelingen Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen Universiteit Gent* 62(3A): 799-806.
- USDA (2002). The ARS (Agricultural research service) Pesticide Properties Database, United States Department of Agriculture.
- USEPA (1995). AQUIRE-Aquatic toxicity information retrieval database. Duluth, MN, US Environmental Protection Agency, National Health and Environmental Effects Research Laboratory.



1.2 Linking land use variables and invertebrate taxon richness in small and medium-sized agricultural streams on a landscape level

Michael Probst^{a,*}, Norbert Berenzen^a, Annette Lentzen-Godding^a, Ralf Schulz^a and Matthias Liess^b

^a Department of Limnology and Ecotoxicology, Zoological Institute of the Technical University Braunschweig, Fasanenstr. 3, 38092 Braunschweig, Germany

^b Department of Chemical Ecotoxicology, UFZ Centre for Environmental Research, Permoserstr. 15, 04318 Leipzig, Germany

Received 2 September 2003; received in revised form 30 March 2004; accepted 8 April 2004
Available online 18 May 2004

Abstract

In this study the average numbers of invertebrate species across an arable landscape in central Germany (surveys from 15 years in 90 streams at 202 sites) were assessed for their correlation with environmental factors such as stream width, land use (arable land, forest, pasture, settlement), soil type and agricultural derived stressors. The stress originating from arable land was estimated by the factor “risk of runoff”, which was derived from a runoff-model (rainfall induced surface runoff). Multivariate analysis explained 39.9% of the variance in species number, revealing stream width as the most important factor (25.3%) followed by risk of runoff (9.7%). The results showed that wider streams – with or without agricultural stressors - contained significantly higher species numbers than smaller streams. This can be explained by potentially more diverse in-stream structures leading to more habitats and niches. However, negative effects on species number owing to runoff from arable land could be distinguished from the effect of stream width: the number of species within each stream width class significantly decreased with increasing risk of runoff. Therefore the factor “risk of runoff” is considered to express a significant proportion of the variability in macroinvertebrate communities caused by stressors of agricultural origin.

Keywords: land use, runoff, agriculture, macroinvertebrates

* Corresponding author. E-mail address: m.probst@tu-braunschweig.de (M. Probst).

1. Introduction

Landscape-level investigations on invertebrate communities in running waters show that species number and composition are largely dependent on the environmental factors to which the communities are exposed (Wally et al. 1998; Ruse 2000). Relatively few species will be present if these factors are in a range considerably different from the optimum required for most of the species. In agricultural streams such stressors include, for example, a highly dynamic discharge (Sheldon et al. 2002), siltation of the stream bed (Vuori et al. 1996) and pesticide entry (Liess et al. 1999). To date there have been only a few investigations assessing whether such stressors have an influence on aquatic communities in the field. One early attempt to link runoff related stressors with the response of the invertebrates for a multitude of streams was performed by Liess et al, and it was assumed that such stressors exert an influence on the community composition (Liess et al. 1993). The present invertebrate survey of streams in an agricultural landscape revealed that the species number is very unevenly distributed in space. Because of the dominance of arable land in many landscapes the question arises to what extent the observed variability in species number is associated with stressors linked to agricultural activities compared to other environmental factors.

The few studies (Matthiesen et al. 1995; Liess et al. 1999) assessing the importance of stressors related to agriculture in the field have investigated only one or a few stream sections. Therefore the question remains whether the results obtained by these studies can be extrapolated to the multitude of streams on a landscape level. On the other hand, investigations on the landscape level suffer from a reduced accuracy in quantifying stressors and ecological effect for a large number of streams. Especially the quantification of runoff-related short-term pesticide contamination requires elaborate and expensive monitoring (Liess et al. 1996; Liess et al. 1999); in addition, to record the invertebrate community with an appropriate resolution in time and taxonomy requires a great number of experienced personnel. In the present study these problems were circumvented by the use of a large existing dataset, which was provided by local water boards.

The aim of this study was to determine to which extent the number of invertebrate species present in small and medium-sized streams could be associated with stressors linked to adjacent agricultural activities. Further effort was made to ensure transferability of the developed methods to other landscapes. For that reason the only data used here were obtained from already existing governmental or public sources that can be accessed to provide data of similar quality for many regions of Germany.

2. Materials and methods

2.1 Outline of the study

According to the available data (resolution, accuracy), environmental factors associated with agricultural land use were investigated separately but also integrated into an aggregated factor reflecting the risk of surface runoff from agricultural land into the adjoining streams. This factor, as calculated here, is believed to express not all, but a great proportion of the influence of arable land on the stream community, because rainfall-induced surface runoff is the most important source for input of matter (Cooper et al. 1992) and pesticides (Schulz 2001) from arable land and is often associated with biological effects in the stream (Liess et al. 1999). The risk of surface runoff was calculated according to a procedure recommended by the OECD (OECD 1999), which employs a Geographical Information System (GIS) using existing governmental data on soil characteristics, land use and rainfall. All GIS-processing was

done using ArcView® (ESRI, Redlands, CA, USA). In addition, the average species number at each site was tested for a correlation with the percentage of arable land, forest, pasture and settlements, as well as with stream size to reveal the effect of these factors on invertebrate species numbers.

2.2 Study area

The study area is located around the city of Braunschweig (52°26'N, 10°52'E), Lower Saxony, Germany. It extends for about 65x85 kilometres (3573-3637, 5765-5850 Gauss Krueger coordinates). Loamy soils can be found in the hilly south, whereas sandy soils dominate the plains in the northern regions. Arable land (actually under cultivation during the investigation period) and forest represent the main type of land use. The average proportion of arable land varies from 65% in the south to 35% in the north. The dominant crops are winter wheat, barley, and sugar beet (Niedersächsisches Landesamt für Statistik 2002). The agricultural area in use remained nearly constant during the period investigated; in 1997 it was about 97% of that in 1985 (1985: 427,686 hectares, 1997 : 413,511 hectares) (Niedersächsisches Landesamt für Statistik 2002). The main tree species in Lower Saxony are spruce (28%), pine (24%), beech (21%) and oak (12%) (Niedersächsisches Ministerium für Ernährung 2000). The southern region is characterized by large areas of arable land and few, but large forests. In the north, arable land alternates with smaller but more numerous forests. Urban areas and pastures are of minor importance. A map of land use and the locations of the sampling sites are shown in Figure 1.

2.3 Available Data

All data were provided in digital form by governmental institutions. Invertebrate data were provided by regional water boards (NLWK), data sets on daily rainfall were provided by the German weather service (DWD), GIS-layers on land use and soil type were provided by the regional authorities for soil sciences (NLFB) and for surveying and mapping (LGN) (Table 1).

Table 1. Available data and their sources

Type of Data	Source	Volume	Period/recency	Resolution	Format
Macroinvertebrate monitoring	NLWK	1263 samples 202 sites 90 streams	1985 -1999	irregular	digital
Rain	DWD	42 sites	1985 -1999	daily (mm)	digital
Soil type	NLFB	-	1999, updated yearly	M 1:50000	digital
Land use	LGN	-	1999, updated yearly	M 1:25000	digital

NLWK Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft und Küstenschutz (regional water boards);

DWD Deutscher Wetterdienst (German weather service);

NLFB Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (regional authorities for soil sciences);

LGN Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen (surveying and mapping services).

2.4 Macroinvertebrate sampling

The macroinvertebrates were collected by the regional water board according to the specifications of the “German Industry Standard” (Deutsche Industrie Norm, DIN 38410) for saprobic scale (DIN 1990) using a standardised 1-mm mesh net (area 0.032m²). A total of 1263 samples were taken at 202 sites and 90 streams around Braunschweig during the months May to

August from 1985 to 1999. For this study only invertebrate surveys conducted between May and August were used, as in a previous investigation the strongest effect of agriculture was observed during that period of time (Liess et al. 1999). The species were collected by sweep sampling. On each occasion the site was sampled for exactly one hour. All species that could be found within that time were collected. Submerged structures (wood, rocks) were taken out of the water and inspected. Other habitats like plants were also inspected. Nearly all samples were taken by the same person (certified biologist at water board). The majority of macroinvertebrates were identified to the species level in the laboratory. Dipterans including Chironomidae were identified to family level (Faasch 2003). Each site was sampled repeatedly, with an average of 4.8 samples during the investigation period and a range of 1 to 14 samples per site (about 14% were sampled once, 47% 2 to 4 times, 30% 5-10 times, 8% 11-13 times, and one site was sampled 14 times). The mean number of species within the time period 1985 to 1999 was calculated for each site.

2.5 Land use within the catchment of a site

The proportions of arable land, forest, pasture and settlement within the catchment of a site were estimated by means of GIS. A 1000x50-m buffer was generated; that is, the stream is enclosed in an area 50m wide, upstream of the site, extending for 1000m upstream along the course of the stream. The relative percentage of each type of land use within the buffer associated with the site was estimated by a GIS-Script. A buffer-length of 1000 metres was chosen for the stream sections because other investigations suggest that within this distance most insecticides are adsorbed and therefore their toxicological potential will be greatly reduced (Sibley et al. 1991; Schulz et al. 1999). For other factors linked to the input of agricultural substances, no corresponding estimations about their carrying distance could be found in the literature.

2.6 Risk of runoff within the catchment of a site

Lutz (Lutz 1984) and Maniak (Maniak 1992) proposed a runoff-model reviewed in (OECD 1999), which estimates runoff volume (mm) relative to the amount of precipitation (mm) and type of soil (sandy, loamy) in terms of three scenarios relating to crop and soil moisture: Scenario 1: bare soil with high soil moisture. Scenario 2: bare soil with low soil moisture. Scenario 3: covered soil with low soil moisture. For this study scenario 3 was chosen, because the samples were taken during the growing season between May and August when plant coverage as well as insecticide application can be assumed. Following the calculation of runoff volume the risk of runoff (nondimensional) for each sampling site was calculated by considering the proportion of arable land (Equation 1). The average number of rain events exceeding 6mm and hence capable of inducing runoff (Maniak 1992) during the investigated time period of 15 years was calculated for each site. Consequently each site was assigned a risk of runoff according to the typical number of storm events, the soil, and the percentage of arable land.

$$\text{Risk of Runoff} = Q * A_{\text{percent}} \quad (1)$$

$$\text{Loamy soil} \quad Q = -0.00001P^3 + 0.0043P^2 + 0.0279P + 0.0634$$

$$\text{Sandy soil} \quad Q = -0.00001P^3 + 0.0028P^2 + 0.0047P + 0.0024$$

Q = Volume of runoff (mm) calculated according to the model of Lutz (Lutz 1984) and Maniak (Maniak 1992) with P – precipitation, A – percentage of arable land inside a 1000x50m-buffer upstream

2.7 Data classification and analyses

To determine the percentage each factor contributes towards explaining the variance in species number, a multiple linear regression (method for variable selection: “stepwise forward inclusion”) was calculated. The factors “stream width” (m), “risk of runoff” (nondimensional), “arable land” (%), “forest” (%), “settlement” (%), “pasture” (%), “number of samples per site” and “month of sample” were chosen as independent explanatory variables. The differences among means of species numbers for different stream widths and risk of runoff classes were analysed using one-way or two-way analysis of variance (ANOVA). Scheffé’s *F* test was used to detect significant differences between means. The stream width was obtained by yearly field observations for the mean water line at each site (Faasch 2003). The streams were divided into three stream-width classes (0-2m, 2-5m, 5-10m). Larger streams (width >10m) were excluded from the analysis because of the expected dilution effects. The land-use variables (arable land, settlement, forest, pasture) and the risk of runoff at each site were treated as continuous variables in the multivariate analyses and also classified into three classes with the SPSS®-rank procedure for a better overview of results. The 33, 66 and 100 percentile of each parameter’s distribution defines the range of the respective class (Table 2).

All factors used for ANOVA were tested with KS-test and met the requirements of normal distribution within each stream width class. $\alpha=0.05$ was chosen as the significance level for all tests. Statistical analyses were carried out with SPSS® (Chicago, IL, USA) version 11.5.

Table 2. Classes and range of environmental factors, data classification by percentiles.

Factor / Class	1	2	3
Arable land	0 – 25.5 %	25.5 – 61.5 %	61.5 – 95.86 %
Settlement	0 – 0.1 %	0.1 – 1.3 %	1.3 – 47.96 %
Forest	0 – 1.5 %	1.5 – 10.5 %	10.5 – 98.71 %
Grassland	0 – 11.5 %	11.5 – 36.15 %	36.15 – 94.52 %
Risk of runoff	0 – 0.38	0.38 – 0.81	0.81 – 1.11

3. Results

3.1 Identification of factors responsible for variance of species number

The plot of the mean number of species over a period of 15 years showed that species number was very unevenly distributed in space (Fig. 1).

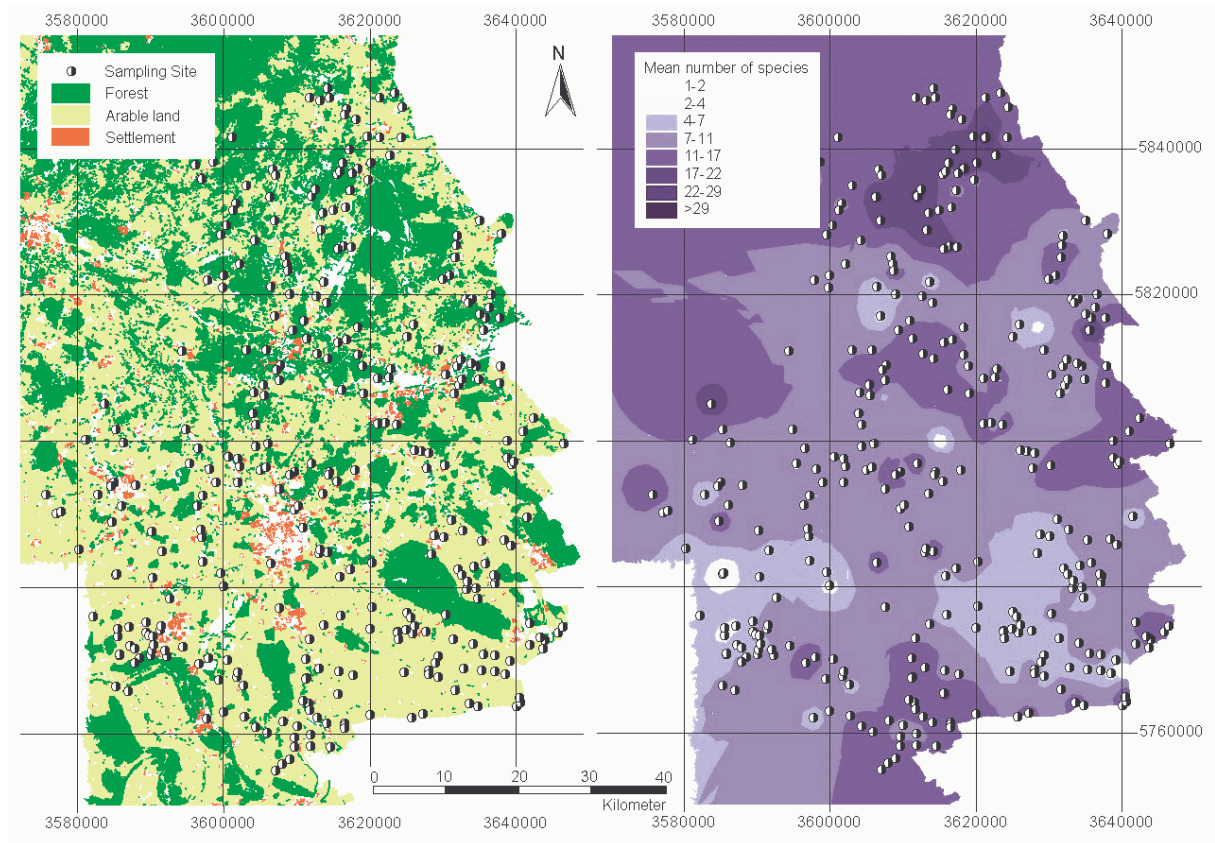


Fig. 1. Major land use (left) and average species numbers (May-August) of stream invertebrates (right) in the central lowland of Germany; 202 sites in 90 streams over 15 years (1985-1999), geographical reference: Gauss-Krueger-Coordinates. Categories of land use below 15% are not shown. The mean number of species for each sampling site within the period 1985 to 1999 was generated via GIS by spatial interpolation (method: inverse distance weighting) between the sites.

Multiple linear regression explained about 40% of the variance in species number. It was found that the factors “stream width” and “risk of runoff” were responsible for 35% of the variance (Table 3). Settlement accounted for 2.9% of the variance and the number of samples per site was responsible for 2.0%. The factor “arable land” showed a trend similar to but weaker than that of “risk of runoff” and was therefore excluded from analysis as it did not add further explanation to the observed variance of species number and failed to meet the collinearity standards with “risk of runoff”. The same applied to the factor “forest”, which was positively correlated with species number. The average numbers of species found in the different months were slightly different (May: 13.5, June: 14.9, July: 15.9, August: 15.9); however, the factor “month of sample” did not significantly contribute to an explanation of variance in species number, so it was removed from the procedure. Hence, nearly 40% of the variance of species number could be explained, the stream width being the most important determining factor for species number, followed by risk of runoff, settlement and the variance caused by the different number of samples per site.

Table 3. Multiple linear regression (method for variable selection: “stepwise forward inclusion”) with environmental factors (independent variables) and species number.

Step	Factor	r^2 (corrected)	% of variance	p	Type of influence
1	Stream width	0.253	25.3	≤ 0.001	+
2	Risk of runoff	0.350	9.7	≤ 0.001	-
3	Settlement	0.379	2.9	≤ 0.002	-
4	Samples per site	0.399	2.0	≤ 0.005	+

Note: Type of influence indicates positive (+) / negative (-) correlation with species number. Excluded factors were: forest, pasture, month of sample.

Figure 2 shows the differences among means of species numbers for the factor “stream width”. Mean numbers of species were significantly different for each stream width class (ANOVA, Scheffé’s F test, $p \leq 0.001$). The average species number in the smallest width class (0-2m) was 54% of that in the largest width class (5-10m) (Fig. 2).

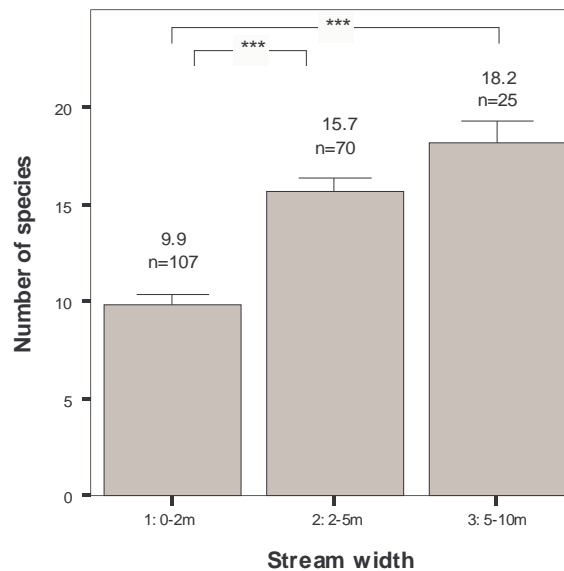


Fig. 2. Mean numbers of species for three different stream width classes (0-2m, 2-5m, 5-10m). The number of sites for each class is given (n). Error bars represent standard error. Asterisks indicate level of significance between adjacent bars (one-way ANOVA, Scheffé’s F test): $p \leq 0.05$ (*), $p \leq 0.01$ (**), $p \leq 0.001$ (***). Data based on samples taken from 202 sites at 90 streams between the months May and August of 1985-1999.

3.2 Parameters linked to agricultural land use

Stream width was found to be the main factor explaining the variability in species number. To determine the influence of the factor “risk of runoff” in this step, the number of species for each class of stream width depending on risk of runoff was analysed. Within each class of stream width mean numbers of species significantly decreased with increasing percentage of arable land in the catchment of the site (not shown). When risk of runoff (nondimensional; classes: low, moderate, high) was used instead of percentage of arable land, the reduction of species was greater (ANOVA, Scheffé’s F test) (Fig. 3). This effect could be observed in all stream width classes and was especially pronounced for small streams with a maximum width of 2 metres; here the species number in the class with the highest risk of runoff (black bars)

was 67% of the species number in the class with the lowest (white bars) risk (ANOVA, Scheffé's F test, $p \leq 0.001$) (Fig. 3).

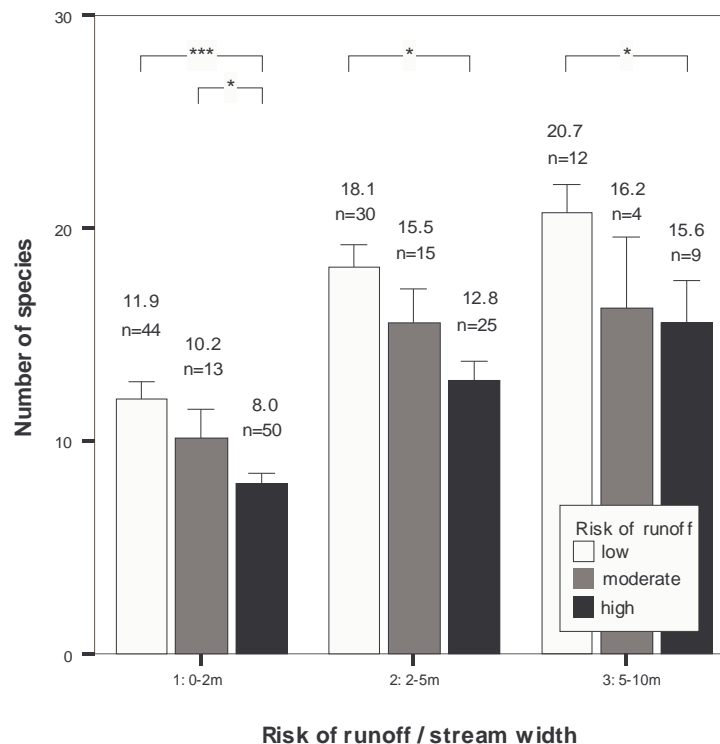


Fig. 3. Mean numbers of species per stream width class (0-2m, 2-5m, 5-10m) and risk-of-runoff class (low, moderate, high). White bars indicate low risk of runoff, grey bars indicate moderate risk of runoff, black bars indicate high risk of runoff. The number of sites for each class is given (n). Error bars represent standard error. Asterisks indicate level of significance between adjacent bars (two-way ANOVA, Scheffé's F test), with $p \leq 0.05$ (**), $p \leq 0.01$ (*), $p \leq 0.001$ (***). Data based on samples taken from 202 sites at 90 streams between the months May and August of 1985-1999.

4. Discussion

4.1 Environmental factors relevant for species number

Depending on the landscape investigated, the following environmental factors have been repeatedly identified as affecting the composition of invertebrate communities: stream width and discharge (Wally et al. 1998; Ruse 2000), nutrients (Ruse 2000), substrate (Ruse 2000), altitude (Ruse 2000), pH (Ruse 2000), current velocity (Ruse 2000). Of these factors only stream width was included in the present analysis. Out of the 40% of variance in species number that could be explained, stream width accounted for about 25%. The significance of this factor can be explained by the tendency of larger habitats to provide more diverse in-stream structures leading to higher species numbers.

As the investigated landscape is relatively homogeneous in terms of relief, altitude, current velocity and substrate, these factors were not expected to play the dominant role (Faasch 1997). A study by Liess and Schulz (Liess et al. 1999) at the Ohebach (52°10'N, 10°28'E) which is also located in the same area showed strong effects of insecticides associated with pesticides from surface runoff on the macroinvertebrate community but no link to hydraulic

stress. All species showed significant population reduction during highly contaminated runoff events. No negative effects were stated during events with low contamination but similar or even higher change of discharge and load of suspended particles. Liess and Schulz argued that these results are likely to an adaptation of the community structure to this type of stress because of its frequent occurrence in runoff-affected streams.

As typical non-agricultural stressors, industrial and municipal wastewaters are known to influence the invertebrate community as well (Zelinka et al. 1961; Maltby 1995). However, these factors are expected to be of minor importance for most of the sites investigated in this region, as efficient wastewater treatment is enforced by law even for single houses. These assumptions were verified in long-term investigations by the regional water boards (Faasch 1997).

Nevertheless, a proportion of about 60% of the variance in species number could not be explained by the used environmental variables. Further variability in stream communities may also be caused by anthropogenic influence. Agricultural streams often are canalised and in this process coarse substrates are removed and plants are cropped seasonally. Also the distance of a sampling site from the spring may be responsible for different community assemblages because of different habitat structures along the longitudinal gradient of a stream. Another factor that could contribute to the variance in species numbers is recovery from agricultural disturbances and insecticide contamination. Liess and Schulz (Liess et al. 1999) found a significant reduction in species numbers due to pesticide contamination, but they also stated a recovery of many species from less contaminated refugial streams after several months. Finally, additional variability may be caused by errors in the exposure assessment itself, which is based on simulated values instead of measured ones.

On the basis of the environmental factors included in this study, stream size and “risk of runoff” from arable land proved to be the most relevant factors; they contributed 35% towards explaining the variance of species number in 90 small and medium-sized streams. Such multivariate analyses of environmental factors on a large geographical scale have previously been applied successfully, for example, to analyse stream macroinvertebrate communities in Great Britain (Wally et al. 1998) using the RIVPACS data set (Wright et al. 1993). But until now there have been no investigations assessing whether stressors related to agriculture exert influence on aquatic communities in a great number of streams on the landscape level.

4.2 Environmental factors contributing to risk of runoff

Of the many sources of surface water pollutants, agricultural activities have been identified as major stressors to aquatic life. Although suspended sediment represents the largest amount of matter input to bodies of water, pesticides, nutrients, and organic enrichment also contribute to the overall stress (Cooper 1993). All the factors mentioned proved to be associated with adverse effects on invertebrates in several investigations. Invertebrate communities are influenced by flooding (Sheldon et al. 2002), siltation (McClelland et al. 1980; Vuori et al. 1996; Sabarth 1999), and pesticides (Wauchope 1978; Matthiesen et al. 1995; Liess et al. 1999). The factor “risk of runoff” used in this investigation integrates these stressors and can be associated with a reduction in species number. Nevertheless, it should be kept in mind that the connection of “risk of runoff” and species number represents an average figure for the period between May and August over 15 years and that individual cases may deviate considerably.

5. Conclusions

In an agricultural landscape this investigation reveals an increase of species number with increasing stream size and a reduction of species number with increasing “risk of runoff”. These results were obtained by utilising only existing governmental data on land use, geomorphology, and occurrence of aquatic invertebrates. Such an identification of relevant environmental factors can therefore be transferred to other areas for which a similar density of information is available.

Acknowledgements

The German Federal Ministry of Education and Research (BMBF), Project-No. 0339804 funded the study. We would like to thank Dr. Helga Faasch for providing data and valuable hints.

References

- Berenzen, N., et al. (2003). "Macroinvertebrate community structure in agricultural streams: Impact of runoff-related pesticide contamination." Ecotoxicology and Environmental Safety (submitted).
- Cooper, C. M. (1993). "Biological effects of agriculturally derived surface-water pollutants on aquatic systems - a review." Journal of Environmental Quality **22**: 402-408.
- Cooper, C. M., et al. (1992). "Water quality and agriculture: Mississipi experiences." Journal of Soil and Water Conservation **47**: 220-223.
- DIN, D. I. f. N. e. V. (1990). "Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Biologisch-ökologische Gewässeruntersuchung (Gruppe M); Bestimmung des Saprobienindex (M 2)." **Ausgabe:1990-10**: 18.
- Faasch (1997). Gewässergütebericht - Ergänzungen 1997, Bezirksregierung Braunschweig.
- Faasch (2003). "Personal communication." NLWK Braunschweig, Germany.
- Liess, M., et al. (1999). "Linking insecticide contamination and population response in an agricultural stream." Environmental Toxicology and Chemistry **18**: 1948-1955.
- Liess, M., et al. (1999). "Determination of insecticide contamination in agricultural headwater streams." Water Research **33**(1): 239-247.
- Liess, M., et al. (1996). "A method for monitoring pesticides bound to suspended particles in small streams." Chemosphere **32**(10): 1963-1969.
- Liess, M., et al. (1993). "Macroinvertebrate dynamics in ditches as indicator for surface water runoff - an ecological aspect for assessment of agricultural impact on running water ecosystems." Modelling of Geo-Biosphere Processes **2**: 279-292.
- Lutz, W. (1984). Calculation of stormwater discharge using catchment variables (in German), Communications, Institute of Hydrology and Water Research. Karlsruhe, University of Karlsruhe.
- Maltby, L. (1995). "Sensitivity of the crustaceans *Gammarus pulex* (L) and *Asellus aquaticus* (L) to short-term exposure to hypoxia and unionized ammonia: Observations and possible mechanisms." Water Research **29**(3): 781-787.
- Maniak, U. (1992). "Regionalisierung von Parametern für Hochwasserabflußganglinien." Regionalisierung der Hydrologie (H.B. Kleeberg), DFG, Mittlg. Senatskomm. für Wasserf. **11**: 325-332.

- Matthiesen, P., et al. (1995). "Use of a *Gammarus pulex* bioassay to measure the effects of transient carbofuran runoff from farmland." Ecotoxicology and Environmental Safety **30**(2): 111-119.
- McClelland, W. T., et al. (1980). "Effects of sedimentation on the behavior and distribution of rifle insects in a laboratory stream." Aquatic Insects **2**(3): 161-169.
- Niedersächsisches Landesamt für Statistik, N. (2002). "Landwirtschaft - Statistics on agricultural land use." <http://www.nls.niedersachsen.de/Tabellen/Landwirtschaft>, Germany.
- Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, L. u. F. (2000). "Holz - Baustoff der Natur - Jahresbericht der Landesforstverwaltung 2000." 8.
- OECD (1999). Report of the OECD Project Pesticide Aquatic Risk Indicators - Report of Phase 1. - 2nd OECD Workshop on Pesticide Risk Indicators. Braunschweig, Germany, OECD.
- Ruse, L. P. (2000). "Multivariate techniques relating macroinvertebrates and environmental data from a river catchment." Water Research **30**: 3017-3024.
- Sabarth, A. (1999). Bedeutung von Substrat und Versandung für die Verteilung des Makrozoobenthos in naturnahen Heidebächen. Braunschweig, Dissertation, Technische Universität.
- Schulz, R. (2001). "Comparison of spraydrift- and runoff-related input of azinphos-methyl and endosulfan from fruit orchards into the Lourens River, South Africa." Chemosphere **45**: 543-551.
- Schulz, R., et al. (1999). "A field study of the effects of agriculturally derived insecticide input on stream macroinvertebrate dynamics." Aquatic Toxicology **46**: 155-176.
- Sheldon, F., et al. (2002). "Conservation value of variable connectivity: aquatic invertebrate assemblages of channel and floodplain habitats of a central Australian arid-zone river, Cooper Creek." Biological Conservation **103**: 13-31.
- Sibley, P. K., et al. (1991). "Impact of a Pulse Application of Permethrin on the Macroinvertebrate Community of a Headwater Stream." Environmental Pollution **70**: 35-55.
- Vuori, K., et al. (1996). "Impact of forest drainage on the macroinvertebrates of a small boreal headwater stream: Do buffer zones protect lotic biodiversity?" Biological Conservation **77**: 87-95.
- Wally, W. J., et al. (1998). "Neural network predictors of average score per taxon and number of families at unpolluted river sites in Great Britain." Water Research **32**: 613-622.
- Wauchope, R. D. (1978). "The pesticide content of surface water draining from agricultural fields - a review." Journal of Environmental Quality **7**: 459-472.
- Wright, J. F., et al. (1993). "RIVPACS - a technique for evaluating the biological quality of rivers in U.K." European Water Control **3**(4): 15-25.
- Zelinka, M., et al. (1961). "Zur Präzisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fließender Gewässer." Archiv für Hydrobiologie **57**: 389-407.

Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL) – Tagungsbericht (Braunschweig) 2002**1.3 Informationssystem zur ökotoxikologischen Bewertung der Gewässergüte in Bezug auf Pflanzenschutzmitteleinträge aus der Landwirtschaft - Systemaufbau und Anwendungsmöglichkeiten****Systemaufbau und Anwendungsmöglichkeiten**

Michael Probst*¹⁾, Norbert Berenzen¹⁾, Annette Lentzen-Godding¹⁾,
Matthias Liess²⁾, Ralf Schulz¹⁾

*) e-Mail: m.probst@tu-bs.de

¹⁾ TU-Braunschweig, Zoologisches Institut, Limnologie und Ökotoxikologie

²⁾ UFZ, Umweltforschungszentrum Leipzig, Chemische Ökotoxikologie

Keywords – Pflanzenschutzmittel, Fließgewässer, Simulation, Risikoabschätzung, OECD

1. Einleitung und Zielsetzung

Ziel des Forschungsprojekts war die Entwicklung eines GIS-gestützten Informationssystems zur Abschätzung potenzieller Risiken für PSM-Einträge in kleinere bis mittlere Fließgewässer im landwirtschaftlich geprägten Umfeld. Das System sollte sowohl auf einzelne Stellen bzw. Flächen als auch im Landschaftsmaßstab anwendbar sein. Da die Gewässerbeprobung – insbesondere auf Landschaftsebene – einen erheblichen Zeit- und Kostenfaktor darstellen kann, sollten ausschließlich bereits erhobene und öffentlich verfügbare Daten Verwendung finden. Das PSM-Eintragsrisiko wurde durch ein Teilmodell des von der OECD Pesticide Aquatic Risk Indicators Group (OECD 2000) vorgeschlagenen Modells REXTOX (**R**atio of **EX**posure to **TOX**icity) simuliert. Die entwickelten Methoden und Verfahren sollten als möglichst einfach anwendbare PC-Software umgesetzt werden und so die Anwendung bei Behörden und Ingenieurbüros ermöglichen. Die Verwendung eines standardisierten Berechnungsverfahrens und öffentlich verfügbarer Daten soll ferner die Übertragbarkeit auf Gebiete mit ähnlicher Datenqualität erleichtern und den Anwendern einen möglichst einfachen Zugang zu erforderlichen Daten ermöglichen.

