

## **Abschätzung und Bewertung der Insektizidbelastung kleiner Fließgewässer durch ein regelbasiertes Expertensystem**

Michael Neumann & Mathias Liess, Zoologisches Institut der TU, AG Limnologie, Fasanenstr. 3, 38092 Braunschweig; e-mail: m.neumann@tu-bs.de

### **Zusammenfassung**

Das vorliegende Expertensystem schließt eine Lücke im Spektrum der bisherigen Modellansätze zur Erfassung der Stoffbelastung von Gewässern. Durch den Ansatz, die Insektizidbelastungen eines Baches aufgrund der ökotoxikologisch bewerteten Reaktion der Biozönose zu erfassen, wird gleichzeitig auch eine Bewertung der Belastung vorgenommen. Anwendungsmöglichkeiten werden in der Wasserqualitätsüberwachung gesehen, wobei auch auf die vorhandenen Datensätze der Wasserwirtschaftsämter zurückgegriffen werden kann.

Das Expertensystem kann bei kleinen Fließgewässern eine qualitative Abschätzung der Insektizidbelastung vornehmen. Beim Aufbau der Wissensbasis des Expertensystems wurden ausschließlich Abundanzdaten der Makroinvertebratenfauna aus 64 Datensätzen benutzt. Es zeigt sich, daß zum einen große Dichten bestimmter Arten als Indikator dienen, während geringes oder fehlendes Vorkommen von Arten nur selten eine Aussage zuläßt. Ein wichtiges Kriterium war auch die gestörte Populationsdynamik im Jahresverlauf. Eine Anwendung ist auf Gewässer bis ca. 30 km Quellentfernung beschränkt. Das System wurde bereits an einigen Bächen validiert. Eine Erweiterung der Wissensbasis ist leicht möglich.

### **Abstract**

The present expert system closes a gap in the spectrum of models proposed for evaluating pollution in bodies of water. In this ecotoxicological approach, by observing responses of the invertebrate community a measure of the insecticide contamination of a brook is simultaneously obtained. The system has potential applications in water-quality monitoring, possibly in combination with data sets already available from the relevant agencies.

With this expert system the insecticide contamination of small streams can be estimated qualitatively. The information base from which the system was constructed included exclusively abundance data for the macroinvertebrate fauna in 64 data sets. Whereas high densities of certain species have proved to be a useful indicator, low density or absence of species is rarely informative. Another important criterion was disturbance of the population dynamics in the course of the year. Application of the method is restricted to the stretch of a stream within ca. 30 km of the source. The system has now been validated in several brooks. It offers an opportunity for easy expansion of the information base.

### **1 Einführung**

Bäche mit landwirtschaftlich genutztem Einzugsgebiet werden durch verschiedene Stoffeinträge (Dünger, Schwebstoffe, Pflanzenschutzmittel) belastet (Cooper 1991, Kladvko et al. 1991) Eine Belastung durch Pflanzenschutzmittel kann bisher nicht durch ein Indikatorsystem erfaßt werden.

Das Wissen, wie sich Stoffeinträge aus der Substanzklasse der Insektizide auf die Lebensgemeinschaft kleiner Fließgewässer auswirken, ist Grundlage für eine Beurteilung. Liess (1998) und Schulz (1997) fanden bei ihren Untersuchungen empfindliche und unempfindliche Arten der Makroinvertebraten-Lebensgemeinschaft. Beispielhaft zeigt die Abb. 1-1 die Populationsdynamik von sechs Arten in einem Bach bei Braunschweig. Die auf Insektizidstreß empfindlich reagierenden drei Köcherfliegenarten (Trichoptera) verschwinden aufgrund eines Insektizideintrages aus dem Gewässer. Der Zeitpunkt des Verschwindens liegt früher, als ihre natürliche Populationsdynamik dies erwarten läßt. Durch diesen Aspekt kann also die gestörte Populationsdynamik von der natürlichen unterschieden werden. Die drei anderen Arten zeigen zwar aufgrund des Insektizideintrages starke Abundanzeinbrüche, können diese aber durch Wanderung und Reproduktion ausgleichen.