2. Systemaufbau und Grundlagen der Simulation

Zunächst müssen die Eingangsdaten (Boden, Gefälle, Niederschlag, Landnutzung, Stoffmenge und -eigenschaften) mit Hilfe eines Geo-Informationssystems (z.B. ArcView®) für die Simulation aufbereitet werden. Dazu werden die Rohdaten in eine durch das GIS nutzbare Form überführt. Je nach Format werden die vorliegenden Daten direkt in das GIS importiert bzw. müssen zunächst konvertiert werden. Das eigentliche Informationssystem besteht aus mehreren Komponenten. Im ersten Schritt kombiniert (verschneidet) ein GIS-Skript („GIS-Data-Provider“, vgl. Abb. 1) alle Ebenen der aufbereiteten Rohdaten zu einer neuen Ebene und extrahiert die für die Simulation erforderlichen Eingangsdaten. Die Ausgabedaten des GIS-Skripts werden wiederum vom Simulator-Modul importiert. Der Simulator berechnet anhand des OECD-Modells das PSM-Eintragsrisiko. Die Berechnung kann hierbei über Stan-

Standard-Szenarien konfiguriert werden. So wird z.B. die Pflanzen-Interzeption in Abhängigkeit von Datum und Anbaufrucht anhand einer hinterlegten Szenario-Tabelle bestimmt. Die Simulationsergebnisse werden in Tabellenform exportiert und können anschließend zur Analyse des Einflusses einzelner Parameter sowie zur Darstellung von PSM-Risikokarten (per GIS) verwendet werden (Abb. 1).

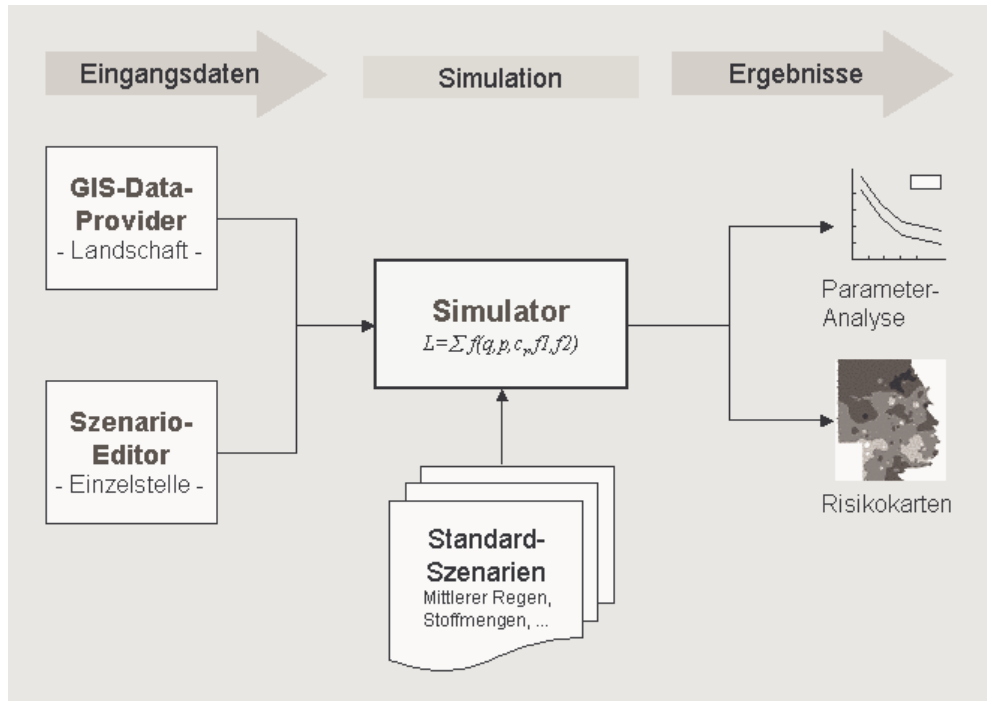


Abb. 1 – PSM-Informationssystem: Systemüberblick.

Die Simulation des PSM-Eintragsrisikos erfolgt durch ein mit $L_{\%runoff}$ bezeichnetes Teilmodell des von der OECD (OECD 2000) vorgeschlagenen Modells REXTOX (Ratio of Exposure to Toxicity). Das Teilmodell stellt eine Spezialisierung der Modelle von Lutz (Lutz 1984) und Maniak (Maniak 1992) zur Berechnung des Runoff-Volumens in Abhängigkeit vom Niederschlag dar. $L_{\%runoff}$ bezeichnet den prozentualen Anteil von PSM, der über den Oberflächenabfluss (Runoff) ins Gewässer eingetragen wird. Dieser ist abhängig vom Runoff-Volumen im Verhältnis zur Regenmenge, dem Gefälle, der Breite des Randstreifens sowie stoffspezifischen Eigenschaften (Formel 1).

$$L_{\%runoff} = \left(\frac{Q}{P} \right) * Cr_{soil_surface} * f1_{slope} * f2_{bufferzone} * 100$$

Formel 1 – Berechnung des prozentualen PSM-Verlusts durch Runoff nach (OECD 2000).

- $L_{\%runoff}$ = Percentage of application dose available in runoff-water as dissolved substance
- Q = Runoff amount (mm) according the model of Lutz and Maniak (1984, 1992)
- P = Precipitation amount (mm)
- DT_{50soil} = Half-life time of in soil

$$Cr_{soilsurface} = e^{\left(\frac{-3 \cdot \ln(2)}{DT_{50soil}}\right)} * \left(\frac{1}{(1 + K_d)}\right) * (1 - plantinterception/100)$$

$$K_d = (K_{oc} * \%OC) / 100$$

$$f1_{slope} = 0.02153 * slope + 0.001423 * slope^2 \quad ; \text{if slope} < 20\%$$

$$f1_{slope} = 1 \quad ; \text{if slope} \geq 20\%$$

$$f2_{bufferzone} = 0,83^{buffer-width}$$

3. Simulationsergebnisse

Am Beispiel der Randstreifenbreite soll dargestellt werden, in welcher Größenordnung das PSM-Eintragsrisiko von diesem Parameter beeinflusst wird. Für die Simulation wurden 6 in der Arbeitsgruppe Ökotoxikologie der TU-Braunschweig häufig nachgewiesene Substanzen mit unterschiedlichen KOC-Werten und Halbwertszeiten ausgewählt (Tab. 1). Die Simulation wurde für variierende Randstreifenbreiten von 0, 5, 10 und 15m durchgeführt (Abb. 2). Als weitere Simulationsparameter wurde eine Fläche von 1ha, der Zeitraum Juli, ein Niederschlagsereignis von 10mm, landwirtschaftliches Umland sowie 2% Gefälle angenommen.

Substances	Application dose (g/m ²)	KOC (l/kg)	DT50 (d)	d	Type
Azoxystrobin	0,01	143	17,5	3	Fungicide
Bifenox	0,01	1572	16,5	3	Herbicide
Epoxiconazol	0,001	442	310	3	Fungicide
Ethofumesat	0,01	182	62,5	3	Herbicide
Kresoxim-Methyl	0,001	421	1,75	3	Fungicide
Parathion	0,001	705	16	3	Insecticide

Tab. 1 – Substanzen.

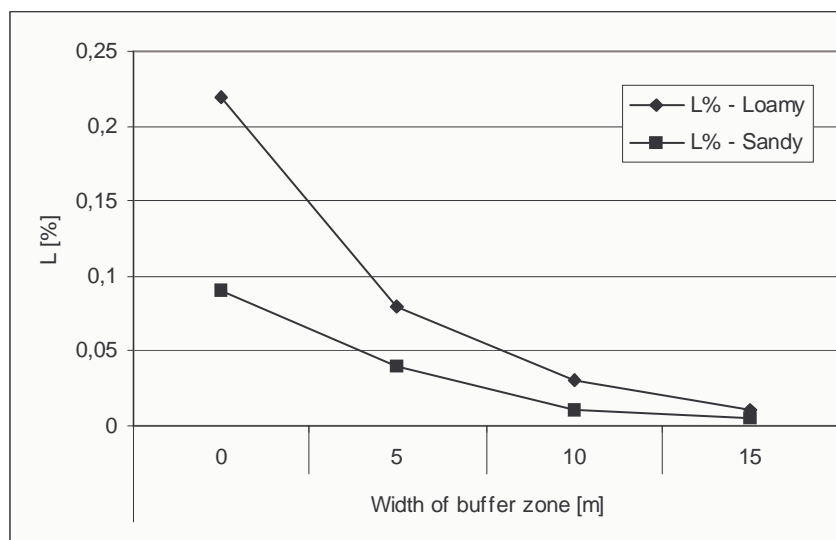


Abb. 2 – Simulation des prozentualen PSM-Verlusts durch Runoff für lehmige und sandige Böden.

Die Simulation zeigt für beide Bodenarten eine Reduzierung des PSM-Eintragsrisikos mit steigender Randstreifenbreite. In Abhängigkeit von Boden und stoffspezifischen Eigenschaften ergibt sich eine Verminderung um bis zu 95%. Die Simulationsergebnisse decken sich gut

mit Literaturwerten. So gibt Real (Real, 1998) für Atrazin den PSM-Rückhalt bei einem Randstreifen von 6m Breite mit 60% bis hin zu 94% bei einem Randstreifen von 20m Breite an. Klöppel (Klöppel, 1997) kommt für Isoproturon zu ähnlichen Ergebnissen (5m – 50%, 20m – 94%).

4. Anwendungsmöglichkeiten

Im Folgenden soll beispielhaft die Simulation des PSM-Eintragsrisikos für das Braunschweiger Umland dargestellt werden. Das Gebiet erstreckt sich über 65x85 Kilometer (Gauss-Krueger 3573-3637, 5765-5850). Lehmige Böden bestimmen den eher hügeligen südlichen Bereich, während im nördlichen, eher flachen Bereich Sandböden dominieren. Landwirtschaft und Wald/Forst stellen die hauptsächliche Landnutzungsform dar. Die südliche Region wird durch große Flächen landwirtschaftlicher Nutzung sowie durch einige größere aber insgesamt eher wenige Waldflächen bestimmt. Im Norden wechseln landwirtschaftliche Nutzung und relativ zahlreiche aber kleinere Waldflächen ab.

Analog zu oben beschriebenem Verfahren wurde für 214 Probestellen des Niedersächsischen Landesverbandes für Wasserwirtschaft und Küstenschutz (NLWK) das PSM-Eintragsrisiko simuliert und mit Hilfe eines GIS als Risikokarte für 5m und 20m Randstreifenbreite dargestellt (Abb. 3a+b). Die verwendete Datengrundlage ist in Tab. 2 dargestellt.

Daten	Quelle	Umfang	Zeitraum	Auflösung	Format
Landnutzung	LGN	BS-Umland	1999	1:25.000	Digital
Boden	NLFB	BS-Umland	1999	1:50.000	Digital
Niederschlag	DWD	BS-Umland	1985-1999	Täglich [mm]	Digital
Gewässer	LGN	BS-Umland	1999	1:25.000	Digital
Probestellen	NLWK	214 Stellen	1985-1999	-	Digital

Tab. 2 – Datengrundlage PSM-Risikokarten.

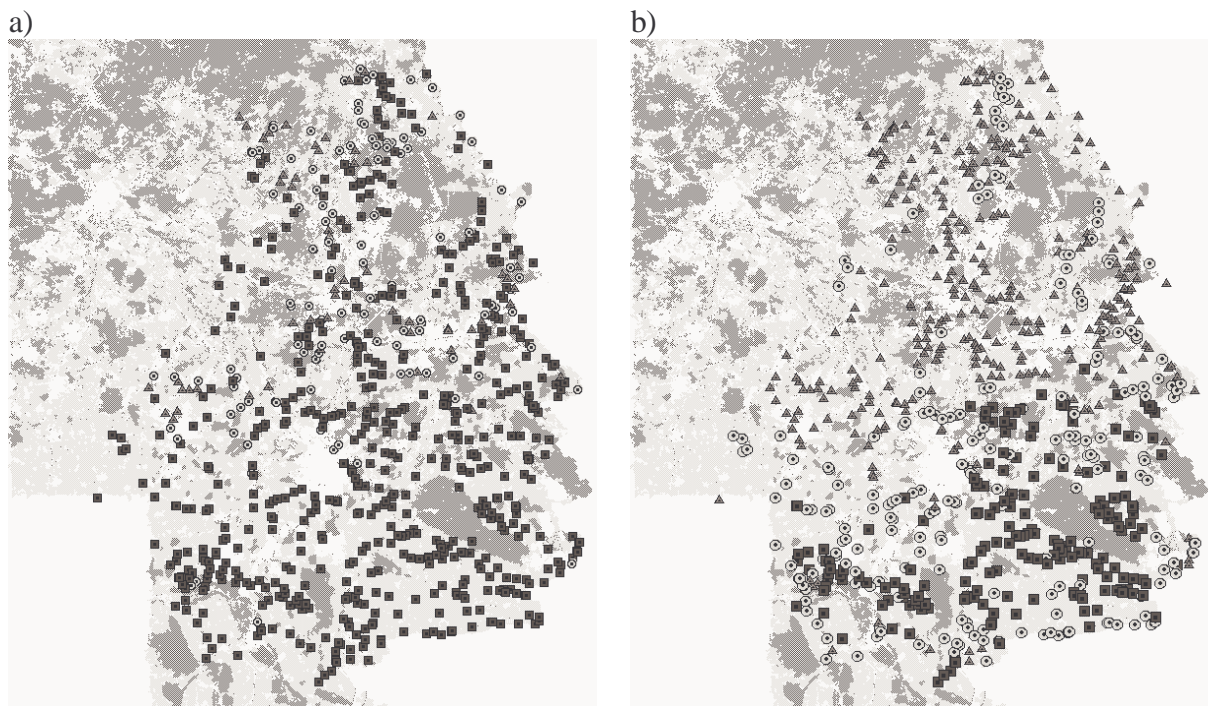


Abb. 3 – PSM-Risikokarte a) Randstreifen=5m b) Randstreifen=20m. Legende: Dunkelgrau=Wald/Forst, Hellgrau=landwirtschaftl. Nutzung, Weiß=Sonstige Nutzung, Dreieck=geringes Eintragsrisiko, Kreis=mittleres Eintragsrisiko, Quadrat=hohes Eintragsrisiko.

5. Fazit und Ausblick

Die Variation einzelner Eingangsparameter, wie am Beispiel der Randstreifenbreite dargestellt, ermöglicht eine qualitative Abschätzung der Auswirkung einzelner Faktoren auf das PSM-Eintragsrisiko. PSM-Risikokarten können ein hilfreiches Werkzeug für die Planung von Maßnahmen darstellen. Nach Art einer „Was-wäre-wenn“-Analyse ergibt sich die Möglichkeit, verschiedene Maßnahmen am Bildschirm zu simulieren und die jeweiligen Effekte im Landschaftsmaßstab abzuschätzen.

Danksagung

... für Mitarbeit, Daten und Förderung an:

Norbert Berenzen, TU-Braunschweig, Annette Lentzen-Godding, TU-Braunschweig, Ralf Schulz, TU-Braunschweig, Jörn Wogram, TU-Braunschweig, AG Limnologie & Ökotoxikologie, TU-Braunschweig, Matthias Liess, UFZ Leipzig, Peter von der Ohe, UFZ Leipzig, Dr. Volkhard Herbst, NLO, Dr. Helga Faasch, NLWK Braunschweig, Dr. Manfred Siebert, NLWK Verden, bmb+f Projekt - Förderkennzeichen 0339804

Literatur

- Klöppel, H., Kördel, W., Stein, B.: „Herbicide transport by runoff and herbicide retention in a filter strip...“, *Chemosphere* Vol. 35, pp. 129-141 (1997)
- Lutz, W. 1984: „Berechnung von Hochwasserabflüssen unter Anwendung von Gebietskenngrößen“. *Mittlg. Inst. Hydrologie Wasserwirtschaft, Univ. Karlsruhe, Heft 24*
- Maniak, U. 1992: „Regionalisierung von Parametern für Hochwasserabflußganglinien“. In: *Regionalisierung der Hydrologie (H.B. Kleeberg), DFG, Mittlg. Senatskomm. für Wasserf. 11, S. 325-332*
- OECD. 2000: “Report of the OECD Pesticide Aquatic Risk Indicators Expert Group“, 2000
<http://www.oecd.org/pdf/M00027000/M00027912.pdf>,
<http://www.oecd.org/pdf/M00027000/M00027917.pdf>
- Real, M.(1998): “Buffer strips for the reduction of the pesticide load in surface runoff water”, *Tagungsunterlagen, Isoproturon: Recent Advances in Environmental Research, Bonn 20.-21.04.1998*

Anhang

Das Simulationssystem

Inhaltsverzeichnis

1.4 Informationssystem zur ökotoxikologischen Bewertung der Gewässergüte in bezug auf Pflanzenschutzmitteleinträge aus der Landwirtschaft – Das Simulationsmodell.....	67
1.5 Benutzerhandbuch.....	71
1.6 Technische Dokumentation	104

Aus dem Abschlußbericht zum Vorhaben:

1.4 Informationssystem zur ökotoxikologischen Bewertung der Gewässergüte in Bezug auf Pflanzenschutzmitteleinträge aus der Landwirtschaft – Das Simulationsmodell

BMBF-Förderkennzeichen: 0339804

Im Internet unter <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb04/381683206.pdf> (TIB: Technische Informationsbibliothek, Universitätsbibliothek Hannover).

1. Einleitung und Zielsetzung

Im Rahmen des BMBF-Forschungsprojekts „*Informationssystem zur ökotoxikologischen Bewertung der Gewässergüte in Bezug auf Pflanzenschutzmitteleinträge aus der Landwirtschaft*“, BMBF-Förderkennzeichen 0339804, sollte ein GIS-gestütztes Informationssystem zur Abschätzung potenzieller Risiken für PSM-Einträge in kleinere bis mittlere Fließgewässer im landwirtschaftlich geprägten Umfeld entwickelt werden. Das System sollte dabei sowohl auf einzelne Flächen (Schläge) als auch im Landschaftsmaßstab anwendbar sein. Da die Gewässerbeprobung und Datenerhebung – insbesondere auf Landschaftsebene – einen erheblichen Zeit- und Kostenfaktor darstellen kann, sollten ausschließlich bereits erhobene und öffentlich verfügbare Daten Verwendung finden. Die entwickelten Methoden und Verfahren sollten als möglichst einfach anwendbare PC-Software umgesetzt werden und so die Anwendung bei Behörden und Ingenieurbüros ermöglichen. Die Verwendung eines standardisierten Berechnungsverfahrens und öffentlich verfügbarer Daten soll ferner die Übertragbarkeit auf Gebiete mit ähnlicher Datenqualität erleichtern und den potenziellen Anwendern einen möglichst einfachen Zugang zu den erforderlichen Daten ermöglichen.

Um den genannten Anforderungen gerecht zu werden, wurde das PSM-Eintragsrisiko durch ein Teilmodell des von der OECD Pesticide Aquatic Risk Indicators Group (OECD 2000) vorgeschlagenen Modells REXTOX (**R**atio of **EX**posure to **TOX**icity) simuliert, welches vergleichsweise wenige Ausgangsdaten voraussetzt. Als Ausgangsdaten wurden digitale GIS-Karten und Wetterdaten verwendet, die von Behörden und Institutionen zur Verfügung gestellt werden. Die Datenaufbereitung erfolgte mit ArcView®-GIS, einem weit verbreiteten Geo-Informationssystem. Das Simulatormodul selbst wurde als Anwendungsprogramm für MS-Windows® in der Programmiersprache Delphi® (Pascal) entwickelt.

2. Systemaufbau

Das PSM-Informationssystem besteht im Wesentlichen aus drei Komponenten (Abb. 1): dem **GIS-Data-Provider**, dem eigentlichen **Simulator-Modul** sowie dem **Szenario-Editor**. Der gesamte Simulationsprozeß durchläuft die Abfolge

Datenaufbereitung → Simulation → Ergebnisauswertung.

Im ersten Schritt, der Datenaufbereitung, verschneidet der GIS-Data-Provider (ein in Avenue® programmiertes GIS-Skript für ArcView®-GIS) die digitalen Rohdaten, wie z.B. Niederschlag, Bodentyp und Landnutzung, zu einer neuen GIS-Ebene, welche für jede Teilfläche

alle Informationen der Ausgangsdaten enthält. Aus dieser resultierenden Ebene extrahiert der GIS-Data-Provider die für die nachfolgende Simulation erforderlichen Daten.

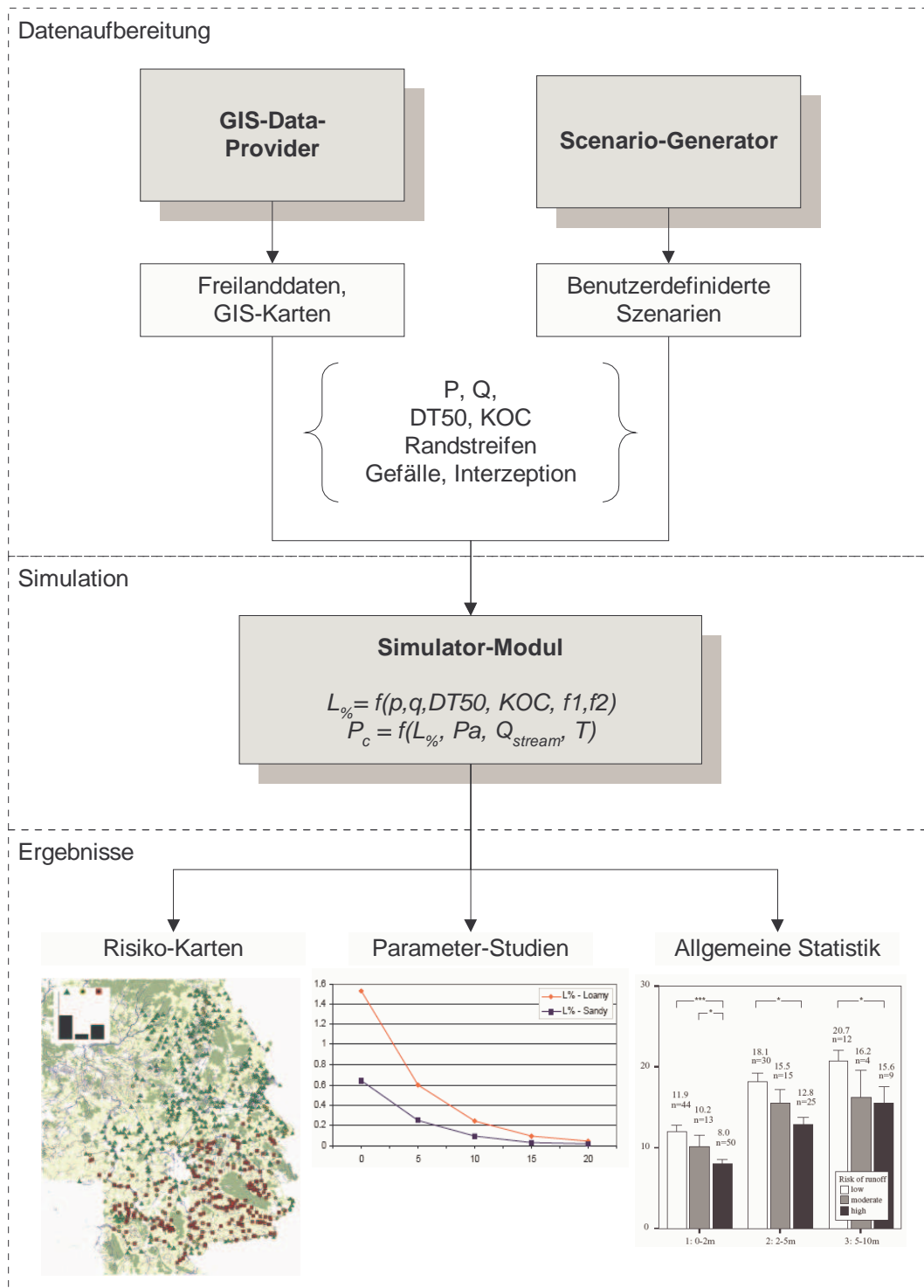


Abb. 1 – PSM-Informationssystem: Systemüberblick.

Die Ausgabedaten des GIS-Data-Providers werden wiederum vom Simulator-Modul importiert und als Grundlage des eigentlichen Simulationsprozesses verwendet. (Abb.2).

Mit Hilfe des in das Simulator-Modul integrierten Szenario-Editors können die Simulationsparameter in weiten Bereichen vom Anwender an bestimmte Vorgaben angepasst werden. So wird z.B. die Pflanzen-Interzeption standarmäßig in Abhängigkeit von Datum und Anbaufrucht anhand einer hinterlegten Szenario-Tabelle bestimmt. Diese Tabelle kann vom Anwender geändert werden. Hiermit ist eine Anpassung der Simulation an verschiedene Anbaubereiche mit unterschiedlichen Anbaufrüchten leicht möglich. Weiterhin kann eine Kombination aus real erhobenen und experimentellen Parametern verwendet werden, um z.B. die Auswirkungen stärkerer Niederschläge auf eine bestimmte Ackerfläche zu untersuchen.

Die Simulationsergebnisse werden in Tabellenform exportiert und können anschließend zur Analyse des Einflusses einzelner Parameter sowie zur Darstellung von PSM-Risikokarten (per GIS) verwendet werden (Abb. 1).

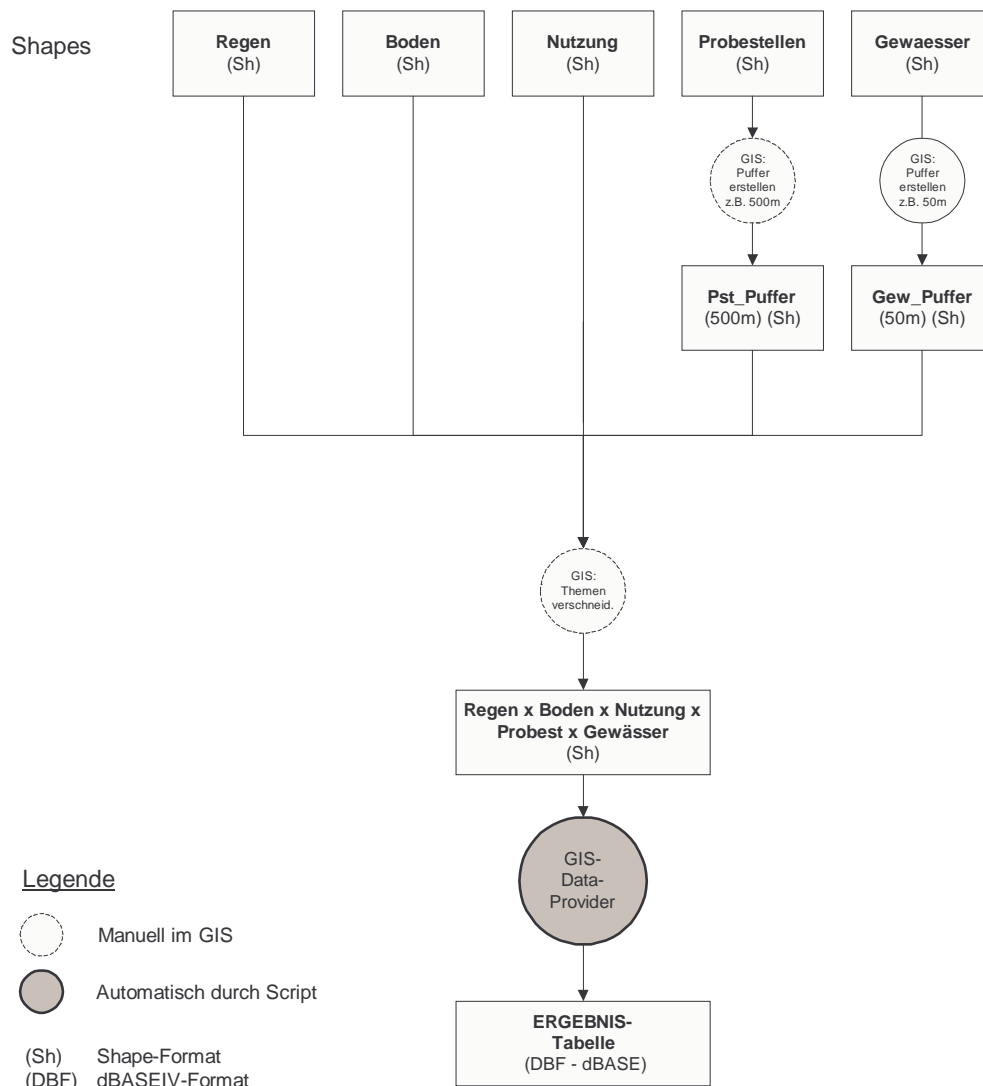


Abb. 2 Schema der Datenaufbereitung per GIS. Pufferung der Probestellen und Gewässer und Verschneidung mit den Regen-, Boden- und Nutzungsdaten. Extraktion der Umweltdaten durch den GIS-Data-Provider.

3. Grundlagen der Simulation

Das Simulatormodul berechnet das PSM-Eintragsrisiko durch ein mit $L_{\%runoff}$ bezeichnetes Teilmodell des von der OECD (OECD 2000) vorgeschlagenen Modells REXTOX (Ratio of Exposure to Toxicity). Das Teilmodell stellt eine Spezialisierung der Modelle von Lutz (Lutz 1984) und Maniak (Maniak 1992) zur Berechnung des Runoff-Volumens in Abhängigkeit vom Niederschlag dar. $L_{\%runoff}$ bezeichnet den prozentualen Anteil von PSM, der über den Oberflächenabfluss (Runoff) ins Gewässer eingetragen wird. Dieser ist abhängig vom Runoff-Volumen im Verhältnis zur Regenmenge, dem Gefälle, der Breite des Randstreifens sowie stoffspezifischen Eigenschaften (Formel 1).

$$L_{\%runoff} = \left(\frac{Q}{P} \right) * Cr_{soil_surface} * f1_{slope} * f2_{bufferzone} * 100$$

Formel 1 – Berechnung des prozentualen PSM-Verlusts durch Runoff nach (OECD 2000).

- $L_{\%runoff}$ = Percentage of application dose available in runoff-water as dissolved substance
 Q = Runoff amount [mm] according the model of Lutz and Maniak (1984, 1992)
 P = Precipitation amount [mm]
 DT_{50soil} = Half-life time of in soil

$$Cr_{soilsurface} = e^{\left(\frac{-3 * \ln(2)}{DT_{50soil}} \right)} * \left(\frac{1}{(1 + K_d)} \right) * (1 - plantinterception/100)$$

$$K_d = (K_{oc} * \%OC) / 100$$

$$f1_{slope} = 0.02153 * slope + 0,001423 * slope^2 \quad ; \text{if slope} < 20\%$$

$$f1_{slope} = 1 \quad ; \text{if slope} \geq 20\%$$

$$f2_{bufferzone} = 0,83^{buffer-width}$$

Literatur

Lutz, W. 1984: „Berechnung von Hochwasserabflüssen unter Anwendung von Gebietskenngrößen“. Mittlg. Inst. Hydrologie Wasserwirtschaft, Univ. Karlsruhe, Heft 24

Maniak, U. 1992: „Regionalisierung von Parametern für Hochwasserabflußganglinien“. In: Regionalisierung der Hydrologie (H.B. Kleeberg), DFG, Mittlg. Senatskomm. für Wasserf. 11, S. 325-332

OECD. 2000: “Report of the OECD Pesticide Aquatic Risk Indicators Expert Group“, 2000
<http://www.oecd.org/pdf/M00027000/M00027912.pdf>,
<http://www.oecd.org/pdf/M00027000/M00027917.pdf>

1.5 Benutzerhandbuch

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	73
2. Grundlagen.....	74
2.1 Systemüberblick	74
2.2 Simulationsverfahren	75
3. Eingangsdaten erzeugen	76
3.2 Der Szenario-Editor	84
4. Arbeiten mit dem PSM-Informationssystem.....	87
5. Anwendungsbeispiele.....	94
5.1 Beispiel 1: Erstellung von Risikokarten mit ArcView®.....	94
5.2 Beispiel 2: Einflusses der Randstreifenbreite auf das Eintragsrisiko.....	98
6. Datenformate.....	100
6.1 Import-Schnittstelle.....	100
7. Installation des PSM-Simulators.....	101
8. Technische Voraussetzungen.....	103

Aus dem Abschlußbericht zum Vorhaben:

**Informationssystem zur ökotoxikologischen Bewertung der Gewässergüte in Bezug auf
Pflanzenschutzmitteleinträge aus der Landwirtschaft**

BMBF-Förderkennzeichen: 0339804

Im Internet unter <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb04/381683206.pdf>
(TIB: Technische Informationsbibliothek, Universitätsbibliothek Hannover).

Benutzerhandbuch

Stand 30.01.2003



Technische Universität Braunschweig
Zoologisches Institut
AG Limnologie und Ökotoxikologie
Fasanenstr. 3
38102 Braunschweig
Tel. 0531-391-3156

1. Einleitung

Im Rahmen des BMBF-Forschungsprojekts (Förderkennzeichen: 0339804) wurde ein GIS-gestütztes Informationssystem zur *Abschätzung potenzieller Risiken für PSM-Einträge in kleinere bis mittlere Fließgewässer im landwirtschaftlich geprägten Umfeld* entwickelt. Das System kann sowohl auf einzelne Stellen bzw. Flächen als auch im Landschaftsmaßstab angewendet werden.

Da die Gewässerbeprobung – insbesondere auf Landschaftsebene – einen erheblichen Zeit- und Kostenfaktor darstellen kann, wurden ausschließlich bereits erhobene und öffentlich verfügbare Daten verwendet.

Für die Bestimmung des PSM-Eintragsrisikos wurde die *Simplified formula for indirect loadings caused by runoff* (siehe auch Abschnitt 2) verwendet. Sie stellt eine Anpassung eines Teilmodells des von der OECD Pesticide Aquatic Risk Indicators Group (OECD 2000) vorgeschlagenen Modells REXTOX (**R**atio of **EX**posure to **TOX**icity) dar.

Die entwickelten Methoden und Verfahren sollten als möglichst einfach anwendbare PC-Software umgesetzt werden und so die Anwendung bei Behörden und Ingenieurbüros ermöglichen. Die Verwendung eines standardisierten Berechnungsverfahrens und öffentlich verfügbarer Daten soll ferner die Übertragbarkeit auf Gebiete mit ähnlicher Datenqualität erleichtern und den Anwendern einen möglichst einfachen Zugang zu den erforderlichen Daten ermöglichen.

Über dieses Dokument

Das vorliegende Benutzerhandbuch soll die Systemfunktionen erläutern sowie beispielhaft die Verwendung des PSM-Simulators darstellen. Es richtet sich an Benutzer, die bereits über Erfahrungen im Umgang mit ArcView® verfügen.

Neben den Grundlagen der Simulation wird die Datenaufbereitung per GIS, die eigentliche Simulation sowie die Darstellung der Ergebnisse als PSM-Risikokarten (wiederum per GIS) erläutert.

Weitere Informationen zur Datenaufbereitung per GIS finden Sie auch in der „Arbeitsanweisung zum Erstellen von Gütekarten“.

Für Informationen zu Tabellenstrukturen siehe auch die technische Dokumentation.

Zur Installation sollte ggf. ein Systemadministrator bzw. EDV-Beauftragter hinzugezogen werden.

2. Grundlagen

2.1 Systemüberblick

Im Folgenden soll ein grober Überblick über die Struktur des PSM-Informationssystems gegeben werden. Das System besteht im Wesentlichen aus den Komponenten **GIS-Data-Provider**, **Szenario-Editor** sowie dem eigentlichen **Simulator** (Abb. 1).

Vor der Anwendung des Systems müssen die **erforderlichen Umlanddaten** für das Untersuchungsgebiet, wie z.B. Bodentyp, Gefälle, Niederschlagsmenge, Landnutzungs-Formen, PSM (Stoff, Menge und Eigenschaften), beschafft und für die Nutzung durch ein Geo-Informationssystem (GIS) aufbereitet werden (Technische Dokumentation). Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde das GIS ArcView® 3.2 (ESRI, Redlands, CA, USA) verwendet.

Nachdem die Rohdaten in das GIS importiert wurden, kombiniert (verschneidet) das **GIS-Data-Provider**-Modul die einzelnen Informationsebenen zu einer resultierenden Ebene. Diese enthält die für die Simulation relevanten Eingangsparameter. Die Ausgabedaten des GIS-Data-Providers können direkt vom Simulator-Modul importiert werden.

Das **PSM-Simulator**-Modul berechnet, basierend auf einem OECD-Modell, das PSM-Eintragsrisiko. Die Berechnung kann über benutzerdefinierbare Standard-Szenarien konfigurierbar werden. So wird z.B. die Pflanzen-Interzeption in Abhängigkeit von Datum und Anbaufrucht anhand einer hinterlegten Szenario-Tabelle bestimmt.

Mit Hilfe des **Szenario-Editors** können benutzerdefinierte Szenarien für landwirtschaftliche Flächen erstellt werden. Verschiedene Parameter, wie z.B. Interzeption, Niederschlagsmenge, Randstreifenbreite und Gefälle, können vom Benutzer angepasst und zur Simulation verwendet werden.

Die **Simulationsergebnisse** werden vom Simulator in Form von Standard-Tabellen (dBASE®) exportiert und können anschließend zur Analyse des Einflusses einzelner Parameter (Excel®, SPSS®) sowie zur Darstellung von PSM-Risikokarten (GIS) verwendet werden (Abb. 1).

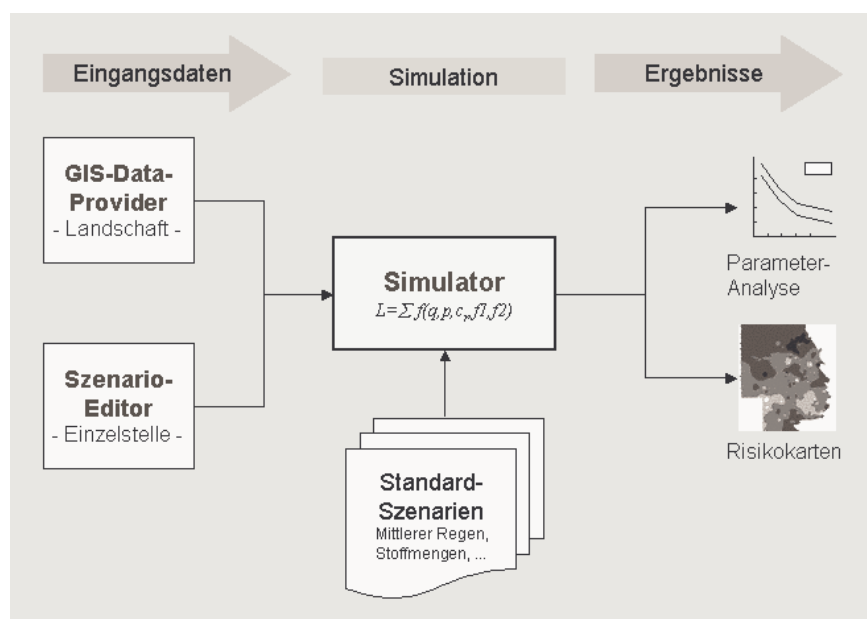


Abb. 1 - PSM-Informationssystem: Systemüberblick.

2.2 Simulationsverfahren

Die Simulation des PSM-Eintragsrisikos erfolgt durch ein mit $L_{\%runoff}$ bezeichnetes Teilmmodell des von der OECD (OECD 2000) vorgeschlagenen Modells **REXTOX** (**R**atio of **EX**posure to **TOX**icity).

Das hier verwendete OECD-Modell stellt eine Spezialisierung der von Lutz (Lutz 1984) und Maniak (Maniak 1992) vorgeschlagenen Verfahren zur Berechnung des Runoff-Volumens in Abhängigkeit vom Niederschlag dar.

$L_{\%runoff}$ bezeichnet dabei den prozentualen Anteil von PSM, der über den Oberflächenabfluss (Runoff) ins Gewässer eingetragen wird. Dieser ist abhängig vom Runoff-Volumen im Verhältnis zur Regenmenge, dem Gefälle, der Breite des Randstreifens sowie weiteren, stoffspezifischen Eigenschaften (Formel 1).

$$L_{\%runoff} = \left(\frac{Q}{P} \right) * Cr_{soil_surface} * f1_{slope} * f2_{bufferzone} * 100$$

Formel 1 – Berechnung des prozentualen PSM-Verlusts durch Runoff nach (OECD 2000).

$L_{\%runoff}$ = Percentage of application dose available in runoff-water as dissolved substance

Q = Runoff amount [mm] according the model of Lutz and Maniak (1984, 1992)

P = Precipitation amount [mm]

DT_{50soil} = Half-life time of in soil

$$Cr_{soilsurface} = e^{\left(\frac{-3 * \ln(2)}{DT_{50soil}} \right)} * \left(\frac{1}{(1 + K_d)} \right) * (1 - plantinterception/100)$$

$$K_d = (K_{oc} * \%OC) / 100$$

$$f1_{slope} = 0.02153 * slope + 0,001423 * slope^2 \quad ; \text{if slope} < 20\%$$

$$f1_{slope} = 1 \quad ; \text{if slope} \geq 20\%$$

$$f2_{bufferzone} = 0,83^{buffer-width}$$

3. Eingangsdaten erzeugen

Nachfolgend wird beschrieben, welche Schritte erforderlich sind, um ein GIS-Projekt in ArcView® anzulegen, mit dessen Hilfe eine zum Simulator kompatible Eingabetabelle erzeugt werden kann. Es wird davon ausgegangen, dass alle Dateien bereits im Shape-Format vorliegen.

3.1 Geo-Informationssystem und GIS-Data-Provider

ArcView® starten

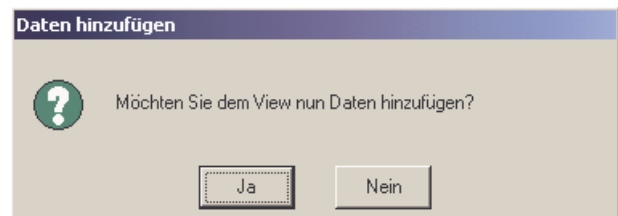
Starten Sie zunächst ArcView. Sie finden das Programm normalerweise im Startmenü unter „Programme\ESRI\ArcView GIS“.

Projekt und View anlegen

Wählen Sie im angezeigten Dialog unter „Neues Projekt erstellen“ die Option „mit einem neuen View“ und bestätigen Sie mit „OK“.



ArcView® legt ein neues Fenster (View) an und fragt, ob Sie Daten (Themen) hinzufügen möchten. Bestätigen Sie mit „Ja“.

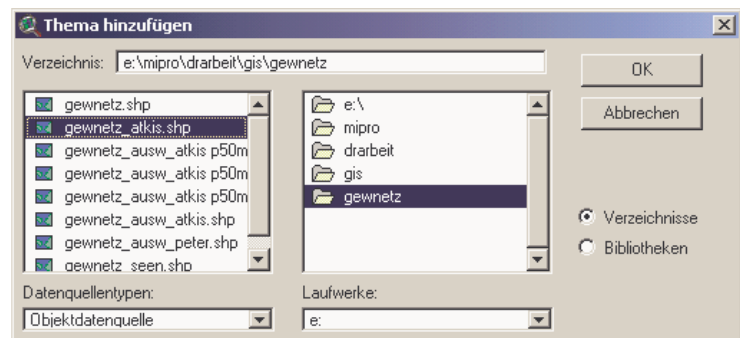


Themen importieren

Der Dialog „Thema hinzufügen“ wird angezeigt. Wählen Sie jetzt das Laufwerk bzw. das Unterverzeichnis, in dem sich die Dateien befinden.

Hinweis:

Um Shape-Themen anzuzeigen, muss „Datenquellentypen“ auf „Objektdatenquelle“ eingestellt werden.



Fügen Sie Ihrem Projekt jetzt folgende Themen hinzu (diese müssen Sie zuvor für das zu bearbeitende Gebiet erworben/vorbereitet haben):

- Probestellen
- Gewässernetz
- Landnutzung
- Bodentypen
- Niederschlag

Der Prototyp des Informationssystems wurde an die den Daten folgender Institutionen angepasst:

Daten	Quelle	Umfang	Zeitraum	Auflösung	Format
Probestellen	NLWK	214 Stellen	1985-1999	-	Digital
Gewässer	LGN	BS-Umland	1999	1:25.000	Digital
Landnutzung	LGN	BS-Umland	1999	1:25.000	Digital
Boden	NLFB	BS-Umland	1999	1:50.000	Digital
Niederschlag	DWD	BS-Umland	1985-1999	Täglich [mm]	Digital

Tabelle 1 - Eingangsdaten.

Abkürzungen:

DWD Deutscher Wetterdienst
Internet: <http://www.dwd.de/>

LGN Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen („ATKIS“-Daten)
Internet: <http://www.lgn.de/>

NLFB Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung
Internet: <http://www.nlfb.de/>

NLWK Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft und Küstenschutz
Internet: <http://www.nlwk.de>

Hinweis: Stellen Sie sicher, dass die Feld-Typen und Namen der verwendeten Daten mit denen der Importschnittstelle des Simulators übereinstimmen. Zur Importschnittstelle siehe auch die technische Dokumentation (Endbericht, Abschnitt 3.7.).

Datenformate und Bezeichnungen der verwendeten Daten

Folgende Shapes bzw. Felder werden vom „GIS-Data-Provider“ vorausgesetzt:

Probestellen-Shape

Feldname	Typ	Beschreibung	Bemerkung
MESSTNR	Text	Offizielle NLWK-Nummer	z.B. {48282706, ...}
NAME	Text	Messtellename	z.B. {Hagenriede, ...}
INT_BEZ	Text	Interner (Stawa-) Name/Nr.	z.B. {CE001, 191a, ...}
RECHTSWERT	Numerisch	Rechtswert	Gauss-Krüger RW
HOCHWERT	Numerisch	Hochwert	Gauss-Krüger HW

Regen-Shape

Feldname	Typ	Beschreibung	Bemerkung
GRIDCODE	Numerisch	Regenwert [mm]	Durschn. >= 6mm

Boden-Shape

Feldname	Typ	Beschreibung	Bemerkung
HNBOD	Text	Bodenart (NLFB)	{Vn, Vb, Vbn, ...}
BOATYP	Text	Bodenart (NLFB)	{Gt, Ls, ...}
NEIG	Text	Neigungsklasse (NLFB)	{N0...N6}
HUMUS	Text	Humus (NLFB)	{h1...h6, H}

Nutzungs-Shape

Feldname	Typ	Beschreibung	Bemerkung
OBJART	Text	Art der Landnutzung (ATKIS)	{Ackerland, Wald Forst, ...}

Gesamt-Shape

Das Ergebnisthema, welches alle verschnittenen Einzelthemen enthält, muss um folgende Felder ergänzt werden:

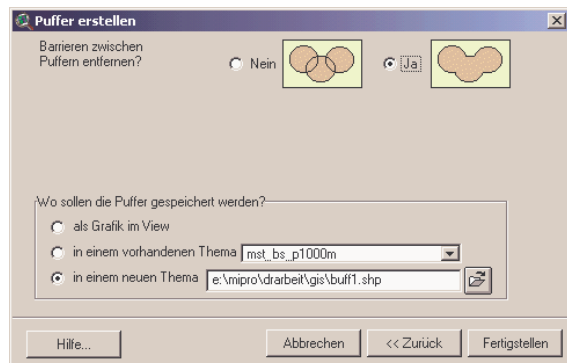
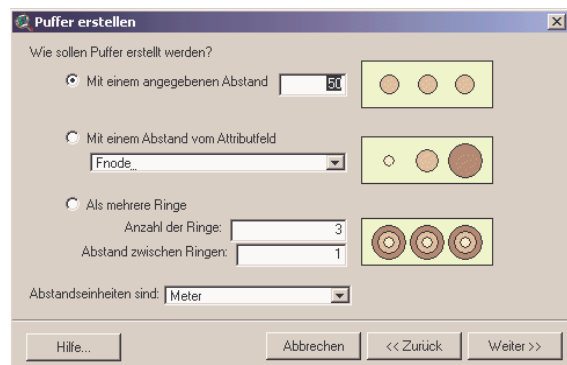
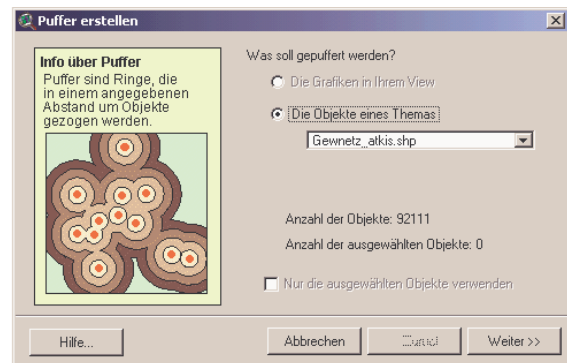
Feldname	Typ	Beschreibung	Bemerkung
AREA	Numerisch	Fläche [m ²] der Teilfläche	Neu berechnen nach Verschneidung mit Skript „Berechne_Area“!

Hinweise: Den Quellcode des GIS-Data-Providers finden Sie in der technischen Dokumentation.

Puffer anlegen

Nachfolgend werden die Einzugsgebiets-Puffer für das Gewässer- sowie das Probestellen-Thema erstellt. Wählen Sie dazu den Menü-Befehl „Thema|Puffer erstellen“.

1. Wählen Sie zunächst das Gewässertema aus.
2. Als Abstand kann ein Streifen von 50m Breite beidseitig des Gewässerverlaufs gewählt werden.
3. Im dritten Dialog wählen Sie die Option „in einem neuen Thema“. Vergeben Sie zusätzlich einen Namen, wie z.B. „Gewässer_Puffer.shp“.
4. Über die Schaltfläche „Fertigstellen“ wird der neue Puffer erzeugt.



Verfahren Sie analog für das Probestellen-Thema. Wählen Sie hier jedoch den Abstand des Umlandpuffers mit 1000m (bzw. 500m).

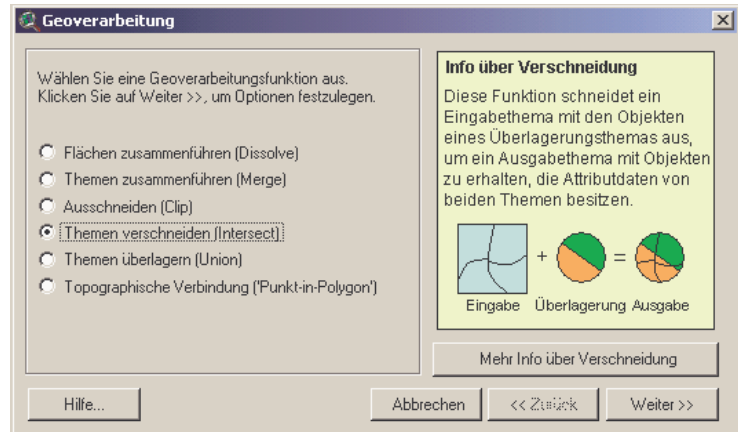
Hinweis: Die Abstände von 50m für den Gewässerpuffer bzw. 1000m für den Probestellenpuffer können variiert werden, um z.B. die Auswirkung des näheren oder weiteren Umlands zu ermitteln.

Themen verschneiden

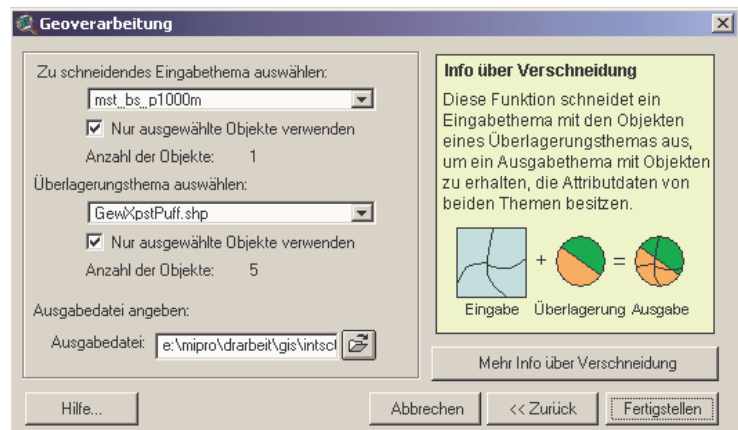
Nach dem Anlegen der Puffer für die Gewässer- und Probestellen-Themen liegen Ihnen nun alle Informationen in der benötigten Form vor. Im nächsten Schritt werden alle Einzelthemen zu einem Ergebnisthema verschneiden.

Öffnen Sie zunächst über den Menübefehl „View|Assistent zur Geoverarbeitung“ den Assistenten zur Geo-Verarbeitung.

Hinweis: Um den Assistenten für Geo-Verarbeitung verwenden zu können, muss dieser unter „Datei|Erweiterungen...“ zunächst als GIS-Erweiterung angemeldet werden.



Wählen Sie „Themen verschneiden (Intersect)“ und klicken Sie auf „weiter >>“. Sie werden zur Auswahl der zu verschneidenden Themen aufgefordert:



Geben Sie unter „Ausgabedatei“ einen Namen für das resultierende Thema an und klicken Sie auf „Fertigstellen“.

Folgende Themen müssen schrittweise verschnitten werden:

- Probestellenpuffer
- Gewässerpuffer
- Regen
- Boden
- Nutzung

Dabei wird immer das Verschneidungsergebnis zweier Themen mit dem nächsten verschnitten:

Probestellenpuffer × Gewässerpuffer → (PstPuffer × GewPuffer)
 × Regen → (PstPuffer × GewPuffer × Regen)
 × Boden → (PstPuffer × GewPuffer × Regen × Boden)
 × Nutzung → (PstPuffer × GewPuffer × Regen × Boden × Nutzung)

Erläuterung: „×“ = Verschneidung / „(1 × 2)“ = Thema 1 verschnitten mit Thema 2 zu Gesamtthema.

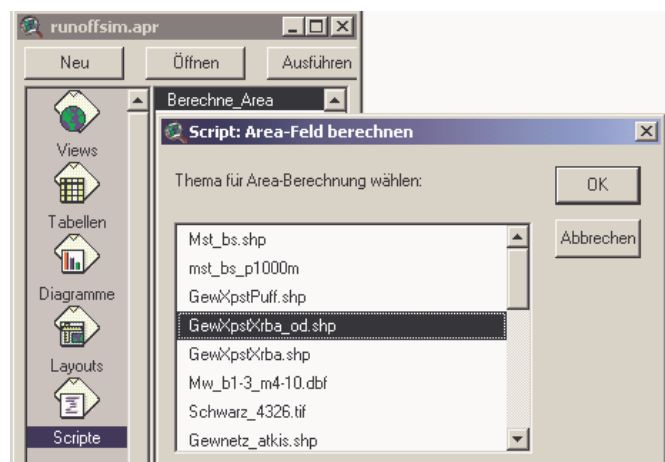
Nach dem Verschneidungsprozess finden Sie in Ihrem Projekt ein neues Thema, welches alle Informationen der zuvor verschnittenen Themen enthält.

Hinweis: Bitte stellen Sie sicher, dass die Feld-Typen und Namen der verwendeten Daten mit denen der Importschnittstelle des Simulators übereinstimmen. Zur Importschnittstelle siehe auch die technische Dokumentation (Endbericht, Abschnitt 3.7).

Flächengröße neu berechnen

Um korrekte Simulationsergebnisse zu erhalten, müssen die Flächengrößen der Teilflächen des Ergebnisthemas neu berechnet werden. Sie können dazu das mitgelieferte Skript „Berechne_Area“ verwenden.

1. Wählen Sie im Projektfenster „Scripte“ und hier das Skript „Berechne_Area“.
2. Klicken Sie anschließend auf die Schaltfläche „Ausführen“:

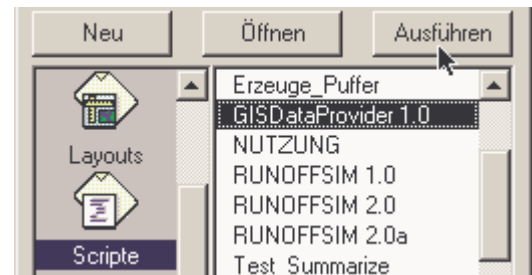


3. Wählen Sie im Auswahlfenster des Skripts das von Ihnen erzeugte Thema mit den Informationen aller Themen (im Beispiel GewXPstXRBA.shp) und klicken Sie auf „OK“. Die Flächen werden daraufhin neu berechnet.

GIS-Data-Provider starten

Mit Hilfe des GIS-Data-Providers werden die für die Simulation benötigten Daten aus dem Gesamt-Thema extrahiert und in eine Tabelle exportiert, die vom Simulator-Modul importiert werden kann.

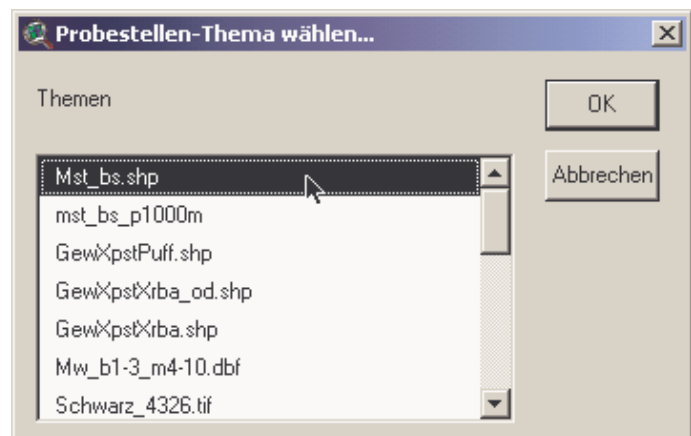
1. Wählen Sie im Projektfenster „Scripte“ und hier das Skript „GISDataProvider“.



2. Wählen Sie in der daraufhin angezeigten Auswahlliste nacheinander die Themen:

- Probestellen
- Probestellen-Puffer
- (Gewässer-Puffer × Probestellen-Puffer)
- (Gewässer-Puffer × Probestellen-Puffer × Regen × Boden × Nutzung)

Erläuterung: „(1 × 2)“ bedeutet Thema 1 verschnitten mit Thema 2 zu Gesamthema.



Anschließend wird die Berechnung durchgeführt.

PstNr=77 von 771 / MSTNR=48182010

3. Nachdem die Berechnung beendet ist, finden Sie die Ergebnistabelle im Verzeichnis „C:\Temp“ unter dem Namen „gis_data.dbf“.

gis_data	MESSSTNR	INT_Bf	DATUM	UHRZE	RW	HW	AREA	OBJART	NEIG	HNBOB
1	48282706	316	15.07.2000	09:00	3610181	5799317	12,15	Ackerland	N1	mSts
2	48282706	316	15.07.2000	09:00	3610181	5799317	103,38	Ackerland	N0	Slu
3	48282706	316	15.07.2000	09:00	3610181	5799317	219,64	Ackerland	N0	Sl3
4	48282706	316	15.07.2000	09:00	3610181	5799317	462,79	Ackerland	N1	mSts
5	48282706	316	15.07.2000	09:00	3610181	5799317	473,82	Ackerland	N0	Sl3
6	48282706	316	15.07.2000	09:00	3610181	5799317	765,53	Ackerland	N2	Lt2
7	48282706	316	15.07.2000	09:00	3610181	5799317	843,16	Ackerland	N1	mSts
8	48282706	316	15.07.2000	09:00	3610181	5799317	2.840,53	Ackerland	N0	Sl3
9	48282706	316	15.07.2000	09:00	3610181	5799317	3.486,85	Ackerland	N1	mSts
10	48282706	316	15.07.2000	09:00	3610181	5799317	3.993,99	Ackerland	N0	Sl3
11	48282706	316	15.07.2000	09:00	3610181	5799317	4.181,99	Ackerland	N0	Slu
12	48282706	316	15.07.2000	09:00	3610181	5799317	4.826,79	Ackerland	N1	mSts
13	48282706	316	15.07.2000	09:00	3610181	5799317	5.140,41	Ackerland	N0	Sl3
14	48282706	316	15.07.2000	09:00	3610181	5799317	5.360,55	Ackerland	N0	Sl3
15	48282706	316	15.07.2000	09:00	3610181	5799317	5.836,02	Ackerland	N0	Sl3
16	48282706	316	15.07.2000	09:00	3610181	5799317	6.053,78	Ackerland	N1	mSts

Die exportierte Tabelle liegt im dBASE-Format vor.

PSM-Eigenschaften eintragen

Die vom GIS-Data-Provider erzeugte Ergebnistabelle enthält neben den Umlandinformationen bereits Felder für drei PSM-Wirkstoffe. In der aktuellen Version kann der Simulator bis zu 15 Wirkstoffe berücksichtigen. Um die PSM-Werte für die Simulation einzutragen können Sie wie folgt vorgehen:

1. Öffnen Sie die Ergebnistabelle mit einem geeigneten Programm, wie z.B. dBASE für Windows® oder Excel®.
2. Geben Sie in das Feld P1_NAME den Namen des ersten Wirkstoffs ein.

P1_NAME	P1_MENGE	P1_D	P1_KOC	P2_NAME
Ethofumesat	0,00	3,00	0,00	Azoxystrobin
Ethofumesat	0,00	3,00	0,00	Azoxystrobin
Ethofumesat	0,00	3,00	0,00	Azoxystrobin

Die Felder enthalten folgende Daten:

- P1_Name Name des ersten Wirkstoffs
- P1_Menge Anwendungsmenge des ersten Wirkstoffs [g/m²]
- P1_D Zeitdauer zwischen Anwendung und Regenereignis [d]
- P1_KOC KOC-Wert des Wirkstoffs
-
- P15_Name Name des 15. Wirkstoffs

Hinweis: (1) Die Namen der verwendeten Wirkstoffe müssen mit der Wirkstoffliste in der Tabelle „sc_psm.dbf“ übereinstimmen

(2) Das Feld „KOC“ muss nicht ausgefüllt werden, die Daten werden vom Simulator aus der Tabelle „sc_psm.dbf“ bezogen.


Die Tabelle „sc_psm.dbf“ enthält momentan folgende Wirkstoffe (diese können über geeignete Programme frei verändert werden):

sc_psm	SCENARIO	SUBSTANZ	GRUPPE	KOC	DT50
1	01 - Standard	Epoxiconazol	f	442,00	310,00
2	01 - Standard	Ethofumesat	h	182,00	62,50
3	01 - Standard	Isoproturon	h	140,00	34,00
4	01 - Standard	Azoxystrobin	f	143,00	17,50
5	01 - Standard	Chloridazon	h	30,00	35,00
6	01 - Standard	Lindan	i	1.100,00	0,99
7	01 - Standard	Metamitron	h	19,00	12,00
8	01 - Standard	Parathion	i	705,00	16,00
9	01 - Standard	Tebuconazol	f	603,00	200,00
10	01 - Standard	Kresoxim-Methyl	f	421,00	1,75
11	01 - Standard	Pendimethalin	h	5.000,00	0,98
12	01 - Standard	Metribuzin	h	60,00	40,00
13	01 - Standard	Fenpropimorph	f	804,00	54,00
15	01 - Standard	Bifenox	h	1.572,00	16,50
16	01 - Standard	Propiconazol	f	568,00	0,99

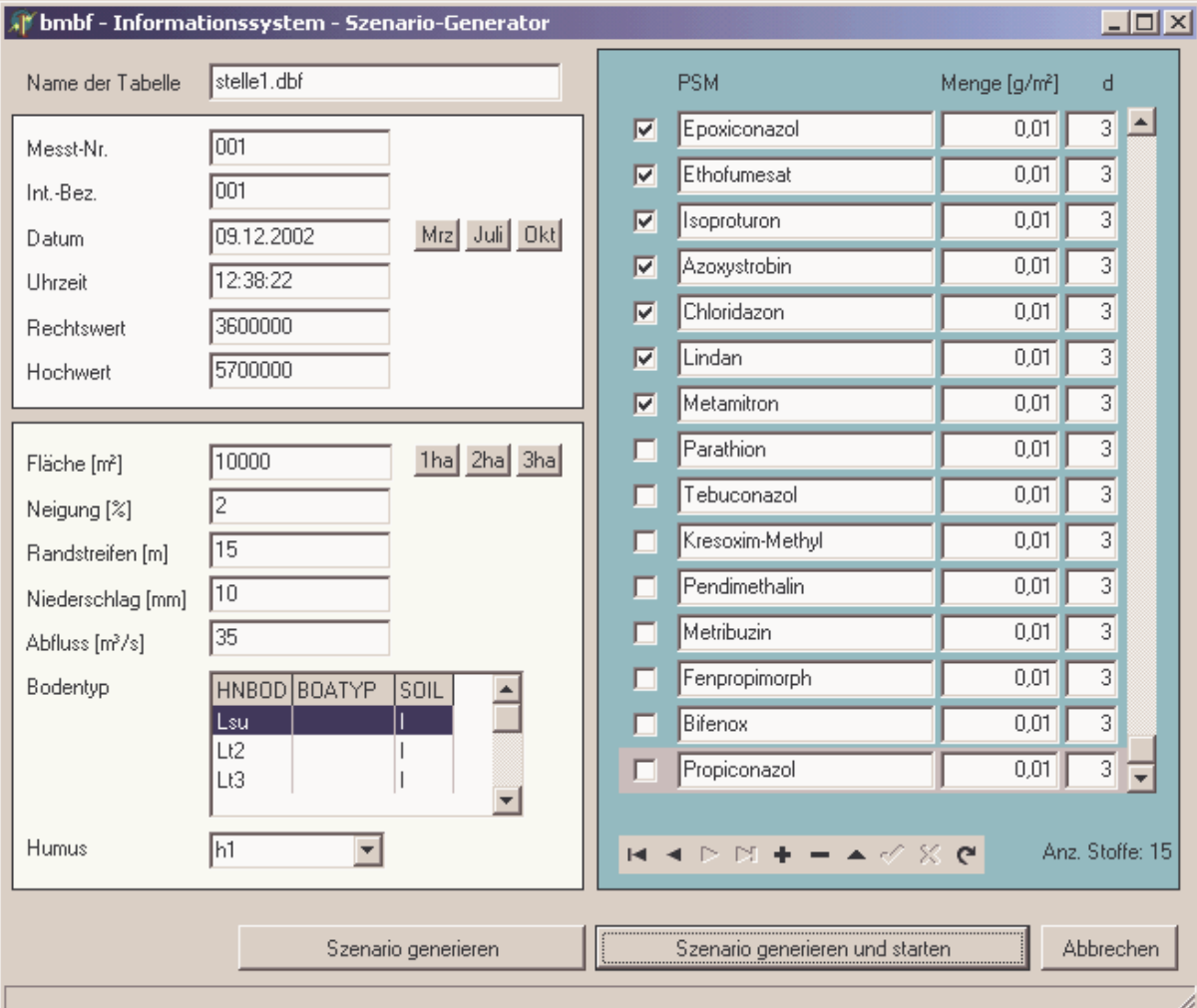
3.2 Der Szenario-Editor

Alternativ zu der beschriebenen Möglichkeit, die Eingangsdaten über GIS zu erzeugen, können mit Hilfe des Szenario-Editors die Umlanddaten und die PSM-Eintragsmenge für eine einzelne Stelle bzw. eine einzelne Fläche simuliert werden. Der Szenario-Editor erzeugt dazu – ähnlich dem GIS-Data-Provider - eine Tabelle in einem zum Simulator kompatiblen Format.

Den Szenario-Editor aufrufen

Um den Editor aufzurufen, klicken Sie auf die Schaltfläche  in der Symbolleiste bzw. wählen Sie den Menüpunkt „Szenario|Szenario generieren“.

Anschließend wird das Fenster des Szenario-Editors dargestellt:



PSM	Menge [g/m²]	d
<input checked="" type="checkbox"/>	Epoxiconazol	0,01 3
<input checked="" type="checkbox"/>	Ethofumesat	0,01 3
<input checked="" type="checkbox"/>	Isoproturon	0,01 3
<input checked="" type="checkbox"/>	Azoxystrobin	0,01 3
<input checked="" type="checkbox"/>	Chloridazon	0,01 3
<input checked="" type="checkbox"/>	Lindan	0,01 3
<input checked="" type="checkbox"/>	Metamitron	0,01 3
<input type="checkbox"/>	Parathion	0,01 3
<input type="checkbox"/>	Tebuconazol	0,01 3
<input type="checkbox"/>	Kresoxim-Methyl	0,01 3
<input type="checkbox"/>	Pendimethalin	0,01 3
<input type="checkbox"/>	Metribuzin	0,01 3
<input type="checkbox"/>	Fenpropimorph	0,01 3
<input type="checkbox"/>	Bifenox	0,01 3
<input type="checkbox"/>	Propiconazol	0,01 3

Abb. Bildschirmansicht des Szenario-Editors mit Eingabemöglichkeit für Umland- und Substanzdaten.

Basisparameter festlegen

Legen Sie zunächst den Namen der zu erzeugenden Tabelle sowie Informationen zur Bezeichnung der Messstelle, Datum, Uhrzeit sowie Rechts- und Hochwert fest.

Bemerkung: Die Datumsangabe wird bei der Berechnung der Pflanzeninterzeption berücksichtigt.

Umlandparameter festlegen

Nachdem die Basisparameter festgelegt wurden, können Sie die Umlandparameter der zu simulierenden Fläche eingeben.

PSM-Substanzen auswählen

Auf der rechten Seite des Fensters finden Sie die Liste der Substanzen, für welche die Simulation durchgeführt werden soll.


Sie können in der aktuellen Version des Simulators maximal bis zu 15 Substanzen gleichzeitig verwenden.

Um eine Substanz zur Simulation auszuwählen, wählen Sie den Haken links vom Stoffnamen aus.

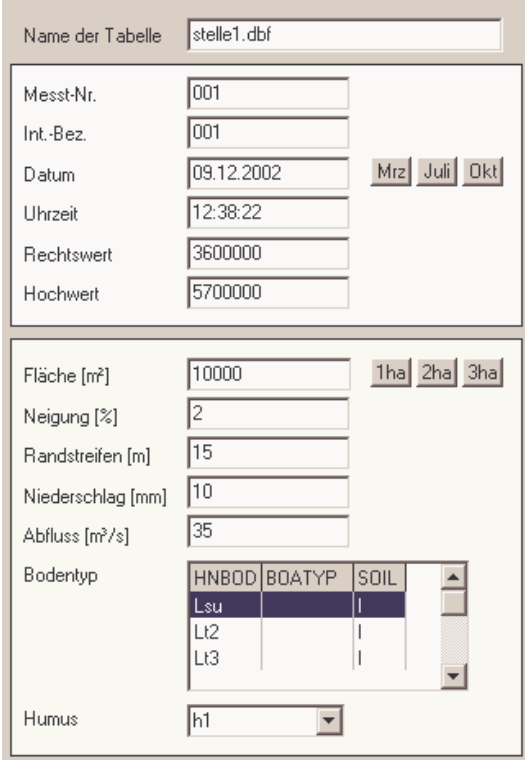
Sie können je Substanz die Anwendungsmenge [g/m²] sowie die Zeit [d] zwischen Applikation und Regenereignis angeben.

Über die Navigationsleiste  können Sie in der Liste vorwärts und rückwärts blättern.

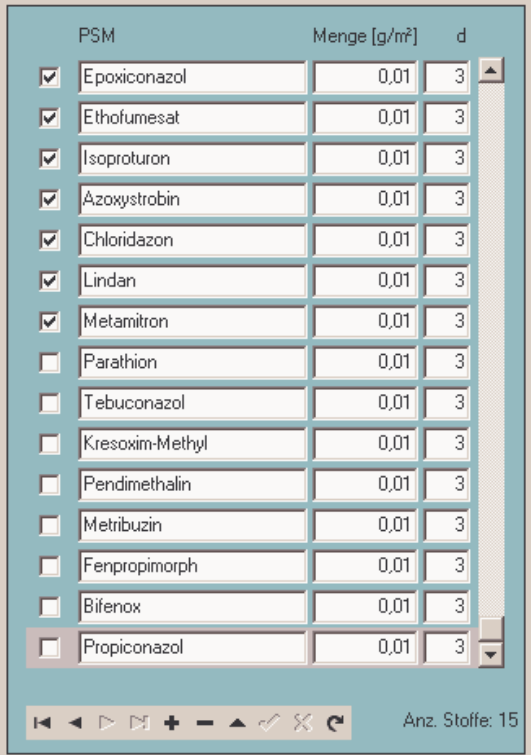
Stoffe hinzufügen/löschen

Über die Schaltflächen  fügen Sie eine neue Substanz hinzu bzw. löschen die aktuell ausgewählte.

Hinweis: Die angezeigten Stoffe entsprechen den Stoffen der Tabelle „sc_psm.dbf“.



Name der Tabelle	stelle1.dbf		
Messst.-Nr.	001		
Int.-Bez.	001		
Datum	09.12.2002	Mrz	Juli
Uhrzeit	12:38:22		
Rechtswert	3600000		
Hochwert	5700000		
Fläche [m ²]	10000	1ha	2ha
Neigung [%]	2		
Randstreifen [m]	15		
Niederschlag [mm]	10		
Abfluss [m ³ /s]	35		
Bodentyp	HNBOD	BOATYP	SOIL
	Lsu		
	Lt2		
	Lt3		
Humus	h1		



PSM	Menge [g/m ²]	d
<input checked="" type="checkbox"/> Epoxiconazol	0,01	3
<input checked="" type="checkbox"/> Ethofumesat	0,01	3
<input checked="" type="checkbox"/> Isoproturon	0,01	3
<input checked="" type="checkbox"/> Azoxystrobin	0,01	3
<input checked="" type="checkbox"/> Chloridazon	0,01	3
<input checked="" type="checkbox"/> Lindan	0,01	3
<input checked="" type="checkbox"/> Metamitron	0,01	3
<input type="checkbox"/> Parathion	0,01	3
<input type="checkbox"/> Tebuconazol	0,01	3
<input type="checkbox"/> Kresoxim-Methyl	0,01	3
<input type="checkbox"/> Pendimethalin	0,01	3
<input type="checkbox"/> Metribuzin	0,01	3
<input type="checkbox"/> Fenpropimorph	0,01	3
<input type="checkbox"/> Bifenox	0,01	3
<input type="checkbox"/> Propiconazol	0,01	3

Anz. Stoffe: 15

Szenario-Tabelle generieren

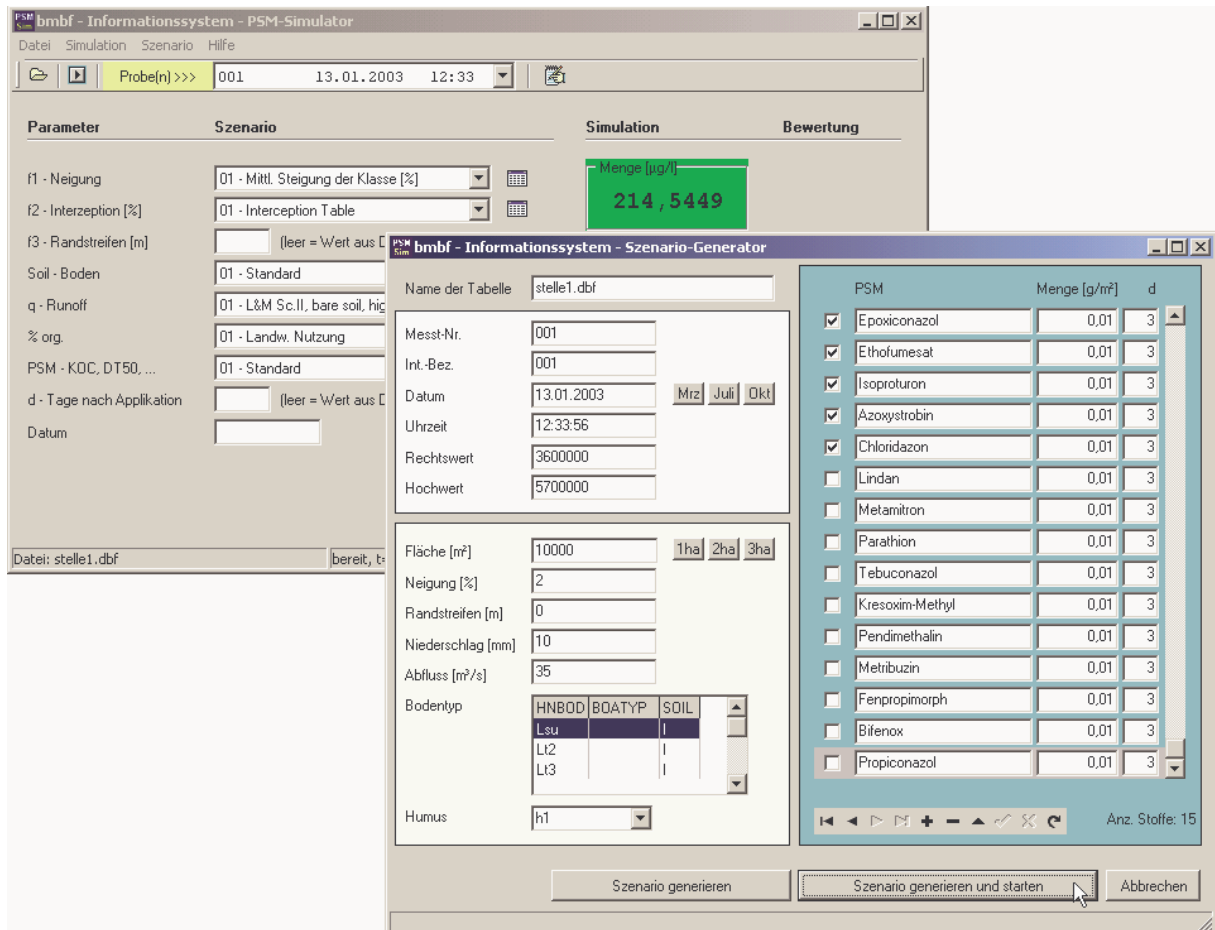
Nachdem die Parameter festgelegt und die Substanzen ausgewählt wurden, erzeugen Sie über die Schaltfläche „Szenario generieren“ die entsprechende Tabelle mit unter „Tabellenname“ angegebenen Namen.

Sie finden die Tabelle im Programmverzeichnis des Simulator-Moduls (z.B. D:\Programme\PSM-Simulator\).

Simulation direkt starten

Um die Eingabetabelle zu erzeugen und anschließend die Simulation mit dieser Tabelle direkt zu starten, wählen Sie die Schaltfläche „Szenario generieren und starten“


Das Simulationsergebnis (Menge und prozentualer PSM Anteil) werden daraufhin in den grünen Ergebnisfeldern des Simulatorfensters angezeigt (siehe auch „Simulation“).



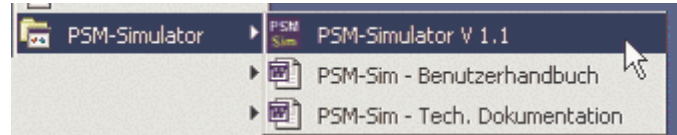
4. Arbeiten mit dem PSM-Informationssystem

Im folgenden Abschnitt wird die praktische Arbeit mit dem Informationssystem beschrieben.

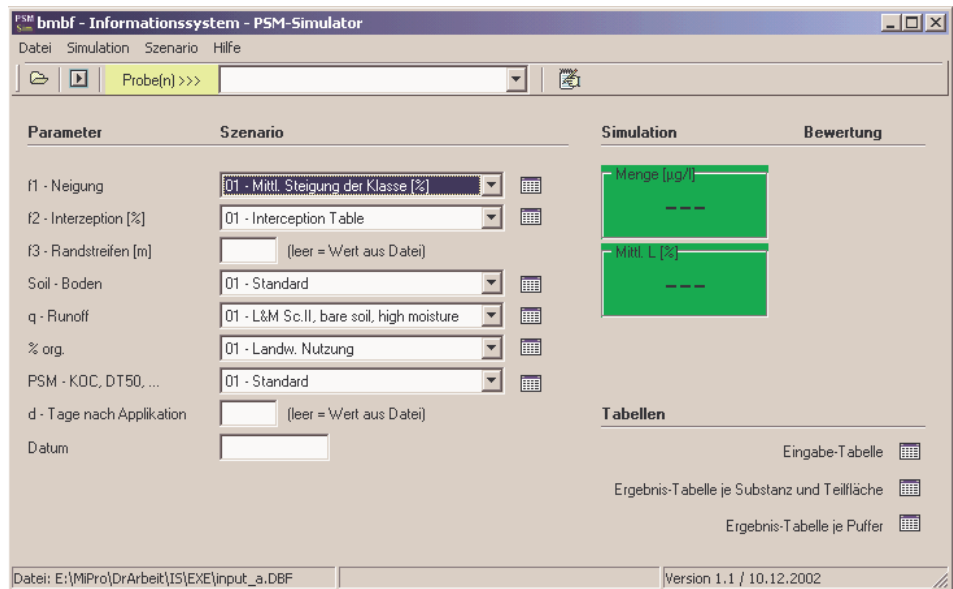
Starten des Systems

⇒ Klicken Sie zum Starten des Programms zunächst auf die  -Schaltfläche, wählen Sie dann unter „**Programme**“ die Gruppe „**PSM-Simulator**“.

⇒ Starten Sie das Programm über den Eintrag „**PSM-Simulator**“.



Nach dem Start wird das Hauptfenster des Simulators angezeigt:

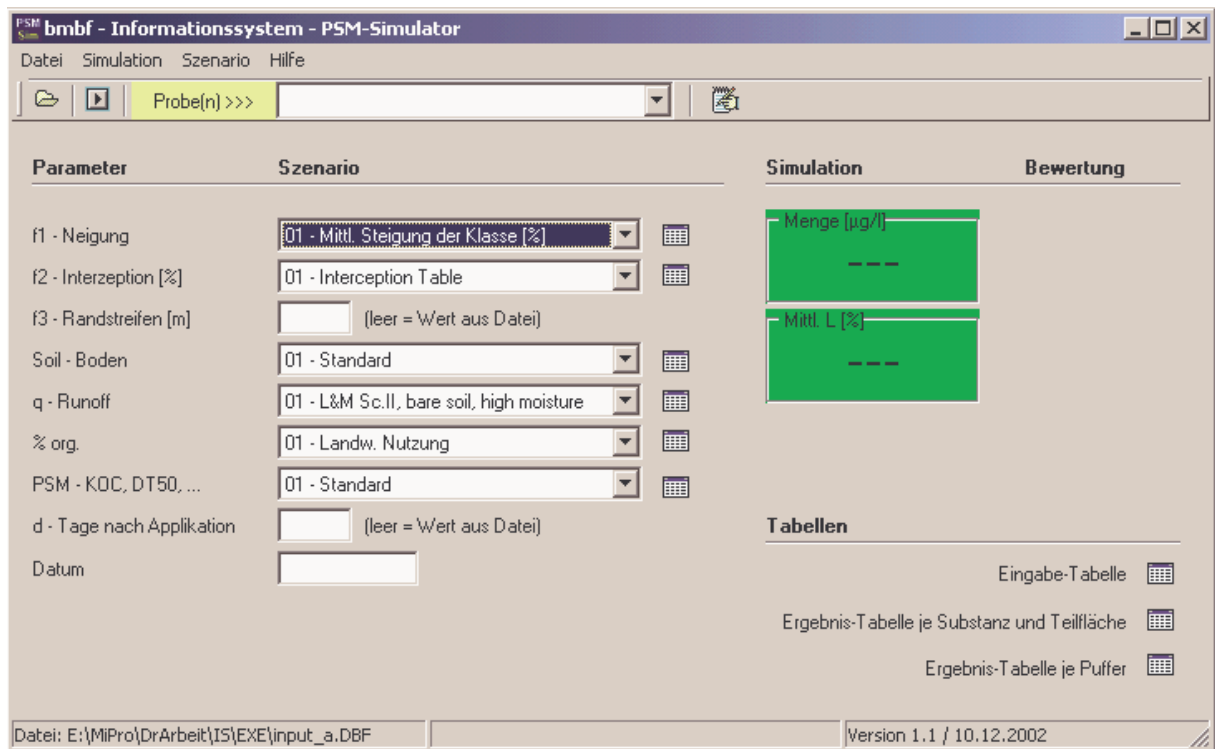


Über den Menüpunkt „Hilfe|Info“ können Sie Informationen zur Programmversion abrufen:




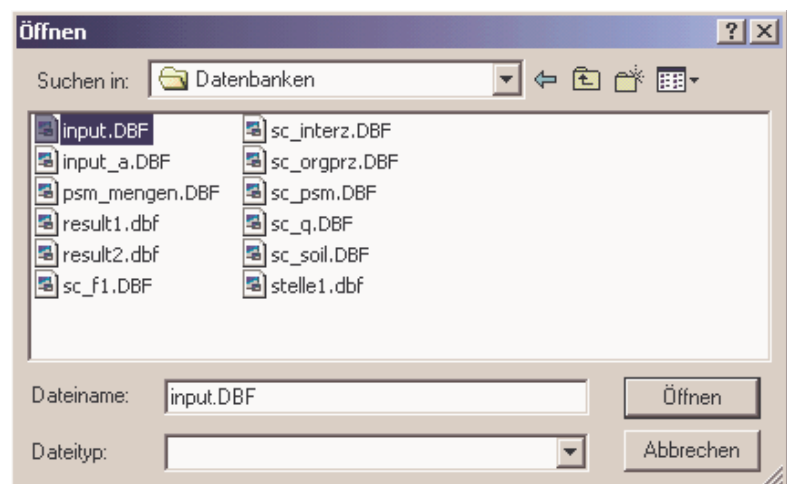
Simulation

Nach dem Start des PSM-Simulator-Moduls wird zunächst das Hauptfenster angezeigt. Dieses ist in mehrere Bereiche unterteilt. Im oberen Bereich befinden sich die Menü- und Symbolleisten für die Programmfunktionen. Im linken Bereich sind die Parameter, welche die Simulation steuern, angeordnet. Im rechten Bereich befinden sich die Anzeigefelder für die Simulationsergebnisse sowie Schaltflächen zum Anzeigen und Editieren der Eingabe- sowie der Ergebnistabellen.



Eingabe-Tabelle öffnen

Um eine Eingabe-Tabelle mit Umlanddaten (aus GIS oder Szenario-Editor) zu öffnen, wählen Sie die Schaltfläche  bzw. den Menüpunkt „Datei|Öffnen“. Der Datei-Auswahldialog wird angezeigt:

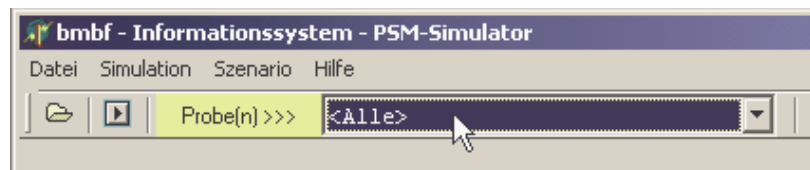


Wählen Sie die Tabelle (z.B. „input.dbf“) und bestätigen Sie mit „Öffnen“. Sie befinden sich anschließend wieder im Hauptfenster des PSM-Simulators.

In der Auswahlliste „Proben >>>“ werden daraufhin alle Probestellen, die in der zuvor gewählten Tabelle enthalten sind, aufgelistet. Sie können jetzt eine PSM-Risiko-Simulation entweder für alle Probestellen oder für eine einzelne Probestelle durchführen.

Alle Stellen zur Simulation auswählen

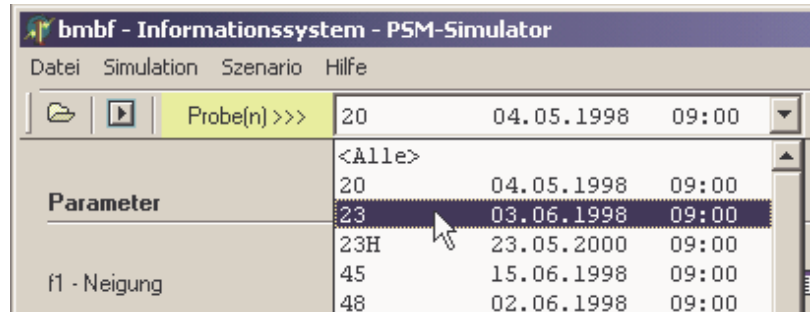
Um eine Simulation für alle in der Eingabetabelle enthaltenen Stellen durchzuführen, wählen sie in der Auswahlliste „Proben“ den Eintrag „Alle“:



Hinweis: „<Alle>“ ist nach dem Öffnen einer Eingabetabelle voreingestellt.

Eine einzelne Stelle zur Simulation auswählen

Wählen Sie in der Auswahlliste „Proben“ die gewünschte Stelle bzw. Probe aus:



Hinweise: Nur bei Auswahl einer einzelnen Stelle wird direkt nach der Simulation das Ergebnis in den grünen Ergebnisfeldern angezeigt. Bei der Simulation mehrerer Stellen wird kein Ergebnis angezeigt. Sie finden die Ergebnisse jedoch in der vom System erzeugten Ergebnistabelle.

Simulationsparameter festlegen

Normalerweise kann direkt nach dem Öffnen der Eingabetabelle bzw. der Auswahl der zu simulierenden Stellen die Berechnung gestartet werden. In den Parameter- und Szenario-Feldern sind bereits Standardwerte voreingestellt. Die Eingabefelder für die Parameter „Randstreifen“, „d – Tage nach Applikation“ und „Datum“ sind zunächst leer.

In der Grundeinstellung wird die Simulation mit den aus dem GIS bzw. Szenario-Editor stammenden (Umland-) Daten, wie z.B. Randstreifenbreite, durchgeführt. Mit den Parametern

besteht die Möglichkeit, diese Werte durch benutzerdefinierte Vorgaben zu „überschreiben“. Beispielsweise kann im Feld „Randstreifenbreite“ ein Wert von 15m eingetragen werden:

f3 - Randstreifen [m] (leer = Wert aus Datei)

Das Programm verwendet dann für alle Stellen – unabhängig von den im GIS tatsächlich vorhandenen Werten – diesen Vorgabewert für die Berechnung.

Durch Modifikation eines bestimmten Parameters (unter Beibehaltung aller übrigen) können so die Auswirkungen geplanter Maßnahmen, wie z.B. eine Randstreifenverbreiterung, für ein bestimmtes Anwendungsgebiet gezielt simuliert werden.

Hinweis: Durch Leeren des betreffenden Feldes wird wieder der ursprüngliche Wert aus der Eingabetabelle verwendet.

Szenarien auswählen

Die Simulation kann weiterhin durch verschiedene Standardszenarien gesteuert werden. Die Szenarien werden dabei als „Umsetzungstabellen“ realisiert. Da einige Informationen im GIS als Klassen vorliegen, müssen diese zur Berechnung innerhalb der Simulations-Formel zunächst auf Zahlenwerte abgebildet werden. So wird z.B. dem Neigungswert „N1“ aus den Bodendaten des NLFB im Szenario „01 – Mittlere Steigung der Klasse [%]“ ein mittlerer Steigungswert von 0,07% zugeordnet. Im Szenario „02 – Maximale Steigung der Klasse [%]“ wird der Steigungswert „N1“ dagegen einer mittleren Steigung von 0,9% zugeordnet.

Parameter	Szenario
f1 - Neigung	01 - Mittl. Steigung der Klasse [%]
f2 - Interzeption [%]	01 - Interception Table
f3 - Randstreifen [m]	<input type="text"/> (leer = Wert aus Datei)
Soil - Boden	01 - Standard
q - Runoff	01 - L&M Sc.II, bare soil, high moisture
% org.	01 - Landw. Nutzung
PSM - KOC, DT50, ...	01 - Standard
d - Tage nach Applikation	<input type="text"/> (leer = Wert aus Datei)
Datum	<input type="text"/>

Über die Auswahllisten rechts neben dem jeweiligen Parameter können die verschiedenen Szenarien ausgewählt werden.

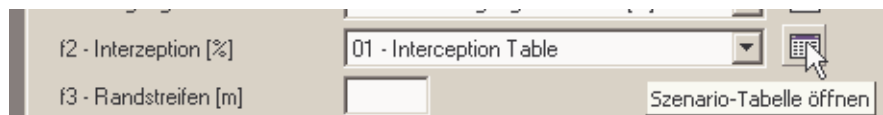
q - Runoff

- 02 - L&M Sc.II, bare soil, low moisture
- 01 - L&M Sc.II, bare soil, high moisture
- 02 - L&M Sc.II, bare soil, low moisture
- 03 - L&M Sc. III, covered soil, low m.

Szenario-Tabellen öffnen

Die Szenarien sind programmtechnisch als Standard-Tabellen (dBASE®) realisiert und können vom Anwender beliebig erweitert oder modifiziert werden. Neben der Möglichkeit, die Tabellen über dBASE® oder Excel® zu bearbeiten, können sie auch direkt aus dem Simulator heraus bearbeitet werden.

Klicken Sie dazu auf die rechts neben dem jeweiligen Szenario angezeigte Schaltfläche:



Sie befinden sich anschließend im zugehörigen Tabellen-Editor:

The image shows a window titled 'Szenariotabelle: sc_interz.dbf'. It contains a table with the following data:


SCENARIO	FRUCHT	TAG_VON	MONAT_VON	TAG_BIS	MONAT_BIS	PI
01 - Interception Table	Getreide	1	1	29	2	5
01 - Interception Table	Getreide	1	3	15	3	10
01 - Interception Table	Getreide	16	3	31	3	10
01 - Interception Table	Getreide	1	4	15	4	20
01 - Interception Table	Getreide	15	4	30	4	40
01 - Interception Table	Getreide	1	5	15	5	60
01 - Interception Table	Getreide	16	5	31	5	70
01 - Interception Table	Getreide	1	6	15	6	80
01 - Interception Table	Getreide	16	6	30	6	80
01 - Interception Table	Getreide	1	7	31	7	80
01 - Interception Table	Getreide	1	8	31	8	80
01 - Interception Table	Getreide	1	9	15	9	0
01 - Interception Table	Getreide	16	9	30	9	0
01 - Interception Table	Rüben	1	10	31	10	0

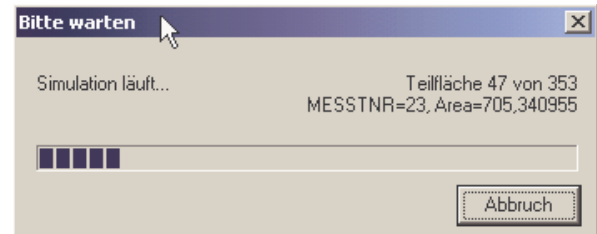
Über die Navigationsleiste können Sie in der Tabelle vorwärts und rückwärts blättern.

Über die Schaltflächen fügen Sie eine Zeile hinzu bzw. löschen die aktuell ausgewählte Zeile.

Über die Schaltflächen können Sie die zuletzt durchgeführte Änderung bestätigen bzw. verwerfen.

Simulation starten

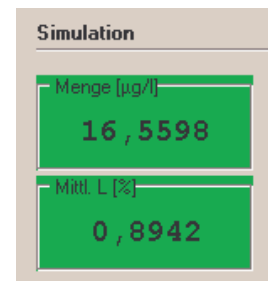
Um die Simulation zu starten, betätigen Sie die Schaltfläche  oder wählen Sie den Menüpunkt „Simulation|Berechnung starten“.



Simulationsergebnis ansehen

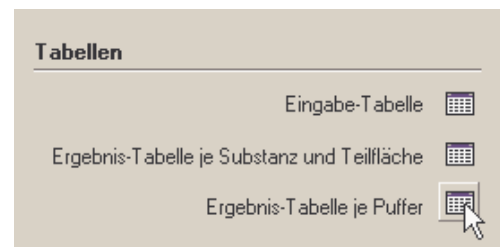
1. Für einzelne Stellen/Flächen


Wenn die Simulation für eine einzelne Stelle/Fläche durchgeführt wurde, werden die simulierte PSM-Menge sowie der prozentuale Wert der PSM im Runoff direkt nach der Berechnung in den grünen Ergebnisfeldern angezeigt.



2. Für mehrere Stellen/Flächen

Wenn die Simulation für sämtliche in der Eingabetabelle enthaltenen Stellen durchgeführt wurde (und somit mehrere PSM-Simulationsergebnisse existieren) werden die Ergebnisse nicht direkt in den grünen Ergebnisfeldern angezeigt. Sie finden die Ergebnisse in den Ergebnistabellen je Substanz und Teilfläche bzw. je Puffer/Stelle.




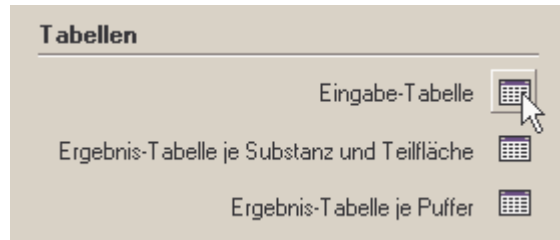
Betätigen Sie zum Öffnen einer Tabelle die jeweilige Schaltfläche . Daraufhin wird ein Fenster mit der gewählten Tabelle angezeigt:

messtnr	int_bez	datum	uhrzeit	rw	hw	area	objart
5790001	317b	20.03.1990	9:00	3610181	5799317	10000	Ackerland
5798002	309	02.10.1990	9:00	3609580	5798337	20,3	Ackerland
5798002	309	02.07.1990	9:00	3609580	5798337	12,32	Ackerland
5798002	309	02.07.1990	9:00	3609580	5798337	12,32	Ackerland

Hinweis: Die Ergebnistabelle je Substanz und Teilfläche heißt „result1.dbf“. Die Ergebnistabelle je Puffer (=je Probestelle) heißt „result2.dbf“. Sie finden die Tabellen im Programmverzeichnis des Simulator-Moduls (z.B. D:\Programme\PSM-Simulator\).

Eingabetabelle ansehen/bearbeiten

Um die Eingabetabelle anzusehen bzw. Änderungen an dieser vorzunehmen, klicken Sie auf die Schaltfläche neben „Eingabe-Tabelle“ .




Über die Navigationsleiste  können Sie in der Eingabetabelle vorwärts und rückwärts blättern.

Über die Schaltflächen  fügen Sie eine Zeile hinzu bzw. löschen die aktuell ausgewählte Zeile.

Über die Schaltflächen  können Sie die zuletzt durchgeführte Änderung bestätigen bzw. verwerfen.

Simulation für einzelne Stelle/Fläche direkt starten

Mit Hilfe des Szenario-Editors können PSM-Simulationen für einzelne Stellen direkt aus dem Simulator-Modul heraus durchgeführt werden.

Klicken Sie auf die Schaltfläche  in der Symbolleiste bzw. wählen Sie den Menüpunkt „Szenario|Szenario generieren“.

Stellen Sie die Simulationsparameter für die zu untersuchende Stelle/Fläche ein.

Um die Eingabetabelle zu erzeugen und anschließend die Simulation mit dieser Tabelle direkt zu starten, wählen Sie die Schaltfläche „Szenario generieren und starten“. Das Simulationsergebnis (Menge und prozentualer PSM Anteil) werden daraufhin in den grünen Ergebnisfeldern des Simulatorfensters angezeigt (weitere Informationen (siehe 3.5)).

5. Anwendungsbeispiele

Im folgenden Abschnitt wird anhand zweier (auf einander aufbauender) Beispiele beschrieben, wie Sie die vom Simulator erzeugten Ergebnistabellen für die Darstellung von PSM-Risikokarten verwenden können.

Es wird davon ausgegangen, dass die Schritte zur Erzeugung der Eingangsdaten (siehe 3.4) sowie die Simulation bereits durchgeführt wurden und ein Simulationsergebnis in Form einer dBASE-Tabelle vorliegt.

5.1 Beispiel 1: Erstellung von Risikokarten mit ArcView®

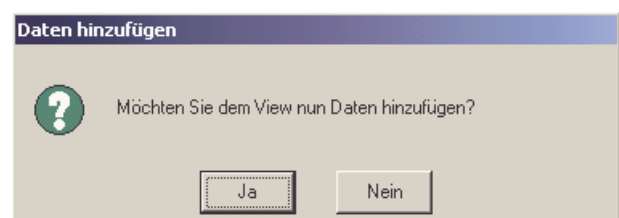
Nachfolgend werden die grundlegenden Schritte zur Darstellung einer PSM-Eintrags-Risikokarte unter Verwendung von ArcView®-GIS beschrieben.

Projekt und View anlegen

Wählen Sie im angezeigten Dialog unter „Neues Projekt erstellen“ die Option „mit einem neuen View“ und bestätigen Sie mit OK.



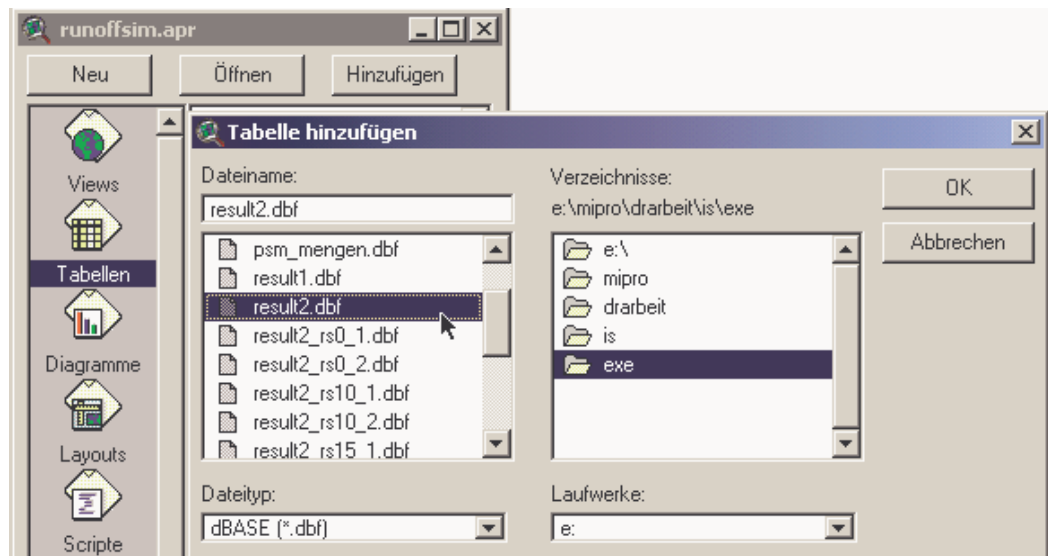
ArcView® legt ein neues Fenster (View) an und fragt, ob Sie Daten (Themen) hinzufügen möchten. Bestätigen Sie mit „Ja“.



Simulations-Ergebnisdaten hinzufügen

Wechseln Sie im Projektfenster auf „Tabellen“ und wählen Sie die Schaltfläche „Hinzufügen“, um dem Projekt die Ergebnistabelle der Simulation hinzuzufügen.

Der Dialog „Thema hinzufügen“ wird angezeigt. Wählen Sie jetzt das Laufwerk bzw. das Unterverzeichnis, in dem sich die Daten befinden.



Hinweis: Die vom Simulator erzeugte Ergebnistabelle befindet sich im Programmverzeichnis des Simulators, z.B. „D:\Programme\PSM-Simulator“. Der Name der Ergebnistabelle lautet „result2.dbf“.

Nach Auswahl der Tabelle bestätigen Sie mit „OK“. Anschließend wird die neue Tabelle angezeigt. Schließen Sie diese über die „X“-Schaltfläche und wechseln Sie im Projektfenster wieder auf View.

Tabelle in aktuelle View einfügen

Um die Tabelle als sichtbares Objekt in Arc-View® anzeigen lassen zu können, muss diese als „Ereignisthema“ hinzugefügt werden.

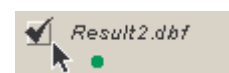
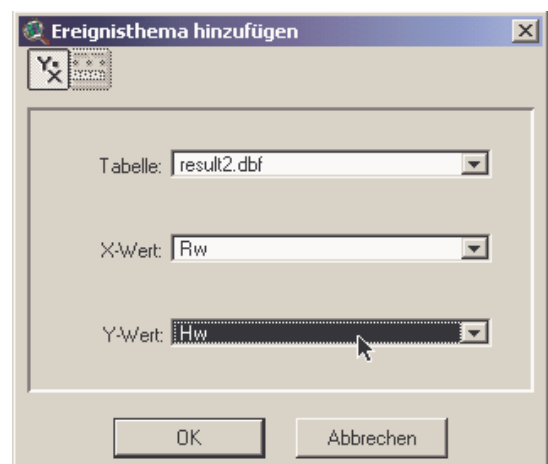
Wählen Sie dazu den Menüpunkt „View|Ereignisthema hinzufügen“.

Wählen Sie im zugehörigen Dialog zunächst die Ergebnistabelle aus („result2.dbf“).

Koordinaten festlegen

Für die korrekte Geo-Referenzierung müssen die Koordinaten festgelegt werden. Als X-Wert stellen Sie „RW“ (Rechtswert) und als Y-Wert „HW“ (Hochwert) ein.

Aktivieren Sie anschließend in der Themenliste das neue Thema „result2.dbf“.

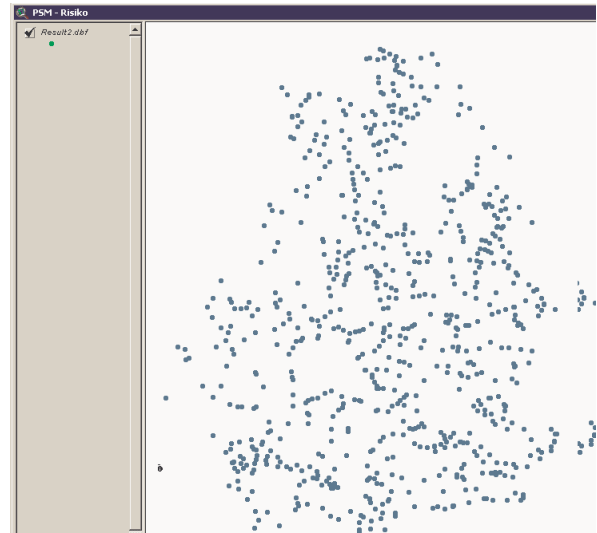


Darstellungsoptionen einstellen

Im Anzeigefenster werden jetzt alle simulierten Probestellen (zunächst einfarbig) angezeigt (hier am Beispiel von NLWK-Probestellen im Großraum Braunschweig).

Klicken Sie doppelt auf den Eintrag „Result2.dbf“, um den Legenden-Editor zu öffnen.

Wählen Sie unter „Legendentyp“ den Eintrag „Abgestufte Farbe“ und unter Klassifizierungsfeld „Menge_sum“.






Abgestufte Darstellung

Zur Darstellung einer dreistufigen Risikoskala, werden die PSM-Mengen zunächst in drei Klassen eingeteilt. Wählen Sie unter „Klassifizieren“ als „Anzahl der Klassen“ den Wert 3.




Wählen Sie anschließend für die drei Risikoklassen geeignete Farb- und Symboleinstellungen.

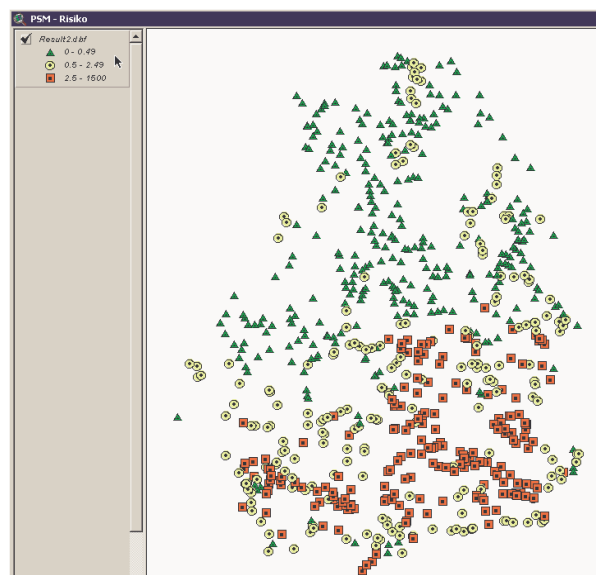
Im Beispiel orientieren sich die gewählten Klassen am Trinkwassergrenzwert für mehrere Stoffe:

Klasse	Risiko	Menge µg/l	Farbe	Symbol
1	Gering	0,00-0,49	Grün	
2	Mittel	0,50-2,49	Gelb	
3	hoch	2,50-max.	Rot	

Klicken Sie auf „Anwenden“.

Im Anzeigefenster wird jetzt die PSM-Risikokarte mit differenzierten Farben und Symbolen für die drei gewählten PSM-Risikoklassen angezeigt:

Symbol	Wert	Beschriftung
	0 - 0.49	0 - 0.49
	0.5 - 2.49	0.5 - 2.49
	2.5 - 1500	2.5 - 1500



Der Darstellung können weitere Themen, wie z.B. topografische Karten, Landnutzung, Gewässernetz usw. hinzugefügt werden, so dass eine PSM-Risikokarte ähnlich folgender Abbildung entsteht:

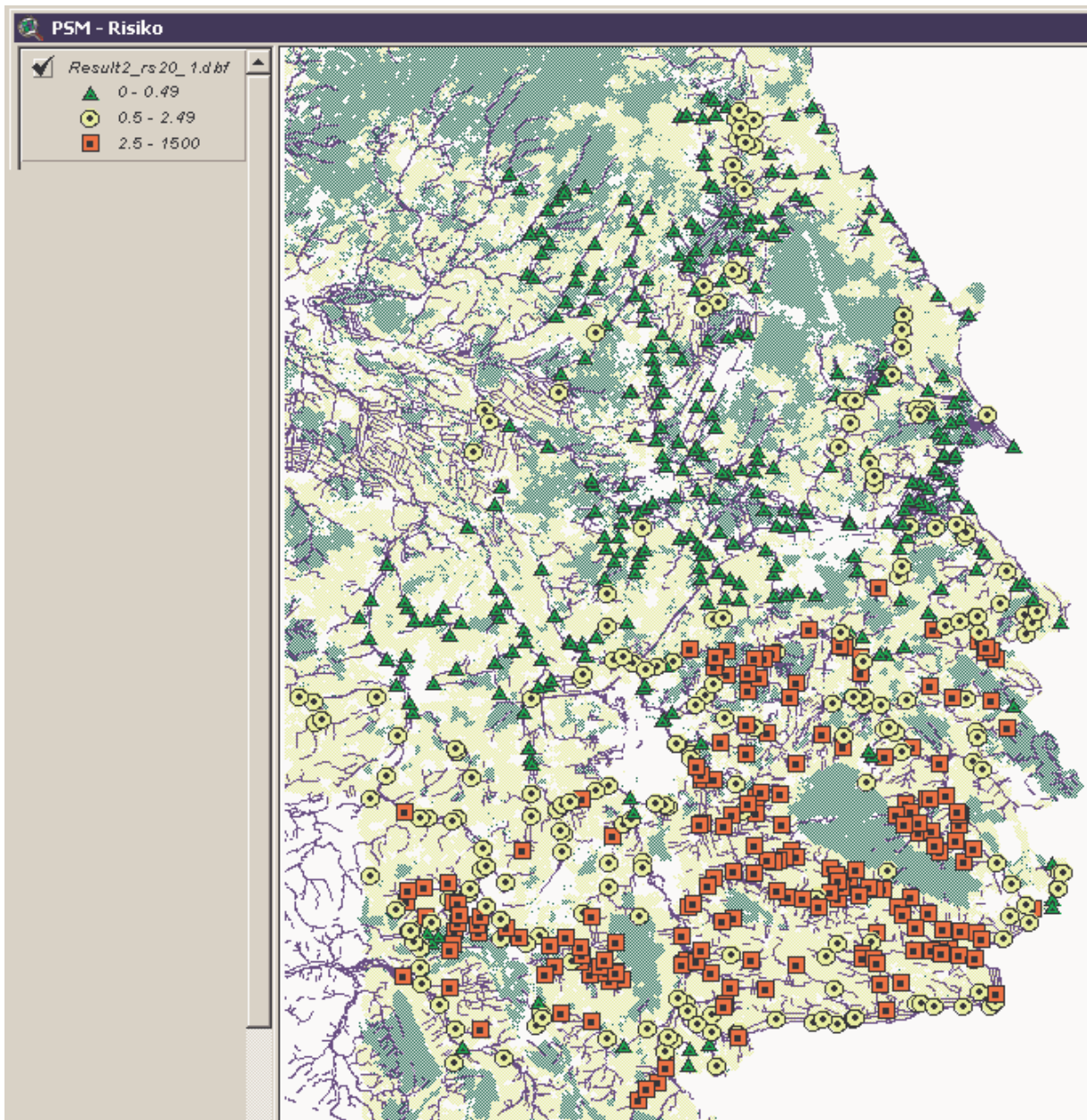


Abb. Beispiel für eine PSM-Risikokarte (hier Großraum Braunschweig): grünes Dreieck = geringes Eintragsrisiko, gelber Kreis = mittleres Eintragsrisiko, rotes Quadrat = hohes Eintragsrisiko. Dargestellte Umlandnutzung: gelb/hell = Ackerflächen, grün/dunkel = Wald/Forst-Flächen.

5.2 Beispiel 2: Einfluss der Randstreifenbreite auf das Eintragsrisiko

Im vorherigen Abschnitt wurde die Darstellung der Simulationsergebnisse als PSM-Risikokarten mit Hilfe des Geo-Informationssystems ArcView® erläutert. Im folgenden Beispiel soll aufgezeigt werden, wie sich die Veränderung eines Eingangsparameters (hier Randstreifenbreite) auf das PSM-Eintragsrisiko auswirkt und somit die Folgen geplanter oder durchzuführender Maßnahmen abgeschätzt werden können.

Simulation durchführen

Führen Sie zunächst wie in Abschnitt 4. beschrieben eine Simulation für das Untersuchungsgebiet mit einer Randstreifenbreite von 5m durch:



Benennen Sie anschließend (z.B. im Windows-Explorer®) die Ergebnistabelle „result2.dbf“ in „result_5m.dbf“ um.

Führen Sie jetzt eine Simulation für das Untersuchungsgebiet mit einer Randstreifenbreite von 20m durch:



Benennen Sie die Ergebnistabelle „result2.dbf“ in „result_20m.dbf“ um.

Tabelle in ArcView darstellen

Fügen Sie die Ergebnistabellen wie in Bsp. 1 beschrieben einem ArcView®-Projekt hinzu.

Erzeugen Sie für beide Karten wie in Bsp. 1 eine abgestufte Risikokarte.

Karten in andere Anwendungen übernehmen

Die Darstellungen können auf einfache Weise über die Windows-Zwischenablage in andere Anwendungen übernommen werden. Bringen Sie dazu die gewünschte Karte in den Vordergrund und drücken Sie die „Druck“-Taste auf der Tastatur.

Wechseln Sie jetzt in die gewünschte Anwendung, wie z.B. Photoshop® oder Word®, und betätigen Sie die Tastenkombination STRG-V bzw. den Menübefehl „Bearbeiten|Einfügen“.

Sie können auf diese Weise die im GIS erzeugten Karten zur Darstellung in Berichten verwenden.

Darüber hinaus verfügt ArcView® mit den Layouts über leistungsfähige Möglichkeiten zur Darstellung von Postern und druckbaren Darstellungen.

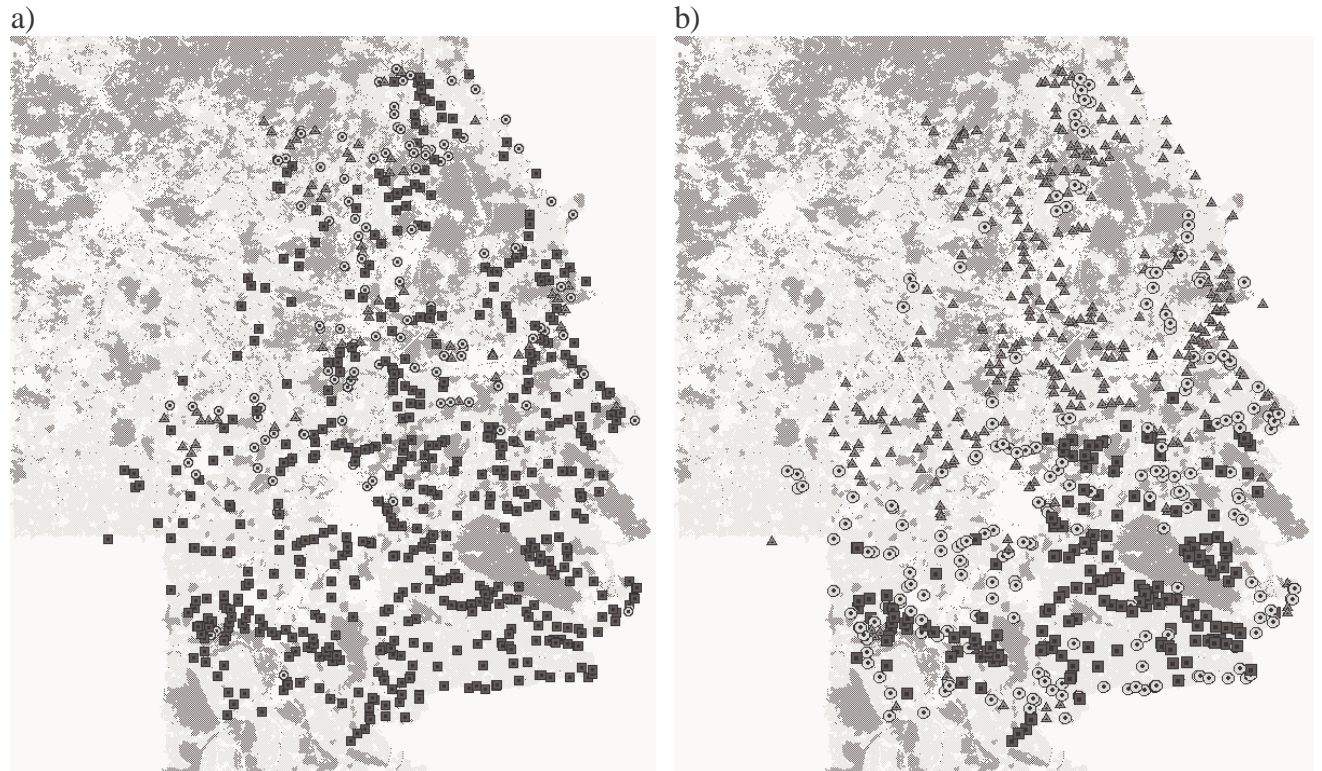


Abb. PSM-Risikokarte Großraum Braunschweig a) Randstreifen = 5m b) Randstreifen = 20m.
Legende: Dunkelgrau = Wald/Forst, Hellgrau = landwirtschaftliche Nutzung, Weiß = Sonstige Nutzung,
Dreieck = geringes Eintragsrisiko, Kreis = mittleres Eintragsrisiko, Quadrat = hohes Eintragsrisiko.

6. Datenformate

6.1 Import-Schnittstelle

Tabelle: **input.dbf**

Format: dBASEIV

Bemerkung: Eingabetabelle für Simulator mit Umweltdaten aus GIS / Szenario-Editor

Feldname	Datentyp	Wertebereich	Beschreibung
MESSTNR	C10	Alphanumerisch	Messstellen-Nummer
INT_BEZ	C10	Alphanumerisch	Mst. Interne Bezeichnung
DATUM	Date	Datumswert	Datum der Untersuchung
UHRZEIT	C5	Zeitwert	Uhrzeit der Untersuchung
RW	N8,0	Ganzzahl, 8stellig	Rechtswert (Gauß-Krüger)
HW	N8,0	Ganzzahl, 8stellig	Hochwert (Gauß-Krüger)
AREA	N10,4	Gleitkommawert	Fläche [m ²]
OBJART	C20	{„Acker“}	Landnutzungstyp
NEIG	C10	{„N0“ „N1“ ... „N6“}	Hangneigung [Klasse]
GEF_PRZ	N10,4	Gleitkommawert	Gefälle [%], überschreibt NEIG
HNBOD	C10	{<Bodentyp aus ATKIS-Daten>}	Kürzel für Bodentyp, z.B. „Vn“
BOATYP	C10	{<Bodentyp aus ATKIS-Daten>}	Kürzel für Bodentyp, z.B. „Hn//F“
P	N10,4	Gleitkommawert	Niederschlag [mm/Tag]
ABFLUSS	N10,4	Gleitkommawert	Abfluss [m ³ /h]
BREITE	C10	Alphanumerisch	Breitenklasse d. Gewässers
FRUCHT	C10	{„Getreide“ „Rüben“}	Anbaufrucht
F_INTERZ	N10,4	Gleitkommawert	Pflanzeninterzeption [%]
RANDSTR	N10,4	Gleitkommawert	Breite d. Randstreifens [m]
HUMUS	C10	{„h1“ ... „h6“ „H“}	Humusgehalt d. Bodens [Klassen]
P1_NAME	C20	Substanz aus Tabelle sz_psm.dbf	Name der 1. Substanz
P1_MENGE	N10,4	Gleitkommawert	Menge [g/m ²] d. 1. Substanz
P1_D	N10,4	Gleitkommawert	Tage [d] zw. Anwendung u. Regen
P1_KOC	N10,4	Gleitkommawert	KOC-Wert [l/kg] 1. Substanz
P2_NAME	C20	Substanz aus Tabelle sz_psm.dbf	s.o. (P1_...)
P2_MENGE	N10,4	Gleitkommawert	
P2_D	N10,4	Gleitkommawert	
P2_KOC	N10,4	Gleitkommawert	
P3_NAME	C20	Substanz aus Tabelle sz_psm.dbf	
P3_MENGE	N10,4	Gleitkommawert	
P3_D	N10,4	Gleitkommawert	
P3_KOC	N10,4	Gleitkommawert	
P4_NAME	C20	Substanz aus Tabelle sz_psm.dbf	
P4_MENGE	N10,4	Gleitkommawert	
P4_D	N10,4	Gleitkommawert	
P4_KOC	N10,4	Gleitkommawert	

...

P15_NAME	C20	Substanz aus Tabelle sz_psm.dbf	
P15_MENGE	N10,4	Gleitkommawert	
P15_D	N10,4	Gleitkommawert	
P15_KOC	N10,4	Gleitkommawert	

7. Installation des PSM-Simulators

Installationsanleitung

- ⇒ Legen Sie die Installations-CD-ROM in das CD-ROM-Laufwerk (z.B. R:) ein.
- ⇒ Das Installationsprogramm **startet automatisch**.

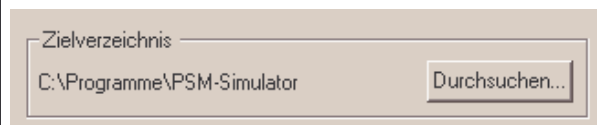
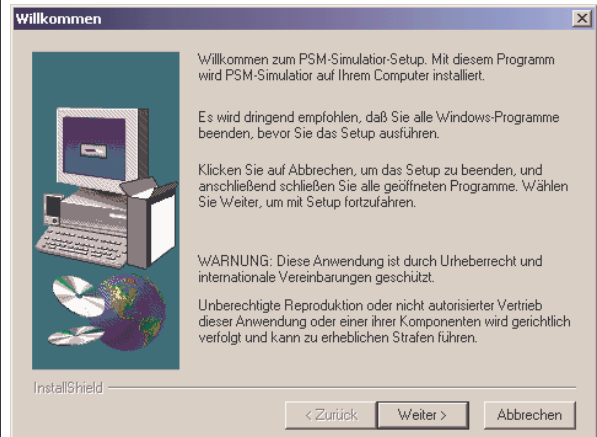
Sollte die Installation **nicht automatisch starten**, öffnen Sie das Programm „SETUP.EXE“ im Hauptverzeichnis der CD-ROM. Doppelklicken Sie dazu auf das Symbol oder geben Sie im Startmenü unter „Ausführen“ „R:SETUP.EXE“ ein („R:“ sei der Laufwerksbuchstabe Ihres CD-ROM-Laufwerks).



- ⇒ Im Dialog „**Zielverzeichnis wählen**“ können Sie festlegen, auf welchem Laufwerk bzw. Ordner das Programm installiert werden soll (Vorgabe: „\Programme\PSM-Simulator“).

Achten Sie bitte darauf, dass auf dem gewählten Datenträger ca. 1 GB Platz frei ist.

- ⇒ Nach der Installation finden Sie das Programm im Startmenü unter „**Programme**“ im Ordner „**PSM-Simulator**“.



Hinweise:

- Für die Verwendung unter Windows NT 4.0 muss **Servicepack 5** installiert sein.
- Die Installation sollte unter Windows NT als „**Administrator**“ durchgeführt werden.
- Auf der Installationspartition sollte mindestens **1 GB** Speicherplatz frei sein.
- Die Installationspartition sollte **leer** bzw. **defragmentiert** sein.

Wichtige Hinweise zur BDE

Für den Datenaustausch im dBASE-Format sowie der korrekten Anzeige von Umlauten muß die von System verwendete Datenbankschnittstelle, die BDE (Borland Database Engine), direkt nach der Installation konfiguriert werden:

⇒ Öffnen Sie über die Systemsteuerung die BDE-Verwaltung:



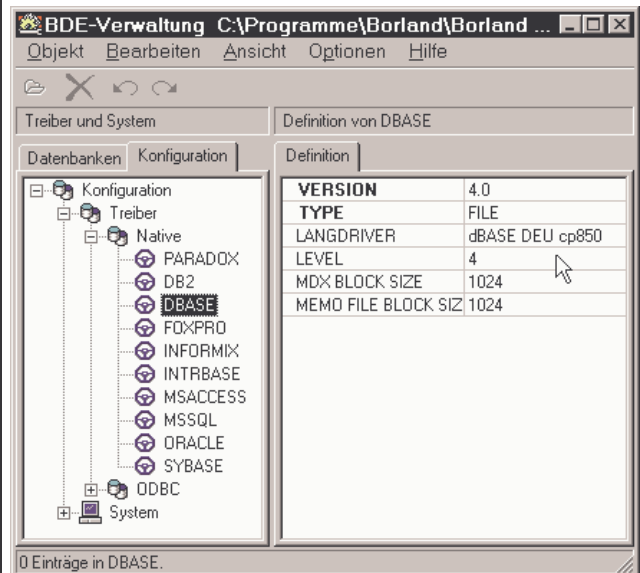
⇒ Wählen Sie das Register „Konfiguration“ und überprüfen Sie, ob folgende Einstellungen gewählt wurden, bzw. nehmen Sie sie vor:

Konfiguration/Treiber/Native/DBASE:

LANGDRIVER=dBASE DEU cp850
LEVEL=4

Konfiguration/Treiber/Native/Paradox:

LANGDRIVER=Pdox ANSI Intl (entspricht 1252)
LEVEL=7



8. Technische Voraussetzungen

Hardware

IBM-kompatibler PC mit folgender Mindestkonfiguration:

- ⇒ Mainboard mit PCI-Bus
- ⇒ INTEL Pentium® 600MHz, INTEL Celeron® 600Mhz, AMD Athlon® 600Mhz
- ⇒ 128MB-RAM
- ⇒ Aktuelle Festplatte, mind. 20GB
- ⇒ 40x-CD-ROM-Laufwerk
- ⇒ 3,5“-HD-Diskettenlaufwerk
- ⇒ 17“ Monitor nach TCO95
- ⇒ Grafikkarte mit einer Auflösung von 1024x768 Punkten bei 80Hz
- ⇒ 2-Tasten-Maus
- ⇒ MF-II-Tastatur

Software/Betriebssystem

Windows 98®, *Windows-NT 4.0® SP5*, *Windows 2000®*, *Windows-XP®*

1.6 Technische Dokumentation

Inhaltsverzeichnis

1. Systemüberblick.....	106
2. Generierung der Eingangsdaten	107
2.1 Simulator-Importschnittstelle.....	107
2.2 Verwendung öffentlich verfügbarer Daten	109
2.3 Aufbereitung der Eingangsdaten per GIS.....	110
2.4 Simulation für einzelne Stellen – Szenario Editor.....	112
3. Tabellenstrukturen	113
4. Inhalt der CD-ROM.....	117
5. Quelltexte.....	118
5.1 GIS-Skripte.....	118
5.2 Der PSM-Simulator.....	125

Aus dem Abschlußbericht zum Vorhaben:

**Informationssystem zur ökotoxikologischen Bewertung der Gewässergüte in Bezug auf
Pflanzenschutzmitteleinträge aus der Landwirtschaft**

BMBF-Förderkennzeichen: 0339804

Im Internet unter <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb04/381683206.pdf>
(TIB: Technische Informationsbibliothek, Universitätsbibliothek Hannover).

Technische Dokumentation

Stand 27.05.2004



Technische Universität Braunschweig
Zoologisches Institut
AG Limnologie und Ökotoxikologie
Fasanenstr. 3
38102 Braunschweig
Tel. 0531-391-3156

1. Systemüberblick

Im Folgenden soll ein grober Überblick über die Struktur des PSM-Informationssystems gegeben werden. Das System besteht im Wesentlichen aus den Komponenten **GIS-Data-Provider**, **Szenario-Editor** sowie dem (eigentlichen) **Simulator** (Abb. 1).

Vor der Anwendung des Systems müssen die **erforderlichen Umlanddaten** für das Untersuchungsgebiet, wie z.B. Bodentyp, Gefälle, Niederschlagsmenge, Landnutzungsformen, PSM (Stoff, Menge und Eigenschaften), beschafft und für die Nutzung durch ein Geoinformationssystem (GIS) aufbereitet werden. Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde das GIS ArcView® 3.2 (ESRI, Redlands, CA, USA) verwendet.

Nachdem die Rohdaten in das GIS importiert wurden, kombiniert (verschneidet) das **GIS-Data-Provider-Modul** die einzelnen Informationsebenen zu einer resultierenden Ebene. Diese enthält die für die Simulation relevanten Eingangsparameter. Die Ausgabedaten des GIS-Data-Providers können direkt vom Simulator-Modul importiert werden.

Das **PSM-Simulator-Modul** berechnet, basierend auf einem OECD-Modell, das PSM-Eintragsrisiko. Die Berechnung kann über benutzerdefinierbare Standard-Szenarien konfiguriert werden. So wird z.B. die Pflanzen-Interzeption in Abhängigkeit von Datum und Anbaufrucht anhand einer hinterlegten Szenario-Tabelle bestimmt.

Mit Hilfe des **Szenario-Editors** können benutzerdefinierte Szenarien für landwirtschaftliche Flächen erstellt werden. Verschiedene Parameter, wie z.B. Interzeption, Niederschlagsmenge, Randstreifenbreite und Gefälle, können vom Benutzer angepasst und zur Simulation verwendet werden.

Die **Simulationsergebnisse** werden vom Simulator in Form von Standard-Tabellen (dBASE®) exportiert und können anschließend zur Analyse des Einflusses einzelner Parameter (Excel®, SPSS®) sowie zur Darstellung von PSM-Risikokarten (GIS) verwendet werden (Abb. 1).

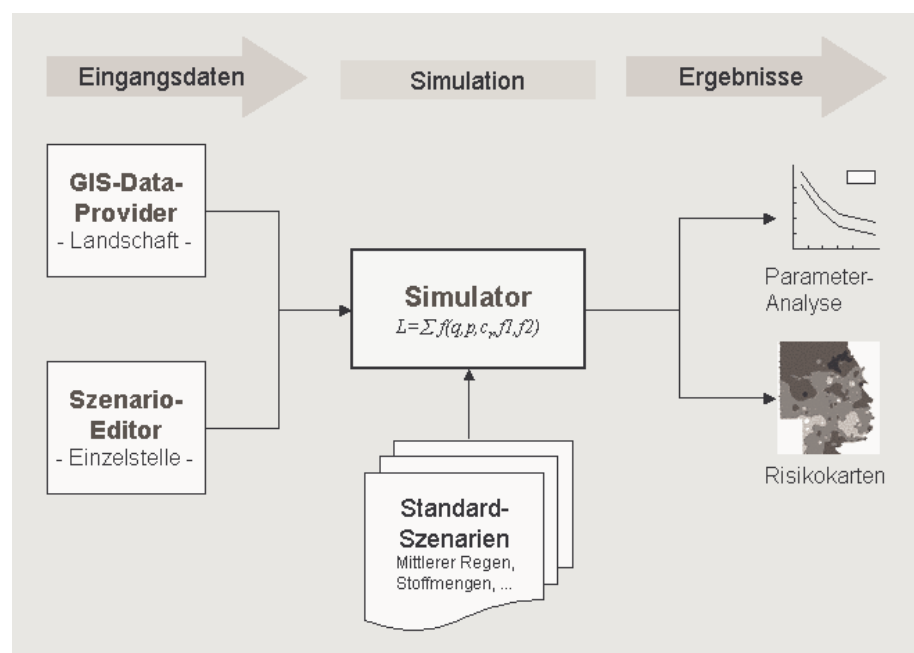


Abb. 1 - PSM-Informationssystem: Systemüberblick.

2. Generierung der Eingangsdaten

Im nachfolgenden Dokument wird beschrieben, welche Schritte notwendig sind, um die für die Simulation erforderlichen Eingangsdaten zu generieren. Im Flächenmaßstab können die Eingangsdaten mit Hilfe eines GIS (hier ArcView®) erstellt werden. Alternativ kann für die Betrachtung einzelner Stellen der Szenario-Editor verwendet werden.

2.1 Simulator-Importschnittstelle

Art und Umfang der vom Simulator erwarteten Informationen (Pflichtfelder) werden durch die Importschnittstelle festgelegt. Der Simulator liest die Eingangsdaten in Form einer Datenbanktabelle im dBASE-Format ein. Nachfolgend wird das verwendete Importformat angegeben:

Feldname	Datentyp	Wertebereich	Beschreibung
MESSTNR	C10	Alphanumerisch	Messstellen-Nummer
INT_BEZ	C10	Alphanumerisch	Mst. Interne Bezeichnung
DATUM	Date	Datumwert	Datum der Untersuchung
UHRZEIT	C5	Zeitwert	Uhrzeit der Untersuchung
RW	N8,0	Ganzzahl, 8stellig	Rechtswert (Gauss-Krüger)
HW	N8,0	Ganzzahl, 8stellig	Hochwert (Gauss-Krüger)
AREA	N10,4	Gleitkommawert	Fläche [m ²]
OBJART	C20	{“Acker”}	Landnutzungstyp
NEIG	C10	{„N0“ “N1“ ... „N6“}	Hangneigung [Klasse]
GEF_PRZ	N10,4	Gleitkommawert	Gefälle [%], überschreibt NEIG
HNBOD	C10	{<Bodentyp aus ATKIS-Daten>}	Kürzel für Bodentyp, z.B. „Vn“
BOATYP	C10	{<Bodentyp aus ATKIS-Daten>}	Kürzel für Bodentyp, z.B. „Hn//F“
P	N10,4	Gleitkommawert	Niederschlag [mm/Tag]
ABFLUSS	N10,4	Gleitkommawert	Abfluss [m ³ /h]
BREITE	C10	Alphanumerisch	Breitenklasse d. Gewässers
FRUCHT	C10	{„Getreide“ “Rüben“}	Anbaufucht
F_INTERZ	N10,4	Gleitkommawert	Pflanzen-Interzeption [%]
RANDSTR	N10,4	Gleitkommawert	Breite d. Randstreifens [m]
HUMUS	C10	{„h1“ ...“h6“ “H“}	Humusgehalt d. Bodens [Klassen]
P1_NAME	C20	Substanz aus Tabelle sz_psm.dbf	Name der 1. Substanz
P1_MENGE	N10,4	Gleitkommawert	Menge [g/m ²] d. 1. Substanz
P1_D	N10,4	Gleitkommawert	Tage [d] zw. Anwendung u. Regen
P1_KOC	N10,4	Gleitkommawert	KOC-Wert [l/kg] 1. Substanz
P2_NAME	C20	Substanz aus Tabelle sz_psm.dbf	s.o.
P2_MENGE	N10,4	Gleitkommawert	
P2_D	N10,4	Gleitkommawert	
P2_KOC	N10,4	Gleitkommawert	
P3_NAME	C20	Substanz aus Tabelle sz_psm.dbf	
P3_MENGE	N10,4	Gleitkommawert	
P3_D	N10,4	Gleitkommawert	
P3_KOC	N10,4	Gleitkommawert	
...
P15_NAME	C20	Substanz aus Tabelle sz_psm.dbf	
P15_MENGE	N10,4	Gleitkommawert	
P15_D	N10,4	Gleitkommawert	
P15_KOC	N10,4	Gleitkommawert	

Tab. 1 - Datenformat Simulator-Importschnittstelle

Bemerkungen zur Importschnittstelle:

1. Jeder Datensatz enthält die Informationen für jeweils eine an das Gewässer angrenzende Teilfläche einer landwirtschaftlich genutzten Fläche. Durch GIS-interne Verschneidungsprozesse kann eine Vielzahl von Teilflächen entstehen (für Kombinationen verschiedener Ebenen).
2. Die Felder MESSTNR und INT_BEZ können eine Messstellenummer sowie eine beliebige interne Bezeichnung enthalten. Die Felder dienen zur Wiedererkennung der Messstelle bei einer späteren Darstellung im GIS. Sie sind für die Simulation nicht zwingend erforderlich.
3. Das DATUM der Untersuchung/Simulation wirkt sich auf die Pflanzeninterzeption (Tabelle sc_interz.dbf) aus.
4. Die Felder RW (Rechtswert) und HW (Hochwert) werden für die eigentliche Simulation nicht benötigt. Sie sind jedoch für die Darstellung von Risikokarten per GIS erforderlich.
5. Das Feld OBJART kann nur den Eintrag „Acker“ enthalten. Andere Landnutzungsformen werden z.z. nicht berücksichtigt.
6. Das Feld NEIG enthält ein Kürzel für eine Hangneigungsklasse. Die Hangneigungsklassen sind den NLFB-Daten entnommen und entsprechen mittleren Neigungen bestimmter Bodentypen. Die den Klassen zugeordneten Neigungswerte [%] sind in der Tabelle sc_f1.dbf abgelegt.
7. Statt einer Neigungsklasse kann im Feld GEF_PRZ (Gefälle Prozent) die Hangneigung auch direkt prozentual [%] angegeben werden. Der im Feld GEF_PRZ eingetragene (genauere) Wert hat Vorrang (überschreibt) den Klassenwert in NEIG. Wenn das Feld GEF_PRZ leer ist, wird der Klassenwert aus NEIG bzw. dessen Gefällewert [%] aus sc_f1.dbf verwendet.
8. Aus HNBOD und BOATYP wird eine Bodenklasse abgeleitet. Derzeit werden die Klassen „l“=loamy und „s“=sandy berücksichtigt. Die Bodenklasse wirkt sich auf die Berechnung des Runoff-Volumens (Q) anhand des Modells von Lutz&Maniak aus.
9. Das Feld P [mm] (Precipitation) enthält den Niederschlag für ein Regenereignis, das der PSM-Applikation vorausgeht.
10. Das Feld HUMUS enthält ein Kürzel für den Humusgehalt des Bodens. Die Humuswerte sind an die NLFB-Bodendaten angelehnt und können die Werte „h1“...“h6“ und “H“ annehmen.
11. Die Felder P1_NAME, P1_MENGE, P1_D, P1_KOC enthalten die stoffspezifischen Angaben: Name der Substanz, Anwendungsmenge [g/m²], Zeitraum [d] zwischen Regenereignis (Feld P) und Applikation, KOC-Wert [l/kg] der Substanz. Die aktuelle Version des Simulationssystems kann maximal 15 Substanzen simulieren.
12. Eine Vorlage (Tabelle input.dbf) im korrekten Format der Eingangsdaten befindet sich Programmverzeichnis des Systems

2.2 Verwendung öffentlich verfügbarer Daten

Eine Projektvorgabe bestand darin, nur leicht zugängliche, bzw. öffentlich verfügbare Daten für die PSM-Simulation zu verwenden.

Das Informationssystem wurde an die Verwendung folgender Datenbestände angepasst:

Daten	Quelle	Umfang	Zeitraum	Auflösung	Format
Landnutzung	LGN	BS-Umland	1999	1:25.000	Digital
Boden	NLFB	BS-Umland	1999	1:50.000	Digital
Niederschlag	DWD	BS-Umland	1985-1999	Täglich [mm]	Digital
Gewässer	LGN	BS-Umland	1999	1:25.000	Digital
Probestellen	NLWK	214 Stellen	1985-1999	-	Digital

Tab. 2 - Eingangsdaten.

Abkürzungen:

DWD Deutscher Wetterdienst
Internet: <http://www.dwd.de/>

LGN Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen („ATKIS“-Daten)
Internet: <http://www.lgn.de/>

NLFB Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung
Internet: <http://www.nlfb.de/>

NLWK Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft und Küstenschutz
Internet: <http://www.nlwk.de>

Bemerkungen:

1. Die NLFB/ATKIS-Daten zur Landnutzung sowie zum Gewässernetz standen zum Zeitpunkt der Entwicklung im EDBS-Format zur Verfügung. Sie müssen zur Nutzung mit ArcView® zunächst ins Shape-Format konvertiert werden (EDBS->Shape).
2. Die NLFB-Bodendaten standen zum Zeitpunkt der Entwicklung im e00-Format zur Verfügung. Sie müssen zur Nutzung mit ArcView® zunächst ins Shape-Format konvertiert werden. Hierfür eignet sich das Programm „Import71“, welches mit ArcView® ausgeliefert wird.
3. Die Niederschlagsdaten des DWD standen zum Zeitpunkt der Entwicklung als ASCII-Dateien zur Verfügung. Sie müssen zur Nutzung mit ArcView® zunächst ins dBASE und anschließend ins Shape-Format konvertiert werden.
4. Die PSM-Simulation wurde für Gewässergütestationen des NLWK durchgeführt. Die NLWK-Daten standen als dBASE-Tabellen zur Verfügung. Diese müssen in ArcView® eingebunden und ins Shape-Format konvertiert werden.

2.3 Aufbereitung der Eingangsdaten per GIS

Die Datenformate der öffentlich verfügbaren digitalen Umweltdaten weichen normalerweise von den in Geo-Informationssystemen verwendeten Formaten ab. Um die Daten in Arc-View® nutzen zu können, müssen sie zunächst in das Shape-Format konvertiert werden.

Nachdem die Rohdaten als Shapes vorliegen, werden für die Probestellen und die Gewässer Puffer (-Shapes) erzeugt. Diese definieren einen die Probestelle bzw. den Gewässerabschnitt umgebenden Umlandbereich. Die Eigenschaften des betrachteten Bereichs (Boden, Gefälle, Ackeranteil etc.) dienen als Basis für die Simulation des PSM-Eintragsrisikos für die jeweilige Stelle.

Die gebildeten Puffer werden anschließend mit den Shapes für Regen, Boden und Nutzung zu einem Gesamtergebnis (-Shape) verschnitten. Dieses enthält für jede Teilfläche eine Kombination sämtlicher Informationen.

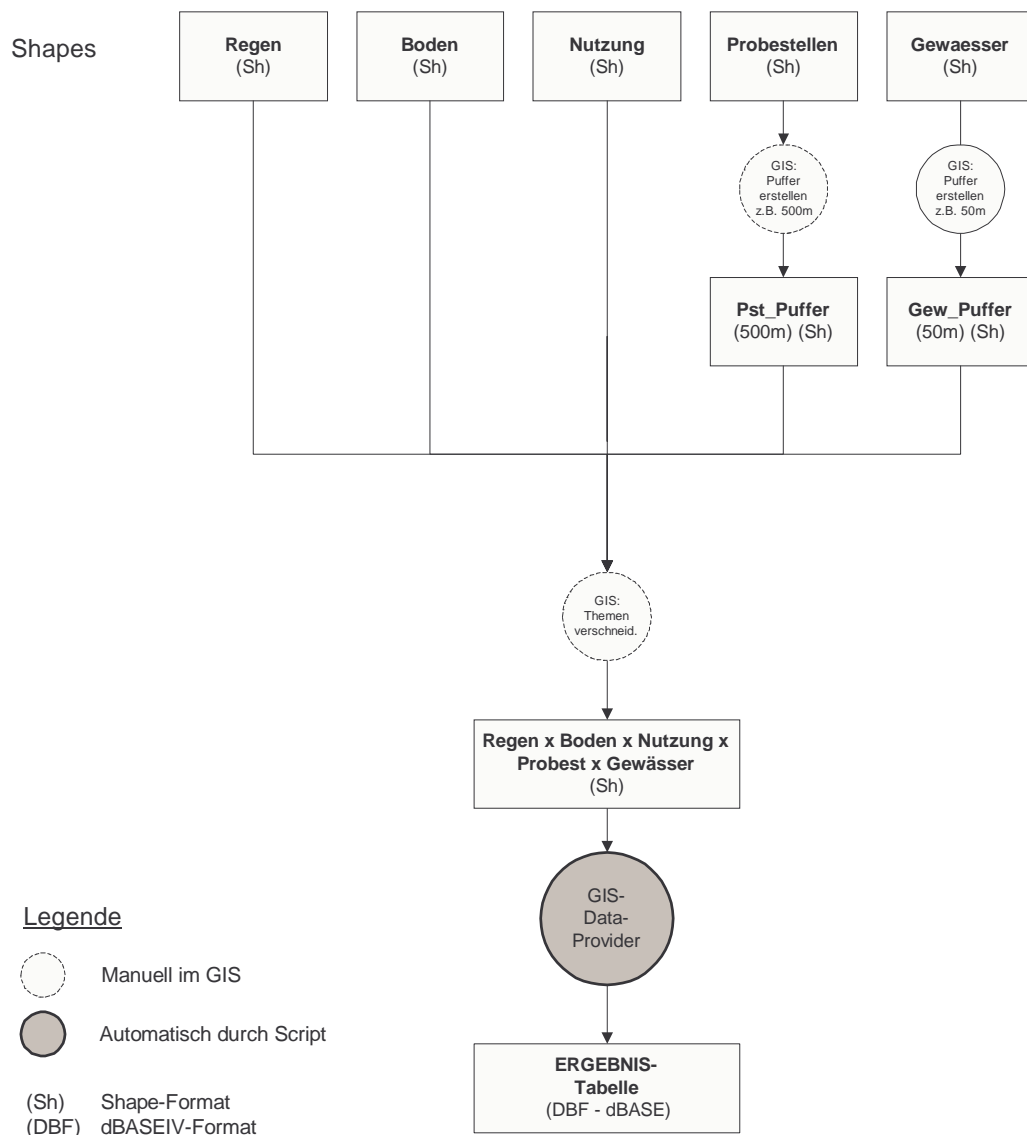


Abb. 2 - Schema der Datenaufbereitung per GIS. Pufferung der Probestellen und Gewässer und Verschneidung mit den Regen-, Boden- und Nutzungsdaten.

Das im GIS (manuell) durch Verschneidung und Pufferung erzeugte Ergebnis (-Shape) wird vom **GIS-Data-Provider** ausgewertet. Das Modul erzeugt aus dem Gesamt-Shape eine zur Importschnittstelle des Simulators kompatible (Eingangs-) Tabelle, die alle für die Simulation benötigten Parameter enthält. Dazu geht das Script schrittweise vor.

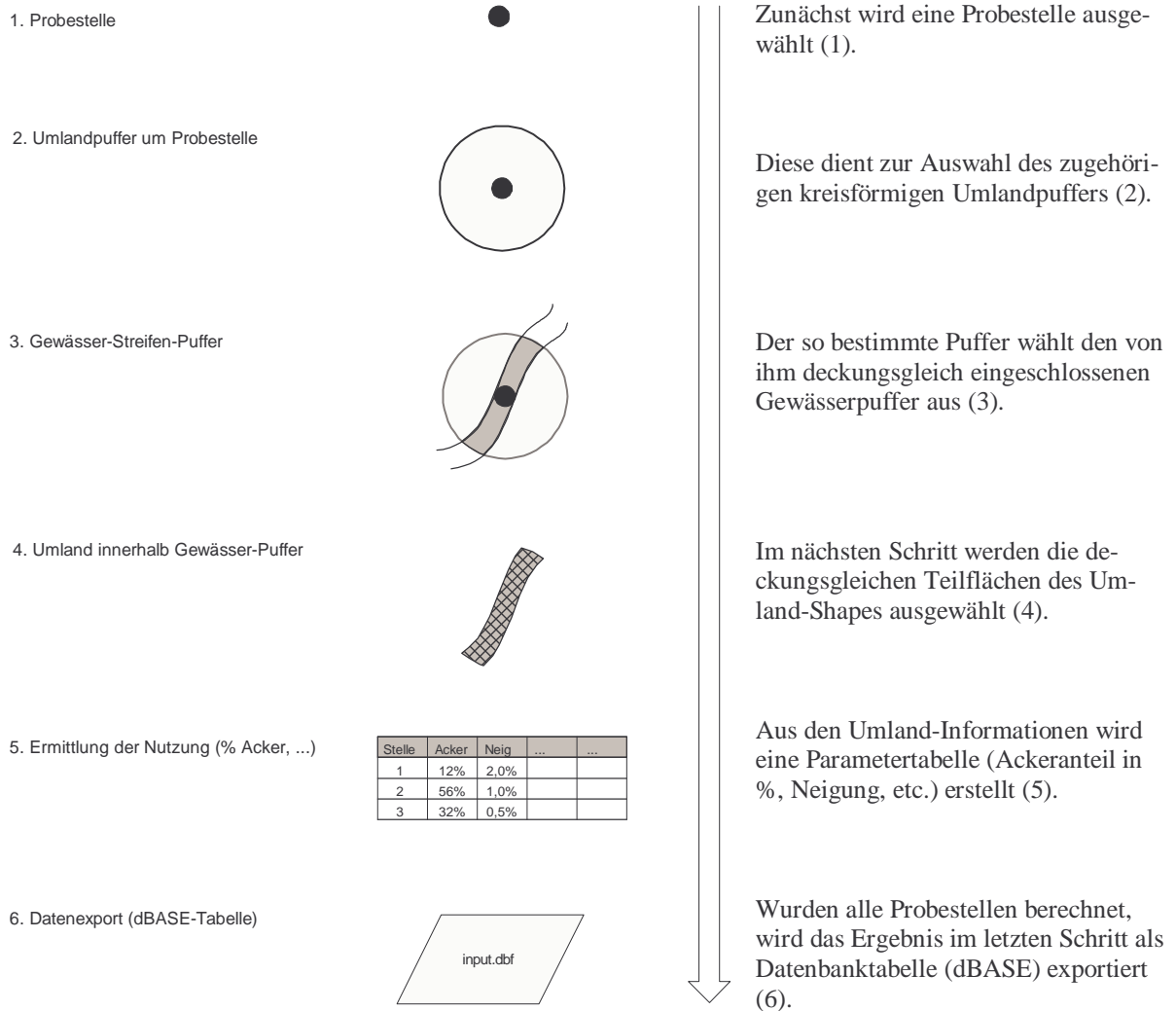
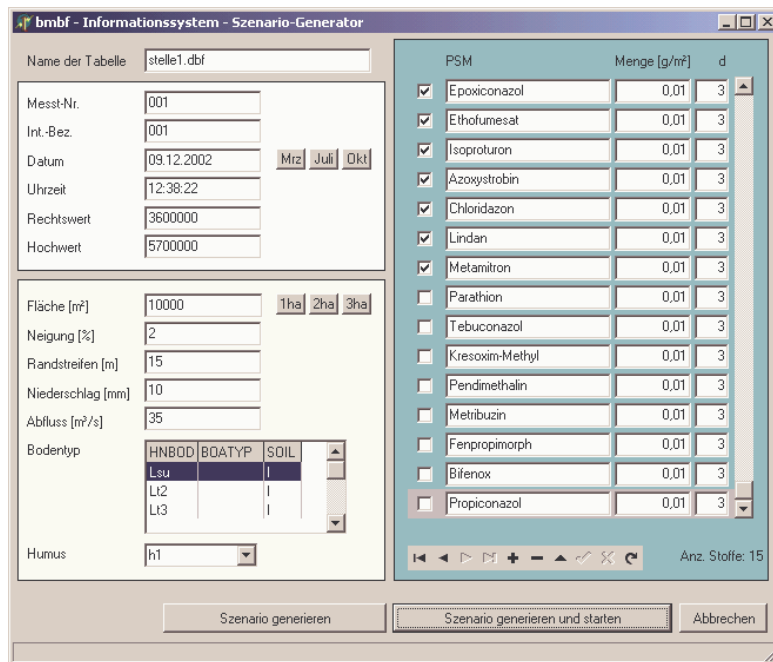


Abb. 3 - Ablaufschema des Avenue®-Skripts "GIS-Data-Provider".

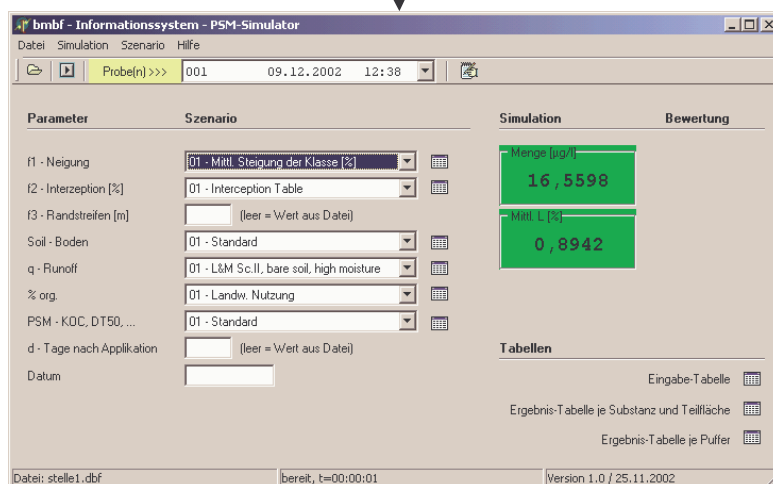
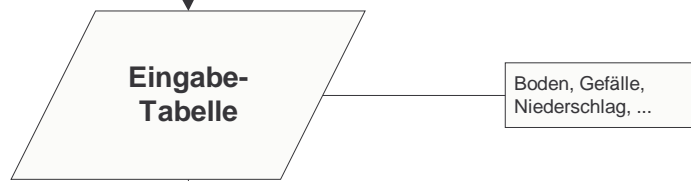
Eine Anleitung zur Benutzung des GIS-Data-Providers finden Sie im Benutzerhandbuch (Dokument IS_BEN.TEC).

2.4 Simulation für einzelne Stellen – Szenario Editor

Neben der Möglichkeit, die Basisdaten für die Simulation mit Hilfe des GIS-Data-Provider direkt aus dem Geo-Informationssystem zu generieren, können mit Hilfe des Szenario-Editors benutzerdefinierte Szenarien zur Simulation einzelner Probestellen generiert werden. Der Szenario-Editor erzeugt aus Vorgabewerten (Stoffe, Stoffmengen, Hangneigung, Randstreifen, etc) eine Tabelle, deren Format der Eingabetabelle (Importschnittstelle) für den Simulator entspricht (Abb. 4).



Szenario-Generator



Simulator

Abb. 4 - Erzeugen eines benutzerdefinierten Szenarios im Szenario-Editor und Import in das Simulator-Modul.

3. Tabellenstrukturen

Tabelle: input.dbf

Format: dBASEIV

Bemerkung: Eingabetabelle für Simulator mit Umweltdaten aus GIS

Feldname	Datentyp	Wertebereich	Beschreibung
MESSTNR	C10	Alphanumerisch	Messstellen-Nummer
INT_BEZ	C10	Alphanumerisch	Mst. Interne Bezeichnung
DATUM	Date	Datumwert	Datum der Untersuchung
UHRZEIT	C5	Zeitwert	Uhrzeit der Untersuchung
RW	N8,0	Ganzzahl, 8stellig	Rechtswert (Gauss-Krüger)
HW	N8,0	Ganzzahl, 8stellig	Hochwert (Gauss-Krüger)
AREA	N10,4	Gleitkommawert	Fläche [m ²]
OBJART	C20	{“Acker”}	Landnutzungstyp
NEIG	C10	{„N0“ “N1“ ... „N6“}	Hangneigung [Klasse]
GEF_PRZ	N10,4	Gleitkommawert	Gefälle [%], überschreibt NEIG
HNBOD	C10	{<Bodentyp aus ATKIS-Daten>}	Kürzel für Bodentyp, z.B. „Vn“
BOATYP	C10	{<Bodentyp aus ATKIS-Daten>}	Kürzel für Bodentyp, z.B. „Hn//F“
P	N10,4	Gleitkommawert	Niederschlag [mm/Tag]
ABFLUSS	N10,4	Gleitkommawert	Abfluss [m ³ /h]
BREITE	C10	Alphanumerisch	Breitenklasse d. Gewässers
FRUCHT	C10	{„Getreide“ “Rüben“}	Anbauf Frucht
F_INTERZ	N10,4	Gleitkommawert	Pflanzen-Interzeption [%]
RANDSTR	N10,4	Gleitkommawert	Breite d. Randstreifens [m]
HUMUS	C10	{„h1“ ...“h6“ “H“}	Humusgehalt d. Bodens [Klassen]
P1_NAME	C20	Substanz aus Tabelle sz_psm.dbf	Name der 1. Substanz
P1_MENGE	N10,4	Gleitkommawert	Menge [g/m ²] d. 1. Substanz
P1_D	N10,4	Gleitkommawert	Tage [d] zw. Anwendung u. Regen
P1_KOC	N10,4	Gleitkommawert	KOC-Wert [l/kg] 1. Substanz
P2_NAME	C20	Substanz aus Tabelle sz_psm.dbf	s.o. (P1_...)
P2_MENGE	N10,4	Gleitkommawert	
P2_D	N10,4	Gleitkommawert	
P2_KOC	N10,4	Gleitkommawert	
P3_NAME	C20	Substanz aus Tabelle sz_psm.dbf	
P3_MENGE	N10,4	Gleitkommawert	
P3_D	N10,4	Gleitkommawert	
P3_KOC	N10,4	Gleitkommawert	
P4_NAME	C20	Substanz aus Tabelle sz_psm.dbf	
P4_MENGE	N10,4	Gleitkommawert	
P4_D	N10,4	Gleitkommawert	
P4_KOC	N10,4	Gleitkommawert	

...

P15_NAME	C20	Substanz aus Tabelle sz_psm.dbf	
P15_MENGE	N10,4	Gleitkommawert	
P15_D	N10,4	Gleitkommawert	
P15_KOC	N10,4	Gleitkommawert	

Datenformate der GIS-Themen:

Folgende Shapes/Felder müssen für das Script „GIS-Data-Provider“ vorhanden sein:

Probestellen

Feldname	Typ	Beschreibung	Bemerkung
MESSTNR	Text	Offizielle NLWK-Nummer	z.B. {48282706, ...}
NAME	Text	Messtellename	z.B. {Hagenriede, ...}
INT_BEZ	Text	Interner (Stawa-) Name/Nr.	z.B. {CE001, 191a, ...}
RECHTSWERT	Numerisch	Rechtswert	Gauss-Krüger RW
HOCHWERT	Numerisch	Hochwert	Gauss-Krüger HW

Regen

Feldname	Typ	Beschreibung	Bemerkung
GRIDCODE	Numerisch	Regenwert [mm]	Durschn. >= 6mm

Boden

Feldname	Typ	Beschreibung	Bemerkung
HNBOD	Text	Bodenart (NLFB)	{Vn,Vb,Vbn, ...}
BOATYP	Text	Bodenart (NLFB)	{Gt, Ls, ...}
NEIG	Text	Neigungsklasse (NLFB)	{N0...N6}
HUMUS	Text	Humus (NLFB)	{h1...h6, H}

Nutzung

Feldname	Typ	Beschreibung	Bemerkung
OBJART	Text	Art der Landnutzung (ATKIS)	{Ackerland, Wald Forst, ...}

Gesamt

Das Ergebnisthema, welches alle verschnittenen Einzelthemen enthält, muss um folgende Felder ergänzt werden:

Feldname	Typ	Beschreibung	Bemerkung
AREA	Numerisch	Fläche [m ²] der Teilfläche	Neu berechnen nach Verschneidung mit Skript „Berechne_Area“ !

Szenario-Tabellen

Die Szenario-Tabellen enthalten Berechnungsgrundlagen des Simulator-Moduls. Sie dienen beispielweise zur Umsetzung von Klassenwerten in Zahlenwerte.

Tabelle: sc_f1.dbf
Format: dBASEIV

Bemerkung: Szenario-Tabelle für Hangneigung. Die Tabelle sc_f1.dbf bildet die Hangneigungsklassen der NLFB-Bodendaten auf prozentuale Gefällewerte ab. Derzeit sind zwei Szenarien definiert: 1: mittlere Steigung 2: max. Steigung in bezug auf den Bodentyp.

Feldname	Datentyp	Wertebereich	Beschreibung
SCENARIO	C40	Alphanumerisch	Nummer/Name des Szenarios
Neig	C10	{„N0“ „N1“ ... „N6“}	Hangneigung [Klasse]
F1	N14,8	Gleitkommawert	Hangneigung [%] zur geg. Klasse

Tabelle: sc_interz.dbf
Format: dBASEIV

Bemerkung: Szenario-Tabelle für Pflanzeninterzeption. Die Tabelle sc_interz.dbf gibt die prozentuale Pflanzeninterzeption in Abhängigkeit von Anbaufrucht und Datum/Zeitraum an. Derzeit ist ein Standard-Szenario definiert, welches (O-ECD2000) entnommen wurde.

Feldname	Datentyp	Wertebereich	Beschreibung
SCENARIO	C40	Alphanumerisch	Nummer/Name des Szenarios
FRUCHT	C20	{„Getreide“ „Rüben“}	Anbaufrucht
TAG_VON	N3,0	Ganzzahl 1-31	Zeitraum Anfang 1. Tag
MONAT_VON	N3,0	Ganzzahl 1-12	Zeitraum Anfang Monat
TAG_BIS	N3,0	Ganzzahl 1-31	Zeitraum Ende letzter Tag
MONAT_BIS	N3,0	Ganzzahl 1-12	Zeitraum Ende Monat
PI	N3,0	Ganzzahl 0-100	Pfl.-Interzeption [%] f. geg. Zeitraum

Tabelle: sc_soil.dbf
Format: dBASEIV

Bemerkung: Szenario-Tabelle für Bodentypen. Die Tabelle sc_soil.dbf ordnet den NLFB-Bodendaten den Bodentyp sandig (=„s“) oder lehmig (=„l“) zu.

Feldname	Datentyp	Wertebereich	Beschreibung
SCENARIO	C40	Alphanumerisch	Nummer/Name des Szenarios
HNBOD	C10	{„Lsu“ „Lt2“ ... }	Kürzel aus NLFB-GIS-Daten HNBOD
BOATYP	N15	{„LtTst“ „S=Si“ ... }	Kürzel aus NLFB-GIS-Daten BOATYP
SOIL	C10	{„l“ „s“}	Bodentyp, grobe Einteilung

Tabelle: sc_q.dbf
Format: dBASEIV

Bemerkung: Szenario-Tabelle für Runoff-Berechnung. Die Tabelle sc_q.dbf enthält die Runoff-Werte in Abhängigkeit von Bodenszenario und Regenmenge. Die Tabelle basiert auf Nachschlagetabellen von Lutz (1984) und Maniak (1992).

Es wurden drei Szenarios definiert:

Scenario 1: bare soil, high moisture
 Scenario 2: bare soil, low moisture
 Scenario 3: covered soil, low moisture

Feldname	Datentyp	Wertebereich	Beschreibung
SCENARIO	C40	Alphanumerisch	Nummer/Name des Szenarios
SOIL	C10	{„l“„s“} aus Tabelle sc_soil.dbf	Bodenklasse lehmig/sandig
P	N14,8	Gleitkommawert	Regenmenge [mm/Ereignis]
Q	N14,8	Gleitkommawert	Runoffmenge [mm/Ereignis]

Tabelle: sc_orgprz.dbf
Format: dBASEIV

Bemerkung: Szenario-Tabelle für Gehalt an organischem Kohlenstoff nach Humusklasse. Derzeit ist ein Szenario definiert.

Feldname	Datentyp	Wertebereich	Beschreibung
SCENARIO	C40	Alphanumerisch	Nummer/Name des Szenarios
HUMUS	C10	{„h1“...“h6““H“}	Humusgehalt d. Bodens [Klassen]
ORGPRZ	N14,4	Gleitkommawert	Org. Kohlenstoff [%]
FAKTOR	N10,4	Gleitkommawert	%oc = orgprz / faktor

Tabelle: sc_orgprz.dbf
Format: dBASEIV

Bemerkung: Tabelle mit Substanzen und Substanzeigenschaften (KOC, DT50, ...). Die Substanznamen dieser Tabelle müssen mit den Substanznamen aus dem GIS übereinstimmen.

Feldname	Datentyp	Wertebereich	Beschreibung
SCENARIO	C40	Alphanumerisch	Nummer/Name des Szenarios
SUBSTANZ	C20	Alphanumerisch	Name der Substanz
GRUPPE	C1	{„i““f““h“}	Insektizid, Fungizidm Herbizid
KOC	N20,4	Gleitkommawert	KOC-Wert [l/kg]
DT50	N20,10	Gleitkommawert	Halbwertszeit im Boden [d]
FRUCHT	C20	{„Getreide““Rüben“}	Anbaufrucht f. PSM-Anwendung
FRUCHTFKT	N20,2	Gleitkommawert	menge=fläche*aufwmenge*frfaktor
AWM	N20,8	Gleitkommawert	Anwendungsmenge [kg/ha]
AWM_GQM	N20,8	Gleitkommawert	Anwendungsmenge [g/m ²]

4. Inhalt der CD-ROM

Verzeichnis	Beschreibung
\Dokumentation	Benutzerhandbuch und technische Dokumentation als PDF-Dateien
\GIS	GIS-Projekt mit Avenue-Skripts (GIS-Data-Provider)
\Source	Quelltexte des Simulatorprogramm als Delphi-5-Projekt

Im Hauptverzeichnis der CD-ROM befinden sich die Installations-Dateien des PSM-Simulators (SETUP.EXE usw.).

5. Quelltexte

Nachfolgend werden die Quelltexte der wichtigsten GIS-Skripte sowie des Simulatormoduls angegeben. Die kompletten Quelltexte befinden sich auf der beigefügten CD-ROM.

5.1 GIS-Skripte

Nachfolgend werden wichtige GIS-Skripte aufgeführt, die für die Vorverarbeitung der Eingangsdaten entwickelt wurden. Als Programmiersprache kam Avenue® zum Einsatz. Avenue® ist die im verwendeten GIS (ArcView®) integrierte Programmiersprache.

Die kompletten Quelltexte befinden sich im GIS-Projekt „runoffsim.apr“ auf der CD-ROM.

Skript: GIS-Data-Provider

Das Avenue®-Skript „GIS-Data-Provider“ stellt die grundlegende Komponente des Informationssystems zur Gewinnung der für die Simulation erforderlichen Umland- und Eingangsdaten dar. Das Skript setzt voraus, dass die Rohdaten in Shape-Dateien konvertiert wurden und dass die unter 3. aufgeführten Felder nach Namen und Typen vorhanden sind.

```
' *****
' * Script : GIS-DataProvider 1.01 (Korridorpuffer)
' *       Gibt Umlandparameter für Acker-Teilflächen zurück
' *       - einige weitere Werte NEIG, ... werden gespeichert für PSM-Simulator
' * erstellt: 12.07.2000
' * geändert: 14.01.2003
' * Autor   : Michael Probst, TU-BS, AG-Limnologie
' *****

' *** Protokolldatei anlegen *****
doProt = true
if (doProt) then
  protfile = LineFile.Make("C:\Temp\dataprovider.log".AsFileName, #FILE_PERM_WRITE)
end

' *** Aktuelles View auswählen *****
theView = av.FindDoc("View1")

' *** Probestellenthema wählen *****
result = msgbox.listasstring(theView.GetThemes,"Themen","Probestellen-Thema wählen..")
if (result=NIL) then exit end

ProbenThema      = theView.FindTheme(result.AsString)
ProbenVTab      = ProbenThema.GetFTab
Proben_MSTNR    = ProbenVTab.FindField("MESSTNR")
Proben_RW       = ProbenVTab.FindField("rechtswert")
Proben_HW       = ProbenVTab.FindField("hochwert")
Proben_INTBEZ   = ProbenVTab.FindField("Int_bez")

' *** Probestellenpuffer-Thema wählen *****
result = msgbox.listasstring(theView.GetThemes,"Themen",
                             "Probestellen-PUFFER-Thema wählen..")
if (result=NIL) then exit end

PSTPuffThema    = theView.FindTheme(result.AsString)
PSTPuffVTab     = PSTPuffThema.GetFTab

' *** GEW x Probestellenpuffer wählen *****
result = msgbox.listasstring(theView.GetThemes,"Themen",
                             "Gewässer x Probestellen-PUFFER-Thema wählen..")
if (result=NIL) then exit end

GewXPstPuffThema = theView.FindTheme(Result.AsString)
GEWxPSTPuffVTab  = GewXPstPuffThema.GetFTab
AGEWxPSTPuff     = GewXPstPuffVTab.FindField("Area")      ' // Puffer-Teilfläche

' *** GEW x PST x Regen X Boden X Acker -Thema wählen *****
result = msgbox.listasstring(theView.GetThemes,"Themen",
```

```

"Gewässer x Probest. x Regen x Boden x Acker - Thema wählen...")
if (result=NIL) then exit end

GEWPSTXRBA_Thema = theView.FindTheme(result.AsString)
GEWPSTXRBA_VTab = GEWPSTXRBA_Thema.GetFTab

'GEWPSTXRBA_Q = GEWPSTXRBA_VTab.FindField("Q")
'GEWPSTXRBA_f1 = GEWPSTXRBA_VTab.FindField("f1")
GEWPSTXRBA_P = GEWPSTXRBA_VTab.FindField("Gridcode") ' Niederschlag mm
GEWPSTXRBA_Area = GEWPSTXRBA_VTab.FindField("Area") ' (Teil-) Fläche
GEWPSTXRBA_NutzTyp= GEWPSTXRBA_VTAB.FindField("Objart") ' Art der Nutzung Klarext "Acker-
land"
GEWPSTXRBA_Hnbod = GEWPSTXRBA_VTAB.FindField("Hnbod")
GEWPSTXRBA_Boatyp = GEWPSTXRBA_VTAB.FindField("Boatyp")
GEWPSTXRBA_Humus = GEWPSTXRBA_VTAB.FindField("Humus")

'### neu ab 15.08.2002 - V.2.1 -----
GEWPSTXRBA_NEIG = GEWPSTXRBA_VTAB.FindField("Neig") ' NEIGung für PSM-Sim

' *** Ergebnistabelle anlegen *****
TabName = "C:\TEMP\gis_data.dbf".AsFileName
ergVTable = VTab.MakeNew(TabName, dbase)
ergTable = Table.Make(ergVTable)

f_MSTNR = Field.Make("MESSTNR", #FIELD_CHAR, 10, 0)
f_INTBEZ = Field.Make("INT_BEZ", #FIELD_CHAR, 10, 0)
f_DATUM = Field.Make("DATUM", #FIELD_DATE, 10, 0)
f_UHRZEIT = Field.Make("UHRZEIT", #FIELD_CHAR, 5, 0)
f_RW = Field.Make("RW", #FIELD_LONG, 8, 0)
f_HW = Field.Make("HW", #FIELD_LONG, 8, 0)
f_AREA = Field.Make("AREA", #FIELD_DOUBLE, 14, 6) ' Fläche der Teilfl.
f_OBJART = Field.Make("OBJART", #FIELD_CHAR, 10, 0) ' Nutzungstyp, ObjArt
f_NEIG = Field.Make("NEIG", #FIELD_CHAR, 10, 0) ' Neigungsklasse Nl...
f_GEFPRZ = Field.Make("GEF_PRZ", #FIELD_DOUBLE, 14, 6) ' Gef. % ersetzt NEIG
f_HNBOD = Field.Make("HNBOD", #FIELD_CHAR, 10, 0)
f_BOATYP = Field.Make("BOATYP", #FIELD_CHAR, 20, 0)
f_P = Field.Make("P", #FIELD_DOUBLE, 14, 6) ' Regen
f_ABFLUSS = Field.Make("ABFLUSS", #FIELD_DOUBLE, 14, 6)
f_BREITE = Field.Make("BREITE", #FIELD_DOUBLE, 14, 6)
f_FRUCHT = Field.Make("FRUCHT", #FIELD_CHAR, 10, 0)
f_FINTERZ = Field.Make("F_INTERZ", #FIELD_DOUBLE, 14, 6)
f_RANDSTR = Field.Make("RANDSTR", #FIELD_DOUBLE, 14, 6)
f_HUMUS = Field.Make("HUMUS", #FIELD_CHAR, 10, 0)

f_P1NAME = Field.Make("P1_NAME", #FIELD_CHAR, 20, 0)
f_P1MENGE = Field.Make("P1_MENGE", #FIELD_DOUBLE, 14, 6)
f_P1D = Field.Make("P1_D", #FIELD_DOUBLE, 14, 6)
f_P1KOC = Field.Make("P1_KOC", #FIELD_DOUBLE, 14, 6)
f_P2NAME = Field.Make("P2_NAME", #FIELD_CHAR, 20, 0)
f_P2MENGE = Field.Make("P2_MENGE", #FIELD_DOUBLE, 14, 6)
f_P2D = Field.Make("P2_D", #FIELD_DOUBLE, 14, 6)
f_P2KOC = Field.Make("P2_KOC", #FIELD_DOUBLE, 14, 6)
f_P3NAME = Field.Make("P3_NAME", #FIELD_CHAR, 20, 0)
f_P3MENGE = Field.Make("P3_MENGE", #FIELD_DOUBLE, 14, 6)
f_P3D = Field.Make("P3_D", #FIELD_DOUBLE, 14, 6)
f_P3KOC = Field.Make("P3_KOC", #FIELD_DOUBLE, 14, 6)

ergVTable.AddFields({
    f_MSTNR, f_INTBEZ, f_DATUM, f_UHRZEIT, f_RW, f_HW,
    f_AREA, f_OBJART, f_NEIG, f_GEFPRZ, f_HNBOD, f_BOATYP, f_P,
    f_ABFLUSS, f_BREITE, f_FRUCHT, f_FINTERZ, f_RANDSTR, f_HUMUS,
    f_P1NAME, f_P1MENGE, f_P1D, f_P1KOC,
    f_P2NAME, f_P2MENGE, f_P2D, f_P2KOC,
    f_P3NAME, f_P3MENGE, f_P3D, f_P3KOC
})

av.ShowStopButton

ProbenBitmap = Bitmap.Make(ProbenVTab.GetNumRecords)
PSTPuffBitmap = Bitmap.Make(PSTPuffVTAB.GetNumRecords)
AnzPSTPuffer = PSTPuffVTab.GetNumRecords
AnzProbest = ProbenVTab.GetNumRecords

' *** Analyse beginnt *****
FOR EACH ProbestRec IN ProbenVTab ' Alle Probestellen durchlaufen

```

```

' *** Zunächst die Probestelle auswählen *****
ProbenBitmap.ClearAll
ProbenBitmap.Set(ProbestRec)
ProbenVTab.SetSelection(ProbenBitmap)
ProbenVTab.UpdateSelection

av.SetShowStatus(FALSE)

' *** PSTPuffer zu PST auswählen (Erste PST in ProbenTable = Letzter Puffer in PSTPuffTab)
PSTPuffBitmap.ClearAll
PSTPuffBitmap.Set(AnzPSTPuffer - ProbestRec - 1)
PSTPuffVTab.SetSelection(PSTPuffBitmap)
PSTPuffVTab.UpdateSelection

' *** GEWxPST-Puffer-Streifen zu PSTPuffer-Kreis auswählen *****
GewXPstPuffThema.ClearSelection
GewXPstPuffThema.SelectByTheme(PSTPuffThema,#FTAB_RELTYPE_ISCOMPLETELYWITHIN,0,
                                #VTAB_SELTYPE_NEW)

' *** Umland-Puffer nur auswählen, wenn GEWxPST-Puffer-Streifen vorhanden -----
if (GEWxPSTPuffVTab.GetSelection.Count > 0) then

' *** GEWxPSTxRxRxA zu GEWxPSTPuffer auswählen *****
GEWPSTxRBA_Thema.ClearSelection
GEWPSTxRBA_Thema.SelectByTheme(GEWxPSTPuffThema, #FTAB_RELTYPE_ISCOMPLETELYWITHIN,
                                0,#VTAB_SELTYPE_NEW)

iTFCCount=0 ' Teilflächenzähler

' *** AUSWERTUNG beginnt *****
for each GEWPSTxRBARec in GEWPSTxRBA_VTab.GetSelection ' jede TF innerhalb Puffer d. PST
  iTFCCount = iTFCCount + 1

  ' *** Nutzungstyp ermitteln
  ObjArt = GEWPSTxRBA_VTab.ReturnValue(GEWxPSTxRBA_NutzTyp, GEWPSTxRBARec)
  sNutzTyp = ""
  if (ObjArt = 4101) then sNutzTyp = "Ackerland" elseif
    (ObjArt = 4102) then sNutzTyp = "Grünland" elseif
    (ObjArt = 4107) then sNutzTyp = "Wald" elseif
    (ObjArt = 2111) then sNutzTyp = "Siedlung"
  else
    sNutzTyp = ""
  end

  if (sNutzTyp="Ackerland") then ' ----- nur Ackerteilflächen exportieren

    ' *** Probestellen-Daten in Ergebnistabelle schreiben
    recAdd = ergVTable.AddRecord
    ergVTable.SetValue(f_MSTNR, recAdd, ProbenVTab.ReturnValue(Proben_MSTNR, ProbestRec))
    ergVTable.SetValue(f_INTBEZ, recAdd, ProbenVTab.ReturnValue(Proben_INTBEZ, ProbestRec))
    ergVTable.SetValue(f_DATUM, recAdd, Date.Make("2000715","yyyyMMdd"))
    ergVTable.SetValue(f_UHRZEIT,recAdd, "09:00")
    ergVTable.SetValue(f_RW, recAdd, ProbenVTab.ReturnValue(Proben_RW, ProbestRec))
    ergVTable.SetValue(f_HW, recAdd, ProbenVTab.ReturnValue(Proben_HW, ProbestRec))
    ergVTable.SetValue(f_INTBEZ, recAdd, ProbenVTab.ReturnValue(Proben_INTBEZ, ProbestRec))
    ergVTable.SetValue(f_AREA, recAdd, GEWPSTxRBA_VTab.ReturnValue( GEWPSTxRBA_Area,
GEWPSTxRBARec))
    ergVTable.SetValue(f_OBJART, recAdd, sNutzTyp)
    ergVTable.SetValue(f_NEIG, recAdd, GEWPSTxRBA_VTab.ReturnValue(GEWxPSTxRBA_NEIG,
GEWPSTxRBARec))
    ergVTable.SetValue(f_GEFPRZ, recAdd, NIL)
    ergVTable.SetValue(f_HNBOD, recAdd, GEWPSTxRBA_VTab.ReturnValue(GEWxPSTxRBA_HNBOD,
GEWPSTxRBARec))
    ergVTable.SetValue(f_BOATYP, recAdd, GEWPSTxRBA_VTab.ReturnValue(GEWxPSTxRBA_BOATYP,
GEWPSTxRBARec))
    ergVTable.SetValue(f_HUMUS, recAdd, GEWPSTxRBA_VTab.ReturnValue(GEWxPSTxRBA_HUMUS,
GEWPSTxRBARec) )
    ergVTable.SetValue(f_P, recAdd, GEWPSTxRBA_VTab.ReturnValue(GEWxPSTxRBA_P,
GEWPSTxRBARec))

    ergVTable.SetValue(f_ABFLUSS,recAdd, 10)
    ergVTable.SetValue(f_BREITE, recAdd, 2)
    ergVTable.SetValue(f_FRUCHT, recAdd, "")
    ergVTable.SetValue(f_FINTERZ,recAdd, 0)
    ergVTable.SetValue(f_RANDSTR,recAdd, 0)

    ergVTable.SetValue(f_P1NAME, recAdd, "Ethofumesat")
    ergVTable.SetValue(f_P2NAME, recAdd, "Azoxystrobin")
    ergVTable.SetValue(f_P3NAME, recAdd, "Bifenox")

```

```

    ergVTable.SetValue(f_P1D, recAdd, 3)
    ergVTable.SetValue(f_P2D, recAdd, 3)
    ergVTable.SetValue(f_P3D, recAdd, 3)
end ' ..... if Ackerland

if (doProt) then
    MESSTNR = ProbenVTab.ReturnValue(Proben_MSTNR, ProbestRec)
    INTBEZ = ProbenVTab.ReturnValue(Proben_INTBEZ, ProbestRec)
    ProtFile.WriteElt(">>> " + "RecNo=" + ProbestRec.AsString +
        "/ TFNr="+iTFCount.AsString +
        "/ MessStnr=" + messtnr + " / INTBEZ=" + INTBEZ.AsString +
        "/ Typ=" + sNutzTyp)
end
END ' for each GEWx...   jede TF des MST-Puffers
av.SetShowStatus(TRUE)
else ' *** PSTxGEW-Puffer vorhanden? = nein
    if (doProt) then
        ProtFile.WriteElt("*** KEIN PSTxGEW-Puffer!!!")
    end
end'___if (GEWxPSTPuffVTab.GetSelection.Count > 0) then ... alle Puffer

' *** Positionszeiger aktualisieren usw.
av.ShowMsg("PstNr="+ProbestRec+1).AsString+" von " +
    AnzProbest.AsString+" / MSTNR="+messtnr.AsString)

more = av.SetStatus((ProbestRec+1)/AnzProbest*100)
av.ProcessAllInvals ' *** Bildschirm aktualisieren (langsam)
if (not more) then break end
END'...for each rec in ProbenVTab ... alle Probestellen

' *** Aufräumen *****
av.GetProject.RemoveDoc(av.FindDoc("table1")) ' *** ErgVTable löschen (ACHTUNG)

```

Skript: Berechne Area

```

' *****
' * Script   : Berechne Area
' * Beschr  : Area-Feld eines Themas neu berechnen
' *        : Feld wird angefügt, wenn es nicht existiert,
' *        : anschließend über area = [shape].returnarea neu berechnet
' * Autor   : Michael Probst
' * erstellt: 7.9.2000
' * geändert: 8.9.2000
' *****

sdone=""

' *** Aktuelles View auswählen
theView = av.FindDoc("View1")

' *** Probestellenthema wählen *****
result = msgbox.listasstring(theView.GetThemes,"Thema für Area-Berechnung wählen:",
    "Script: Area-Feld berechnen")

if (result=NIL) then exit end

theTheme = theView.FindTheme(result.AsString)
theFTab = theTheme.GetFTab

' *** Area-Feld anfügen, falls nicht vorhanden *****
if (theFTab.FindField("Area") = NIL) then
    av.ShowMsg("Area-Feld anfügen...")
    f_Area = Field.Make("Area", #FIELD_DOUBLE, 12,6)
    theFTab.SetEditable(TRUE)
    theFTab.AddFields({f_Area})
    theFTab.SetEditable(FALSE)
    sdone = "Area-Feld angefügt."
end

' *** Area-Feld neu berechnen: Area=[Shape].ReturnArea *****
f_Area = theFTab.Findfield("Area")

if(f_Area <> NIL) then
    expr = "([Shape].ReturnArea)"
    theFTab.SetEditable(TRUE)
    theTheme.ClearSelection
    theFTab.Calculate( expr, f_Area )

```

```

theFTab.SetEditable(FALSE)
sdone = sdone + " Area-Feld berechnet."
sdone = sdone + " (Thema: " + result.AsString + ")"
msgbox.Info(sdone, "Beendet")
else
msgbox.error("Berechnung fehlgeschlagen", "FEHLER")
end

```

Skript: Berechne_Q

```

' *****
' * Name      : Berechne_Q
' * Bem.      : Berechnet Q-Faktor abhängig von P und Soil
' * erstellt: 24.08.2000
' * geändert: 08.09.2000
' * Autor     : Michael Probst
' *****

' *** Aktuelles View auswählen
theView = av.FindDoc("View1")

' *** RegenXBoden-Thema wählen *****
result = msgbox listasstring(theView.GetThemes, "REGENxBODEN-Thema wählen:",
                             "Script: Berechne_Q")

if (result=NIL) then exit end

RxBThema = theView.FindTheme(result.AsString)
RxBFTab  = RxBThema.GetFTab

' --- Q-Feld an RXB anfügen, falls nicht vorhanden -----
if (RxBFTab.FindField("Q") = NIL) then
  av.ShowMsg("Q-Feld anfügen...")
  f_RXB_Q   = Field.Make("Q", #FIELD_DOUBLE, 12,6)
  RxBFTab.SetEditable(TRUE)
  RxBFTab.AddFields({f_RXB_Q})
  RxBFTab.SetEditable(FALSE)
end

av.ShowStopButton
RxBFTab.SetEditable(TRUE)

for each rec in RxBFTab

  ' --- Q abhängig von Soil und P berechnen ---
  Soil = RxBFTab.ReturnValue( RxBFTab.FindField("Soil"), rec).AsString
  P     = RxBFTab.ReturnValue( RxBFTab.FindField("Gridcode"), rec)
  Q     = -1

  if ((Soil = "sandy") AND (P=06)) then Q=0.04 end
  if ((Soil = "sandy") AND (P=07)) then Q=0.08 end
  if ((Soil = "sandy") AND (P=08)) then Q=0.12 end
  if ((Soil = "sandy") AND (P=09)) then Q=0.18 end
  if ((Soil = "sandy") AND (P=10)) then Q=0.23 end
  if ((Soil = "sandy") AND (P=11)) then Q=0.31 end
  if ((Soil = "sandy") AND (P=12)) then Q=0.38 end
  if ((Soil = "sandy") AND (P=13)) then Q=0.47 end
  if ((Soil = "sandy") AND (P=14)) then Q=0.56 end
  if ((Soil = "sandy") AND (P=15)) then Q=0.67 end
  if ((Soil = "sandy") AND (P=16)) then Q=0.78 end
  if ((Soil = "sandy") AND (P=17)) then Q=0.91 end
  if ((Soil = "sandy") AND (P=18)) then Q=1.03 end
  if ((Soil = "sandy") AND (P=19)) then Q=1.17 end
  if ((Soil = "sandy") AND (P=20)) then Q=1.31 end
  if ((Soil = "sandy") AND (P=21)) then Q=1.47 end
  if ((Soil = "sandy") AND (P=22)) then Q=1.63 end
  if ((Soil = "sandy") AND (P=23)) then Q=1.81 end
  if ((Soil = "sandy") AND (P=24)) then Q=1.98 end
  if ((Soil = "sandy") AND (P=25)) then Q=2.17 end
  if ((Soil = "sandy") AND (P=26)) then Q=2.35 end
  if ((Soil = "sandy") AND (P=27)) then Q=2.56 end
  if ((Soil = "sandy") AND (P=28)) then Q=2.76 end
  if ((Soil = "sandy") AND (P=29)) then Q=2.98 end
  if ((Soil = "sandy") AND (P=30)) then Q=3.19 end

  if ((Soil = "loamy") AND (P=06)) then Q=0.19 end
  if ((Soil = "loamy") AND (P=07)) then Q=0.27 end
  if ((Soil = "loamy") AND (P=08)) then Q=0.35 end

```



```

if ((Soil = "loamy") AND (P=09)) then Q=0.46 end
if ((Soil = "loamy") AND (P=10)) then Q=0.56 end
if ((Soil = "loamy") AND (P=11)) then Q=0.69 end
if ((Soil = "loamy") AND (P=12)) then Q=0.81 end
if ((Soil = "loamy") AND (P=13)) then Q=0.96 end
if ((Soil = "loamy") AND (P=14)) then Q=1.11 end
if ((Soil = "loamy") AND (P=15)) then Q=1.28 end
if ((Soil = "loamy") AND (P=16)) then Q=1.45 end
if ((Soil = "loamy") AND (P=17)) then Q=1.64 end
if ((Soil = "loamy") AND (P=18)) then Q=1.83 end
if ((Soil = "loamy") AND (P=19)) then Q=2.04 end
if ((Soil = "loamy") AND (P=20)) then Q=2.25 end
if ((Soil = "loamy") AND (P=21)) then Q=2.49 end
if ((Soil = "loamy") AND (P=22)) then Q=2.72 end
if ((Soil = "loamy") AND (P=23)) then Q=2.97 end
if ((Soil = "loamy") AND (P=24)) then Q=3.22 end
if ((Soil = "loamy") AND (P=25)) then Q=3.49 end
if ((Soil = "loamy") AND (P=26)) then Q=3.76 end
if ((Soil = "loamy") AND (P=27)) then Q=4.05 end
if ((Soil = "loamy") AND (P=28)) then Q=4.34 end
if ((Soil = "loamy") AND (P=29)) then Q=4.65 end
if ((Soil = "loamy") AND (P=30)) then Q=4.95 end

' --- Q-Wert in Tabelle eintragen ---
RxBFTab.SetValue(RxBFTab.FindField("Q"), rec, Q)

' --- Positionszeiger aktualisieren
av.ShowMsg("Q - Datensatz "+ (rec+1).AsString + " von "+
          RxBFTab.GetNumRecords.AsString)

more = av.SetStatus( (rec+1) / RxBFTab.GetNumRecords * 100)

if (not more) then break end
end' for each...

```

Skript: Berechne_Soil_f1

```

' *****
' * Name      : Berechne Soil und f1
' * Bem.     : Einordnung der Bodentypen nach "loamy" und "sandy"
' *         : Berechnet f1-Faktor aus Neigung
' * erstellt: 17.08.2000
' * geändert: 21.02.2001
' * Autor    : Michael Probst
' *****

' *** Aktuelles View auswählen
theView = av.FindDoc("View1")

' *** Boden-Thema wählen *****
result = msgbox.listasstring(theView.GetThemes,"BODEN-Thema wählen:",
                          "Script: Berechne Soil und f1")

if (result=NIL) then exit end

BodenThema = theView.FindTheme(result.AsString)
BodenVTab  = BodenThema.GetFTab

' --- Soil-Feld an Boden anfügen, falls nicht vorhanden -----
if (BodenVTab.FindField("Soil") = NIL) then
  av.ShowMsg("Soil-Feld anfügen...")
  f_Boden_Soil = Field.Make("Soil", #FIELD_CHAR, 10,0)
  BodenVTab.SetEditable(TRUE)
  BodenVTab.AddFields({f_Boden_Soil})
  BodenVTab.SetEditable(FALSE)
end

' --- f1-Feld an Boden anfügen, falls nicht vorhanden -----
if (BodenVTab.FindField("f1") = NIL) then
  av.ShowMsg("f1-Feld anfügen...")
  f_Boden_f1 = Field.Make("f1", #FIELD_DOUBLE, 12, 6)
  BodenVTab.SetEditable(TRUE)
  BodenVTab.AddFields({f_Boden_f1})
  BodenVTab.SetEditable(FALSE)
end

av.ShowStopButton
BodenVTab.SetEditable(TRUE)

```

```

for each rec in BodenVTab
  ' --- fl abhängig von "Neig" (Neigung) berechnen

  Neigung = BodenVTab.ReturnValue( BodenVTab.FindField("Neig") , rec).AsString
  if (Neigung = "N0" ) then fl = 0.022953 elseif
    (Neigung = "N1" ) then fl = 0.0699689 elseif
    (Neigung = "N2" ) then fl = 0.1901484 elseif
    (Neigung = "N3" ) then fl = 0.5499967 elseif
    (Neigung = "N4" ) then fl = 1 elseif
    (Neigung = "N5" ) then fl = 1 elseif
    (Neigung = "N6" ) then fl = 1 else
    fl = -1
  end

  ' --- Soil abhängig von HnBod berechnen ---
  HnBod = BodenVTab.ReturnValue( BodenVTab.FindField("Hnbod") , rec).AsString
  if(
    (HnBod = "Lsu" ) or
    (HnBod = "Lt2" ) or
    (HnBod = "Lt3" ) or
    (HnBod = "Sl3" ) or
    (HnBod = "Sl4" ) or
    (HnBod = "Slu" ) or
    (HnBod = "Tu3" ) or
    (HnBod = "Ul3" ) or
    (HnBod = "Us" ) or
    (HnBod = "Ut3" )
  ) then Soil = "loamy"

  elseif(
    (HnBod = "Hn" ) or
    (HnBod = "Hh" ) or
    (HnBod = "Hhs" ) or
    (HnBod = "fS" ) or
    (HnBod = "fSms" ) or
    (HnBod = "mSfs" ) or
    (HnBod = "Sl2" )
  ) then Soil = "sandy"
  else
    Soil = "-1" ' --- undefiniert ---
  end

  BoaTyp = BodenVTab.ReturnValue( BodenVTab.FindField("Boatyp") , rec).AsString

  if ((HnBod = "Vn" ) and (BoaTyp = "Gt" )) then Soil = "loamy" end
  if ((HnBod = "Vn" ) and (BoaTyp = "Ls//Lt=Tst" )) then Soil = "loamy" end '?!
  if ((HnBod = "Vn" ) and (BoaTyp = "Ls//Qu" )) then Soil = "loamy" end
  if ((HnBod = "Vn" ) and (BoaTyp = "Ls//Sl=Gw" )) then Soil = "loamy" end
  if ((HnBod = "Vn" ) and (BoaTyp = "Ls//Ust" )) then Soil = "loamy" end
  if ((HnBod = "Vn" ) and (BoaTyp = "Lt/Kst" )) then Soil = "loamy" end
  if ((HnBod = "Vn" ) and (BoaTyp = "Lt\Kst" )) then Soil = "loamy" end
  if ((HnBod = "Vn" ) and (BoaTyp = "Lt\Tst" )) then Soil = "loamy" end
  if ((HnBod = "Vn" ) and (BoaTyp = "S" )) then Soil = "sandy" end
  if ((HnBod = "Vn" ) and (BoaTyp = "S=Sl" )) then Soil = "sandy" end
  if ((HnBod = "Vn" ) and (BoaTyp = "Sl" )) then Soil = "sandy" end
  if ((HnBod = "Vn" ) and (BoaTyp = "Sl//Lt=Qu" )) then Soil = "loamy" end '?!
  if ((HnBod = "Vn" ) and (BoaTyp = "Sl//S=Sst" )) then Soil = "sandy" end

  if ((HnBod = "Vb" ) and (BoaTyp = "Hn//F" )) then Soil = "sandy" end
  if ((HnBod = "Vb" ) and (BoaTyp = "Ls//Gb" )) then Soil = "loamy" end
  if ((HnBod = "Vb" ) and (BoaTyp = "Ls//Sl=Gw" )) then Soil = "loamy" end
  if ((HnBod = "Vb" ) and (BoaTyp = "Ls//Sst" )) then Soil = "loamy" end
  if ((HnBod = "Vb" ) and (BoaTyp = "Ls//Ust" )) then Soil = "loamy" end
  if ((HnBod = "Vb" ) and (BoaTyp = "Ls=Tst" )) then Soil = "loamy" end
  if ((HnBod = "Vb" ) and (BoaTyp = "Lt//Kst" )) then Soil = "loamy" end
  if ((HnBod = "Vb" ) and (BoaTyp = "Lt/Kst" )) then Soil = "loamy" end
  if ((HnBod = "Vb" ) and (BoaTyp = "Lt/Tst" )) then Soil = "loamy" end
  if ((HnBod = "Vb" ) and (BoaTyp = "Lt\Kst" )) then Soil = "loamy" end
  if ((HnBod = "Vb" ) and (BoaTyp = "Lt\X=Kst" )) then Soil = "loamy" end
  if ((HnBod = "Vb" ) and (BoaTyp = "Lt\Yst" )) then Soil = "loamy" end
  if ((HnBod = "Vb" ) and (BoaTyp = "Sl" )) then Soil = "sandy" end
  if ((HnBod = "Vb" ) and (BoaTyp = "Sl/Tu=Tst" )) then Soil = "loamy" end
  if ((HnBod = "Vb" ) and (BoaTyp = "Sl=Sst" )) then Soil = "sandy" end
  if ((HnBod = "Vb" ) and (BoaTyp = "Tu=Tst" )) then Soil = "loamy" end
  if ((HnBod = "Vb" ) and (BoaTyp = "Ul//G" )) then Soil = "loamy" end
  if ((HnBod = "Vb" ) and (BoaTyp = "Ul//Sl_Sst" )) then Soil = "loamy" end

```

```

if ((HnBod = "Vb") and (BoaTyp = "U1=S1_Sst")) then Soil = "loamy" end
if ((HnBod = "Vb") and (BoaTyp = "Us=S1")) then Soil = "loamy" end
if ((HnBod = "Vb") and (BoaTyp = "Ut//Ls=Lt_Ust")) then Soil = "loamy" end
if ((HnBod = "Vb") and (BoaTyp = "Ut//Lt=Gw")) then Soil = "loamy" end
if ((HnBod = "Vb") and (BoaTyp = "Ut//Lt=Kst")) then Soil = "loamy" end

if ((HnBod = "Vbn") and (BoaTyp = "Ls//Gt")) then Soil = "loamy" end
if ((HnBod = "Vbn") and (BoaTyp = "Ls//Lt=Gt")) then Soil = "loamy" end
if ((HnBod = "Vbn") and (BoaTyp = "Ls//Lt=Ust")) then Soil = "loamy" end
if ((HnBod = "Vbn") and (BoaTyp = "Ls//Sst")) then Soil = "loamy" end
if ((HnBod = "Vbn") and (BoaTyp = "Ls//Ust")) then Soil = "loamy" end
if ((HnBod = "Vbn") and (BoaTyp = "Ls\Tu=Tst")) then Soil = "loamy" end
if ((HnBod = "Vbn") and (BoaTyp = "Ls=Lt=Ls_Tst")) then Soil = "loamy" end
if ((HnBod = "Vbn") and (BoaTyp = "Lt/Tu//Kst")) then Soil = "loamy" end
if ((HnBod = "Vbn") and (BoaTyp = "Lt/Tu/Kst")) then Soil = "loamy" end
if ((HnBod = "Vbn") and (BoaTyp = "Lt\Tu//Lt=Tst")) then Soil = "loamy" end

if ((HnBod = "Su3") and (BoaTyp = "Su//S")) then Soil = "sandy" end
if ((HnBod = "Su4") and (BoaTyp = "Su//S")) then Soil = "sandy" end

' --- Boden- und fl-Werte in Tabelle eintragen ---
BodenVTab.SetValue(BodenVTab.FindField("fl"), rec, fl)
BodenVTab.SetValue(BodenVTab.FindField("Soil"), rec, soil)

' --- Positionszeiger aktualisieren
av.ShowMsg("Bodentyp/Neigung - Datensatz "+ (rec+1).AsString + " von "+ BodenV-
Tab.GetNumRecords.AsString)
more = av.SetStatus( (rec+1) / BodenVTab.GetNumRecords * 100)
if (not more) then break end
end' for each...
BodenVTab.SetEditable(FALSE)
MsgBox.Info("Soil, fl wurden berechnet (Thema: "+result.AsString+)", "Beendet:")

```

5.2 Der PSM-Simulator

Entwicklungsumgebung

Für die Entwicklung des PSM-Simulatorprogramms wurde die Entwicklungsumgebung Delphi® 5 Professional der Firma Borland verwendet. Die Programmiersprache ist Object Pascal®. Es wurden nur die mitgelieferten Standardkomponenten und Klassenbibliotheken verwendet.

Quelltexte

Nachfolgend werden die wichtigsten Delphi-Units (Quelltextmodule) des PSM-Simulators dargestellt. Die kompletten Quelltexte befinden sich auf der CD-ROM.

Unit: uGlobal

```

Unit uGlobal;

interface

const version = 'Version 1.1 / 10.12.2002';
var   iAnzPSM : integer = 15; // Anzahl PSM in der Tabelle; max. z.Z. 15
      sInputTblName : String = '';
      sHomePath      : String;
implementation
end.

```

Unit: uMain

```

unit uMain;
// *****
// Informationssystem zur ökotoxikologischen Bewertung der Gewässergüte
// in bezug auf Pflanzenschutzmitteleinträge aus der Landwirtschaft
// TU-Braunschweig, AG Limnologie und Ökotoxikologie
// Author : Michael Probst
// erstellt: 13.05.2002

```

```

// geändert: 19.08.2002
// *****

interface

type
  TfrmMain = class(TForm)
    MainMenu: TMainMenu;
    Datei: TMenuItem;
    ffnen1: TMenuItem;
    procedure BeendenExecute(Sender: TObject);
    procedure OeffnenExecute(Sender: TObject);
    procedure FormCreate(Sender: TObject);
    procedure BerechnenExecute(Sender: TObject);
    procedure InfoExecute(Sender: TObject);
    procedure acScGeneratorExecute(Sender: TObject);
    procedure cb_flKeyDown(Sender: TObject; var Key: Word;
      Shift: TShiftState);
  private
    { Private-Deklarationen }
    procedure ShowStatusMsg(sMsg:String;iPanel:Integer);
    procedure OpenEditForm(tblName:String);
  public
    { Public-Deklarationen }
    procedure GetMstList;
  end;

var
  frmMain: TfrmMain;

implementation

procedure TfrmMain.GetMstList;
var sMst, sDate, sTime: String;
begin
  ShowStatusMsg('Datei: ' + sInputTblName,0);

  // ----- Untersuchungsliste füllen
  with DM do begin
    cb_probe.Clear;
    cb_probe.items.add('<Alle>');

    qrytmp.sql.text := 'SELECT messtnr, datum, uhrzeit FROM "' + sInputTblName +
      '" GROUP BY messtnr, datum, uhrzeit' +
      ' ORDER BY messtnr, datum, uhrzeit';

    qrytmp.open;
    qrytmp.first;

    while not qrytmp.eof do begin
      sMst := ''; sDate := ''; sTime := '';

      try sMst := qryTmp['messtnr']; except;end;
      try sDate := DateToStr(qrytmp['datum']); except; end;
      try sTime := qryTmp['uhrzeit']; except; end;

      // ----- Messtnr auf 10 Z. füllen
      sMst := sMst + StringOfChar(' ', 10 - Length(sMst));
      sDate := sDate + StringOfChar(' ', 12 - Length(sDate));
      sTime := sTime + StringOfChar(' ', 6 - Length(sTime));

      cb_probe.Items.Add( sMst + ' ' + sDate + ' ' + sTime);
      qrytmp.next;
    end;//while
    qrytmp.close;
    cb_probe.itemindex := 0;
  end;//with dm
end;

// -----
procedure TfrmMain.OeffnenExecute(Sender: TObject);
begin
  OpenDialog1.InitialDir := sHomePath;
  if OpenDialog1.Execute then begin
    sInputTblName := OpenDialog1.FileName;
    GetMstList;
  end;
end;
end;

```

```

// -----
procedure TfrmMain.BerechnenExecute(Sender: TObject);
var i,abflfkt : integer;
    sP       : String;
    day,month,year:word;
    mengetf  : double;           // akk. PSM-Menge je Teilfläche
    mw_l_tf  : double;           // Mittl. L% der Teilfläche
    tStart   : TDateTime;       // Für Zeitmessung
    koc,dt50 : double;
    sMst, sDate, sTime, scbText : String;
    bAllMode : boolean;         // Flag: Alle / eine Stelle auswert.
    ifndPSM  : integer;         // tatsächlich gefundene PSM (<>NULL)
    sBem     : String;          // Bemerkung zu Korrekturen etc.

begin
  if sInputTblName='' then begin           // Wenn keine Datei geöffnet
    ShowMessage('Keine Datei geöffnet.');// -> verlassen
    exit;
  end;

  tStart := Time;

  try
    if sInputTblName<>' ' then
      begin
        with DM do begin
          sMst := ''; sDate := ''; sTime := '';
          sCbText := cb_probe.items[cb_probe.itemindex];
          sMst := Trim( Copy(sCbText, 1, 10) ); // Mst.-Nr. aus "1122 " extrah.
          sDate := Trim( Copy(sCbText, 11, 12) ); // Datum "
          sTime := Trim( Copy(sCbText, 24, 6) ); // Zeit "

          if cb_Probe.Items[cb_probe.itemindex] = '<Alle>' then
            bAllMode := TRUE else bAllMode := FALSE;

          if bAllMode then begin // ----- wenn alle Mst ausgewählt
            qryInputTbl.SQL.Text := 'SELECT * FROM ' + sInputTblName + ' ';
            lMenge.Caption := '----';
            llPrz.Caption := '----';
          end
          else // ----- wenn nur eine Mst ausgewählt
            qryInputTbl.Sql.Text := 'SELECT * FROM ' + sInputTblName + ' ' +
              ' WHERE messtnr = ' + sMst + ' ' +
              ' AND datum = ' + sDate + ' ' +
              ' AND uhrzeit = ' + sTime + ' ';

          qryInputTbl.Open;

          frmProgress.abbruch := false;
          frmProgress.ProgressBar1.Min := 0;
          frmProgress.ProgressBar1.Max := qryInputTbl.RecordCount;
          frmProgress.ProgressBar1.Position := 0;
          frmProgress.Label1.Caption := 'Simulation läuft...';
          frmProgress.Label2.Caption := '';
          frmProgress.Show;
          frmProgress.Update;

          // ----- Ergebnistabelle je Teilfläche und PSM anlegen
          CreateResultTable1;

          tblTmp.TableName := 'result1.dbf';
          tblTmp.Exclusive := TRUE;
          tblTmp.Open;
          tblTmp.EmptyTable;
          tblTmp.First;

          qryInputTbl.first;

          // for i:=1 to 11400 do
          //   qryinputTbl.next;

          while (not qryInputTbl.eof) AND (not frmProgress.abbruch) do begin
            sBem := '';

            frmProgress.ProgressBar1.Position := qryInputTbl.RecNo;
            frmProgress.Label2.Caption :=
              Format('Teilfläche %d von %d', [qryInputTbl.RecNo, qryInputTbl.RecordCount]) +
              #13+'MESSTNR='+qryInputTbl['messtnr'] + ', Area='+

```

```

FloatToStr(qryInputTbl['area']) ;

//frmProgress.Update;
ShowStatusMsg(Format('Berechne Datensatz %d von %d',
  [qryInputTbl.RecNo, qryInputTbl.RecordCount],1));

Application.ProcessMessages;

// ----- Initialisieren
mengetf := 0;
mw_l_tf := 0;
ifndPSM := 0;

tblTmp.Append;
// ----- Eingangsdaten übertragen
try
  tblTmp['messtnr'] := qryInputTbl['messtnr'];
  tblTmp['int_bez'] := qryInputTbl['int_bez'];
  tblTmp['datum'] := qryInputTbl['datum'];
  tblTmp['uhrzeit'] := qryInputTbl['uhrzeit'];
  tblTmp['rw'] := qryInputTbl['rw'];
  tblTmp['hw'] := qryInputTbl['hw'];
  tblTmp['area'] := qryInputTbl['area'];
  tblTmp['objart'] := qryInputTbl['objart'];
  tblTmp['neig'] := qryInputTbl['neig'];
  tblTmp['gef_prz'] := qryInputTbl['gef_prz'];
  tblTmp['hnbod'] := qryInputTbl['hnbod'];
  tblTmp['boatyp'] := qryInputTbl['boatyp'];
  tblTmp['p'] := qryInputTbl['p'];
  tblTmp['abfluss'] := qryInputTbl['abfluss'];
  tblTmp['breite'] := qryInputTbl['breite'];
  tblTmp['frucht'] := qryInputTbl['frucht'];
  tblTmp['f_interz'] := qryInputTbl['f_interz'];
  tblTmp['humus'] := qryInputTbl['humus'];
except
  sBem := sBem + 'F:SrcVal-';
end;

// Datum setzen, falls Editfeld Wert enthält
if (ed_Datum.text <> '' ) then begin
  tblTmp['datum'] := ed_Datum.Text;
end;

// ----- Ergebnisse berechnen
if qryInputTbl['gef_prz'] = NULL then // Neigungsklasse aus Sz.-Tabelle
  try
    tblTmp['f1'] := get_f1(cb_f1.items[cb_f1.itemindex],qryInputTbl['neig']);
  except
    tblTmp['f1'] := -1;
    sBem := sBem + 'F:NEIG-';
  end
else // %-Neigung aus Input-Tabelle
  tblTmp['f1'] := qryInputTbl['gef_prz'];

// ----- f3=0,83^wbz (wbz=Breite des Randstreifens [m])
if (ed_f3.text = '') then begin // aus Datei
  tblTmp['f3'] := Power(0.83, qryInputTbl['randstr']);
  tblTmp['randstr'] := qryInputTbl['randstr'];
end else begin // aus Editfeld
  tblTmp['randstr'] := strtofloat(ed_f3.text);
  tblTmp['f3'] := Power(0.83, strtofloat(ed_f3.text));
end;

try
  tblTmp['soil'] := get_soil(cb_soil.items[cb_soil.itemindex],
    qryInputTbl['hnbod'],qryInputTbl['boatyp']);
except
  tblTmp['soil'] := '?';
  sBem := sBem + 'F:HNBOD,BOATYP-';
end;

try
  tblTmp['q'] := get_q( cb_q.items[cb_q.itemindex],
    tblTmp['soil'], qryInputTbl['p']);
except
  tblTmp['q'] := -1;
  sBem := sBem + 'F:SOIL,P-';
end;

```



```

end;

try
  tblTmp['orgprz'] := get_orgprz(cb_orgprz.items[cb_orgprz.itemindex],
                                qryInputTbl['humus']);
except
  tblTmp['orgprz'] := -1;
  sBem := sBem + 'F:HUMUS-';
end;

try
  tblTmp['przoc'] := get_przoc(cb_orgprz.items[cb_orgprz.itemindex],
                                qryInputTbl['humus']);
except
  tblTmp['przoc'] := -1;
  sBem := sBem + 'F:HUMUS-';
end;

// ----- Stoffspezifische Berechnungen
for i:=1 to iAnzPSM do begin // ----- PSMs kopieren
  try
    sP := 'P'+IntToStr(i); // "P1_Name" usw. Strings zusammensetzen

    tblTmp[sP+'_name'] := qryInputTbl[sP+'_name'];
    tblTmp[sP+'_menge'] := qryInputTbl[sP+'_menge'];

    if (ed_d.text = '') then // aus Datei
      tblTmp[sP+'_d'] := qryInputTbl[sP+'_d']
    else // aus EditFeld
      tblTmp[sP+'_d'] := strtofloat(ed_d.text);

    koc := 0;
    dt50 := 0;

    // ----- KOC, DT50
    get_psm_parameters( cb_psm.items[cb_psm.itemindex] ,
                        qryInputTbl[sP+'_name'], koc, dt50);

    tblTmp[sP+'_koc'] := koc;
    {
      get_koc(cb_psm.items[cb_psm.itemindex],
              qryInputTbl[sP+'_name']);
    }

    // ----- KD(jePSM)=%OC*KOC(jePSM)/100
    tblTmp[sP+'_kd'] := tblTmp['przoc'] * tblTmp[sP+'_koc'] / 100;

    tblTmp[sP+'_dt50'] := dt50;
    {
      get_dt50(cb_psm.items[cb_psm.itemindex],
              qryInputTbl[sP+'_name']);
    }

    // Interzeption = f(scenario,frucht,datum), frucht=f(scen,substanz)
    tblTmp[sP+'_f2'] :=
      1 - ( get_Interzeption( cb_f2.items[cb_f2.itemindex],
                              get_Frucht( cb_psm.items[cb_psm.itemindex],
                                          tblTmp[sP+'_name']),
                              tblTmp['datum'] ) ) / 100;

  try
    // ----- L% (je PSM)=Q/P*f1*f2*f3*e^((d*ln2)/DT50)*100/(1+KD)
    tblTMP[sP+'_l'] :=
      (
        ( tblTmp['q'] / tblTmp['p'] ) * // q/p
        tblTmp['f1'] * tblTmp[sP+'_f2'] * tblTmp['f3'] * // *f1*f2*f3
        EXP( (-tblTmp[sP+'_d'] * LN(2) ) / tblTmp[sP+'_dt50'] ) *
        100
      ) /
      ( 1 + tblTmp[sP+'_kd'] );
  except
    tblTmp[sP+'_l'] := -1;
  end;

  try
    // ----- Anwendungsmenge berechnen

    // ----- Fläche [m²] * Menge [g/m²]

```

```

        if tblTmp[sP+'_menge'] > 0 then
            tblTmp[sP+'_anw'] := tblTMP['area'] * tblTmp[sP+'_menge']
        else
            tblTmp[sP+'_anw'] := tblTMP['area'] *
                get_AufwMenge(cb_psm.items[cb_psm.itemindex],tblTmp[sP+'_name']) *
                get_FruchtFaktor(cb_psm.items[cb_psm.itemindex],tblTmp[sP+'_name']);
    except
        tblTmp[sP+'_anw'] := -1;
    end;

    try
        // ----- Menge je PSM berechnen
        DecodeDate(tblTmp['datum'],year,month,day);

        case month of
            6,7,8: abflfkt := 3600;           // Juni-August
        else
            abflfkt := 3 * 3600;           // sonst
        end;//case

        tblTmp[sP+'_mengeir'] :=
            tblTmp[sP+'_l'] * tblTmp[sP+'_anw'] / 100 * 1000000 /
            tblTmp['abfluss'] / abflfkt;
    except
        tblTmp[sP+'_mengeir'] := -1;
    end;

    // ----- Gesamtmenge PSM je Teilfläche berechnen
    mengetf := mengetf + tblTmp[sP+'_mengeir'];

    // ----- Mittl. L% je Teilfläche berechnen
    mw_l_tf := mw_l_tf + tblTmp[sP+'_l'];

    if tblTmp[sP+'_l'] <> NULL then inc(iFndPSM); // nur wirklich vorh. Stoffe
zählen

        except
        end;
    end;//for ... to iAnzPSM

    try
        tblTmp['mwltf'] := mw_l_tf / ifndPSM; // Mittl. L% berechnen
    except
        tbltmp['mwltf'] := 999;
    end;

    tblTmp['fndPSM'] := iFndPSM;
    tblTmp['mengetf'] := mengetf;
    tblTmp['bemerkung'] := sBem;

    tblTmp.Post;
    qryInputTbl.Next;
end;//while not qrytmp.eof

qryInputTbl.Close;
tblTmp.Close;

// ----- Aggregation zu Puffern -----
with dm.qrytmp do
begin
    // 1. Daten per SQL aggregieren : Summen und Mittelwerte
    Sql.clear;
    Sql.Add('SELECT messtnr, int_bez, datum, uhrzeit, rw, hw,');
    Sql.Add('COUNT(*) AS AnzTF, SUM(mengetf) AS Menge_SUM,');
    Sql.Add('AVG(mwltf) AS MW_L');
    Sql.Add('FROM result1.dbf');
    Sql.Add('GROUP BY messtnr, int_bez, datum, uhrzeit, rw, hw');
    Open;

    // 2. Ergebnis per "batchmove" nach result2.dbf kopieren
    dm.batchmove1.source := dm.qrytmp;
    dm.tblTmp.TableName := 'result2.dbf';
    dm.batchmove1.Destination := dm.tblTmp;
    dm.BatchMove1.Execute;

    // ----- Ergebnisse anzeigen
    if NOT bAllMode then begin // nur bei Einzelstellenmodus
        lMenge.Caption := qryTmp['menge_sum'];
    end;
end;

```

```

        LLPrz.Caption := qryTmp['mw_1'];
        end;//if not bAllMode

        Close;
        end;
        end;//with DM
        end;//if sInputTblName<>'...'
        frmProgress.Close;
        ShowStatusMsg('bereit, t=' + TimeToStr(time-tStart),1);
    finally
        end;
end;

// -----
procedure TfrmMain.FormCreate(Sender: TObject);
begin
    StatusBar1.Panels[2].Text := uGlobal.Version;
    sHomePath := Application.Exename;
    ShowStatusMsg('Keine Datei geöffnet.',0);
    ShowStatusMsg('',1);

    with dm do begin
        // ----- Comboboxen mit Szenarien füllen
        cb_f1.Clear;
        qrytmp.sql.text := 'SELECT DISTINCT scenario FROM sc_f1 ORDER by scenario';
        qrytmp.open;
        qrytmp.first;
        while not qrytmp.eof do begin
            cb_f1.Items.Add( dm.qrytmp['scenario'] );
            qrytmp.next;
        end;//while
        qrytmp.close;
        cb_f1.ItemIndex := 0;

        cb_f2.Clear;
        qrytmp.sql.text := 'SELECT DISTINCT scenario FROM sc_interz ORDER by scenario';
        qrytmp.open;
        qrytmp.first;
        while not qrytmp.eof do begin
            cb_f2.Items.Add( dm.qrytmp['scenario'] );
            qrytmp.next;
        end;//while
        qrytmp.close;
        cb_f2.ItemIndex := 0;

        cb_soil.Clear;
        qrytmp.sql.text := 'SELECT DISTINCT scenario FROM sc_soil ORDER by scenario';
        qrytmp.open;
        qrytmp.first;
        while not qrytmp.eof do begin
            cb_soil.Items.Add( dm.qrytmp['scenario'] );
            qrytmp.next;
        end;//while
        qrytmp.close;
        cb_soil.ItemIndex := 0;

        cb_q.Clear;
        qrytmp.sql.text := 'SELECT DISTINCT scenario FROM sc_q ORDER by scenario';
        qrytmp.open;
        qrytmp.first;
        while not qrytmp.eof do begin
            cb_q.Items.Add( dm.qrytmp['scenario'] );
            qrytmp.next;
        end;//while
        qrytmp.close;
        cb_q.ItemIndex := 0;

        cb_orgprz.Clear;
        qrytmp.sql.text := 'SELECT DISTINCT scenario FROM sc_orgprz ORDER by scenario';
        qrytmp.open;
        qrytmp.first;
        while not qrytmp.eof do begin
            cb_orgprz.Items.Add( dm.qrytmp['scenario'] );
            qrytmp.next;
        end;//while
        qrytmp.close;
        cb_orgprz.ItemIndex := 0;
    end;
end;

```

```
    cb_psm.Clear;
    qrytmp.sql.text := 'SELECT DISTINCT scenario FROM sc_psm ORDER by scenario';
    qrytmp.open;
    qrytmp.first;
    while not qrytmp.eof do begin
        cb_psm.Items.Add( dm.qrytmp['scenario'] );
        qrytmp.next;
    end;//while
    qrytmp.close;
    cb_psm.ItemIndex := 0;
end;//with
end;

// -----
procedure TfrmMain.ShowStatusMsg(sMsg: String; iPanel: Integer);
begin
    StatusBar1.Panels[iPanel].Text := sMsg;
end;

// -----
procedure TfrmMain.InfoExecute(Sender: TObject);
begin
    frmAbout.ShowModal;
end;

// -----
procedure TfrmMain.OpenEditForm(tblName: String);
begin
    frmTableEdit.Show;
    frmTableEdit.Caption := 'Szenariotabelle: ' + tblName;
    dm.tblEditParams.Close;
    dm.tblEditParams.TableName := tblName;
    dm.tblEditParams.Open;
end;

procedure TfrmMain.SpeedButton1Click(Sender: TObject);
begin
    OpenEditForm('sc_f1.dbf');
end;

procedure TfrmMain.SpeedButton2Click(Sender: TObject);
begin
    OpenEditForm('sc_interz.dbf');
end;

procedure TfrmMain.SpeedButton3Click(Sender: TObject);
begin
    OpenEditForm('sc_soil.dbf');
end;

procedure TfrmMain.SpeedButton4Click(Sender: TObject);
begin
    OpenEditForm('sc_q.dbf');
end;

procedure TfrmMain.SpeedButton5Click(Sender: TObject);
begin
    OpenEditForm('sc_orgprz.dbf');
end;

procedure TfrmMain.SpeedButton6Click(Sender: TObject);
begin
    OpenEditForm('sc_psm.dbf');
end;

procedure TfrmMain.SpeedButton7Click(Sender: TObject);
begin
    OpenEditForm(sInputTblName);
end;

procedure TfrmMain.SpeedButton8Click(Sender: TObject);
begin
    OpenEditForm('result1.dbf');
end;

procedure TfrmMain.SpeedButton9Click(Sender: TObject);
begin
    OpenEditForm('result2.dbf');
```

```

end;

procedure TfrmMain.BeendenExecute(Sender: TObject);
begin
  Close;
end;

procedure TfrmMain.acScGeneratorExecute(Sender: TObject);
begin
  frmScGenerator.Show;
end;

procedure TfrmMain.cb_flKeyDown(Sender: TObject; var Key: Word;
  Shift: TShiftState);
begin
  if Key = VK_RETURN then BerechnenExecute(sender);
end;

end.

```

Unit: uFunctions

```

// Funktionen und Berechnungen
// erstellt: 13.05.2002
// geändert: 22.05.2002
unit uFunctions;

interface

Function get_fl(scenario:string; neig:String):double;
Function get_soil(scenario:string;hnbod,boatyp:variant):String;
Function get_q(scenario,soil:string;p:double):String;
Function get_orgprz(scenario,humus:string):double;
Function get_przoc(scenario,humus:string):double;
Function get_koc(scenario,substanz:String):double;
Function get_dt50(scenario,substanz:String):double;
Procedure get_psm_parameters(scenario,substanz:String;var koc,dt50:double);
Function get_Frucht(scenario,substanz:String):String;
Function get_Interzeption(scenario,frucht:String;datum:TDateTime):double;
Function get_AufwMenge(scenario,substanz:string):double;
Function get_FruchtFaktor(scenario,substanz:string):double;

implementation

uses SysUtils,uDM;

// -----
Function get_fl(scenario:string; neig:String):double;
begin
  DM.qrytmp.sql.text := 'SELECT fl FROM sc_fl WHERE scenario = ' +
    scenario + ' AND neig = ' + neig + ''';
  DM.qrytmp.open;
  try
    result := DM.qryTmp['fl'];
  except
    result := -1;
  end;
  dm.qrytmp.close;
end;

// -----
Function get_soil(scenario:string;hnbod,boatyp:variant):String;
begin
  if (hnbod = 'Lsu') OR (hnbod='Lt2') OR (hnbod = 'Lt3') OR (hnbod='Sl3') OR
    (hnbod = 'Sl4') OR (hnbod='Slu') OR (hnbod = 'Tu3') OR (hnbod='Ul3') OR
    (hnbod = 'Us') OR (hnbod='Ut3') OR (hnbod = 'Hn') OR (hnbod='Hh') OR
    (hnbod = 'Hhs') OR (hnbod='fS') OR (hnbod = 'fSms') OR (hnbod='mSfs') OR
    (hnbod = 'Sl2') then

    DM.qrytmp.sql.text := 'SELECT soil FROM sc_soil WHERE scenario = ' +
      scenario + ' AND hnbod = ' + hnbod + ''';

  else begin
    DM.qrytmp.sql.text := 'SELECT soil FROM sc_soil WHERE scenario = ' +
      scenario + ' AND boatyp=' + boatyp +
      ' AND hnbod = ' + hnbod + ''';
  end;
end;

```

```
DM.qrytmp.open;

try
  result := DM.qryTmp['soil'];
except
  result := '';
end;
dm.qrytmp.close;
end;

// -----
Function get_q(scenario,soil:string;p:double):String;
begin
  DM.qrytmp.sql.text := 'SELECT q FROM sc_q WHERE scenario = "' +
    scenario + '" AND soil="' + soil + '" AND p = ' + floattostr(p);

  DM.qrytmp.open;

  try
    result := DM.qryTmp['q'];
  except
    result := '';
  end;
  dm.qrytmp.close;
end;

// -----
Function get_orgprz(scenario,humus:string):double;
begin
  DM.qrytmp.sql.text := 'SELECT orgprz FROM sc_orgprz WHERE scenario = "' +
    scenario + '" AND humus="' + humus + '"';
  DM.qrytmp.open;

  try
    result := DM.qryTmp['orgprz'];
  except
    result := -1;
  end;
  dm.qrytmp.close;
end;

// -----
Function get_przoc(scenario,humus:string):double;
begin
  DM.qrytmp.sql.text := 'SELECT orgprz,faktor FROM sc_orgprz WHERE scenario = "' +
    scenario + '" AND humus="' + humus + '"';
  DM.qrytmp.open;

  try
    result := DM.qryTmp['orgprz'] / DM.qryTmp['faktor'];
  except
    result := -1;
  end;
  dm.qrytmp.close;
end;

// -----
Function get_koc(scenario,substanz:String):double;
begin
  DM.qrytmp.sql.text := 'SELECT koc FROM sc_psm WHERE scenario = "' +
    scenario + '" AND substanz="' + substanz + '"';
  DM.qrytmp.open;

  try
    result := DM.qryTmp['koc'];
  except
    result := -1;
  end;
  dm.qrytmp.close;
end;

// -----
Function get_dt50(scenario,substanz:String):double;
begin
  DM.qrytmp.sql.text := 'SELECT dt50 FROM sc_psm WHERE scenario = "' +
    scenario + '" AND substanz="' + substanz + '"';
  DM.qrytmp.open;
```



```

    try
        result := DM.qryTmp['dt50'];
    except
        result := -1;
    end;
    dm.qrytmp.close;
end;

// -----
// PSM-Parameter mit einem Aufruf holen -> schneller
Procedure get_psm_parameters(scenario,substanz:String;var koc,dt50:double);
begin
    DM.qrytmp.sql.text := 'SELECT koc, dt50 FROM sc_psm WHERE scenario = ' +
        scenario + ' AND substanz="' + substanz + '"';
    DM.qrytmp.open;

    try
        koc := DM.qryTmp['koc'];
        dt50 := DM.qryTmp['dt50'];
    except
        koc := -1;
        dt50 := -1;
    end;
    dm.qrytmp.close;
end;

// -----
Function get_Frucht(scenario,substanz:String):String;
begin
    DM.qrytmp.sql.text := 'SELECT frucht FROM sc_psm WHERE scenario = ' +
        scenario + ' AND substanz="' + substanz + '"';
    DM.qrytmp.open;

    try
        result := DM.qryTmp['frucht'];
    except
        result := '';
    end;
    dm.qrytmp.close;
end;

// -----
Function get_AufwMenge(scenario,substanz:string):double;
begin
    DM.qrytmp.sql.text := 'SELECT awm_gqm FROM sc_psm WHERE scenario = ' +
        scenario + ' AND substanz="' + substanz + '"';
    DM.qrytmp.open;

    try
        result := DM.qryTmp['awm_gqm'];
    except
        result := -1;
    end;
    dm.qrytmp.close;
end;

// -----
Function get_FruchtFaktor(scenario,substanz:string):double;
begin
    DM.qrytmp.sql.text := 'SELECT fruchtfkt FROM sc_psm WHERE scenario = ' +
        scenario + ' AND substanz="' + substanz + '"';
    DM.qrytmp.open;

    try
        result := DM.qryTmp['fruchtfkt'];
    except
        result := -1;
    end;
    dm.qrytmp.close;
end;

// -----
Function get_Interzeption(scenario,frucht:String;datum:TDateTime):double;
var day,month,year:word;
begin
    DecodeDate(datum,year,month,day);
    DM.qrytmp.sql.text := 'SELECT pi FROM sc_interz WHERE scenario="' + scenario +

```

```

        ' " AND frucht = "' + frucht + "' AND ' + IntToStr(day) +
        ' BETWEEN tag_von AND tag_bis AND ' + IntToStr(month) +
        ' BETWEEN monat_von AND monat_bis';

DM.qrytmp.open;
try
    result := DM.qryTmp['pi'];
except
    result := -1;
end;
dm.qrytmp.close;
end;
end.

```

Unit: uScGenerator

```

unit uScGenerator;
{*****
Informationssystem zur ökotoxikologischen Bewertung der Gewässergüte
in bezug auf Pflanzenschutzmitteleinträge aus der Landwirtschaft
TU-Braunschweig, AG Limnologie und Ökotoxikologie
Author : Michael Probst

Szenario-Generator: generiert eine Eingabe-Tabelle für _eine_
Teilfläche (z.B. ein Acker) mit den
eingestellten Vorgabewerten

erstellt: 23.07.2002
geändert: 30.07.2002
*****}

interface

uses
    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
    StdCtrls, ActnList, Buttons, DBCtrls, Grids, DBGrids, ExtCtrls, Mask,
    DBCGrids, ComCtrls;

type
    TfrmScGenerator = class(TForm)
        Edit1: TEdit;
        lPSMAnzahl: TLabel;
        procedure acScGenerateExecute(Sender: TObject);
        procedure acCancelExecute(Sender: TObject);
        procedure FormCreate(Sender: TObject);
        procedure Button1Click(Sender: TObject);
        procedure Button2Click(Sender: TObject);
        procedure Button3Click(Sender: TObject);
        procedure Button4Click(Sender: TObject);
        procedure Button5Click(Sender: TObject);
        procedure Button6Click(Sender: TObject);
        procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
        procedure FormShow(Sender: TObject);
        procedure acGenerateAndUseExecute(Sender: TObject);
    private
        { Private-Deklarationen }
    public
        { Public-Deklarationen }
    end;

var
    frmScGenerator: TfrmScGenerator;

implementation

uses uDatabase, uDM, uGlobal, uMain;

var sTblName, sP:String;

{$R *.DFM}

procedure TfrmScGenerator.acScGenerateExecute(Sender: TObject);
var i:Integer;
begin
    {
    if dm.tblPSMMengen.RecordCount > iAnzPSM then begin
        ShowMessage('Es können nur ' + IntToStr(iAnzPSM) +
            ' Stoffe berechnet werden.');// -> verlassen
    }
}

```

```

    exit;
end;
}
sTblName := edTblName.Text;
CreateInputTable( sTblName );

with dm do begin
    tblTmp.TableName := sTblName;
    tblTmp.Exclusive := TRUE;
    tblTmp.Open;
    tblTmp.EmptyTable;
    tblTmp.First;

    tblTmp.Append; // einen Datensatz = eine Teilfläche (z.B. ein Acker) anfügen

    tblTmp['messtr'] := edit1.text;
    tblTmp['int_bez'] := edit2.text;
    tblTmp['datum'] := edit3.text;
    tblTmp['uhrzeit'] := edit4.text;
    tblTmp['rw'] := edit5.text;
    tblTmp['hw'] := edit6.text;

    tblTmp['area'] := StrToFloat(edit7.text);
    tblTmp['objart'] := 'Ackerland'; // z.Z. fest eingestellt
    tblTmp['gef_prz'] := StrToFloat(edit8.text);
    tblTmp['randstr'] := StrToFloat(edRandstr.Text);
    tblTmp['p'] := StrToFloat(edP.Text);
    tblTmp['Abfluss'] := StrToFloat(edAbfluss.Text);

    tblTmp['hnbod'] := dm.tblBodentyp['hnbod'];
    tblTmp['boatyp'] := dm.tblBodentyp['boatyp'];
    tblTmp['humus'] := cbHumus.items[cbHumus.ItemIndex];

    // ----- Stoffspezifische Einträge
    i:=1;
    sP:='';

    with dm.tblPSMMengen do begin
        First;
        while not eof do begin
            if tblPSMMengen['p_verw'] = TRUE then
                try
                    sP := 'P'+IntToStr(i); // "P1_Name" usw. Strings zusammensetzen
                    tblTmp[sP+'_name'] := tblPSMMengen['p_name'];
                    tblTmp[sP+'_menge'] := tblPSMMengen['p_menge'];
                    tblTmp[sP+'_d'] := tblPSMMengen['p_d'];
                except
                    end;
                inc(i);
                next;
            end;//while
        end;//with dm.tblpsmmengen

        tblTmp.Post;
        tblTmp.Close;
    end;//with
end;

procedure TfrmScGenerator.FormCreate(Sender: TObject);
begin
    DBCtrlGrid1.DataSource := DM.dsPSMMengen;
    DBGrid1.DataSource := DM.dsBodenTyp;
    lPSMANzahl.Caption := 'Anz. Stoffe: ' + IntToStr(DM.tblPSMMengen.recordcount);
    edit3.Text := DateToStr(Now);
    edit4.Text := TimeToStr(Now);
    cbHumus.ItemIndex := 0;
end;

procedure TfrmScGenerator.Button1Click(Sender: TObject);
begin
    edit7.text := '10000';
end;

procedure TfrmScGenerator.Button2Click(Sender: TObject);
begin
    edit7.text := '20000';
end;

```

```
procedure TfrmScGenerator.Button3Click(Sender: TObject);
begin
  edit7.text := '30000';
end;

procedure TfrmScGenerator.FormClose(Sender: TObject;
  var Action: TCloseAction);
begin
  with dm do begin
    tblPSMMengen.close;
    tblBodentyp.close;
  end;
end;

procedure TfrmScGenerator.FormShow(Sender: TObject);
begin
  with dm do begin
    tblPSMMengen.Open;
    tblBodentyp.Open;
  end;
end;

procedure TfrmScGenerator.acGenerateAndUseExecute(Sender: TObject);
begin
  acScGenerateExecute(Sender);
  sInputTblName := sTblName;
  frmMain.GetMstList;
  frmMain.cb_Probe.itemindex := 1; // Auf erstes nach "Alle" stellen
  frmMain.BerechnenExecute(Sender);
end;

procedure TfrmScGenerator.Button4Click(Sender: TObject);
begin
  edit3.text := '15.03.2002';
end;

procedure TfrmScGenerator.Button5Click(Sender: TObject);
begin
  edit3.text := '15.07.2002';
end;

procedure TfrmScGenerator.Button6Click(Sender: TObject);
begin
  edit3.text := '15.10.2002';
end;

procedure TfrmScGenerator.acCancelExecute(Sender: TObject);
begin
  close;
end;

end.
```

Literatur

- Lutz, W. 1984: „Berechnung von Hochwasserabflüssen unter Anwendung von Gebietskenngrößen“. Mittlg. Inst. Hydrologie Wasserwirtschaft, Univ. Karlsruhe, Heft 24
- Maniak, U. 1992: „Regionalisierung von Parametern für Hochwasserabflußganglinien“. In: Regionalisierung der Hydrologie (H.B. Kleeberg), DFG, Mittlg. Senatskomm. für Wasserf. 11, S. 325-332
- OECD. 2000: “Report of the OECD Pesticide Aquatic Risk Indicators Expert Group“, 2000
<http://www.oecd.org/pdf/M00027000/M00027912.pdf>,
<http://www.oecd.org/pdf/M00027000/M00027917.pdf>

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Michael Wolfgang Probst
Anschrift: Göttingstr. 16, 38106 Braunschweig
Geburtstag, Ort: 14.04.1969 in Bad Lauterberg
Familienstand: ledig
Staatsangehörigkeit: deutsch

Schulausbildung

1975 - 1979: Grundschule Walkenried
1979 - 1981: Orientierungsstufe Walkenried
1981 - 1985: Realschule Bad Sachsa (Erweiterter Sekundarabschluss I)
1985 - 05/1988: Internatsgymnasium Pädagogium Bad Sachsa

Schulabschluss: Allgemeine Hochschulreife

Wehrdienst

07/1988 - 09/1989: Grundwehrdienst in Osterode am Harz

Studium

10/1989 - 12/1998: Studium des Diplomstudiengangs Informatik an der Technischen Universität Braunschweig
Anwendungsfach: Angewandte Ökologie
Prüfungsfächer: Datenbanksysteme, Betriebssysteme, VLSI, Angewandte Ökologie
Diplomarbeit: „*Entwurf, Implementierung und Anwendung eines Informationssystems zur Untersuchung der Reaktion aquatischer Lebensgemeinschaften auf diffuse Insektizideinträge aus der Landwirtschaft*“

Abschluss: Diplom-Informatiker (Dipl.-Inform.)

Promotion

1/2000 – 6/2005: Dissertation am Zoologischen Institut der TU-Braunschweig:
"Simulation und Beurteilung der Pflanzenschutzmittelbelastung kleiner Fließgewässer auf Landschaftsebene"

Berufliche Tätigkeiten

01/1999 – 12/1999: Softwareentwickler/Projektsteuerung für das NLÖ Hildesheim
03/1999 – 09/2002: Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Zoologischen Institut der TU Braunschweig
seit 01/2000: Freiberuflicher Softwareentwickler und Systemberater mit Schwerpunkt im Bereich Informationssysteme für die Gewässerökologie (NLWK, NLÖ, Binnenfischerei)
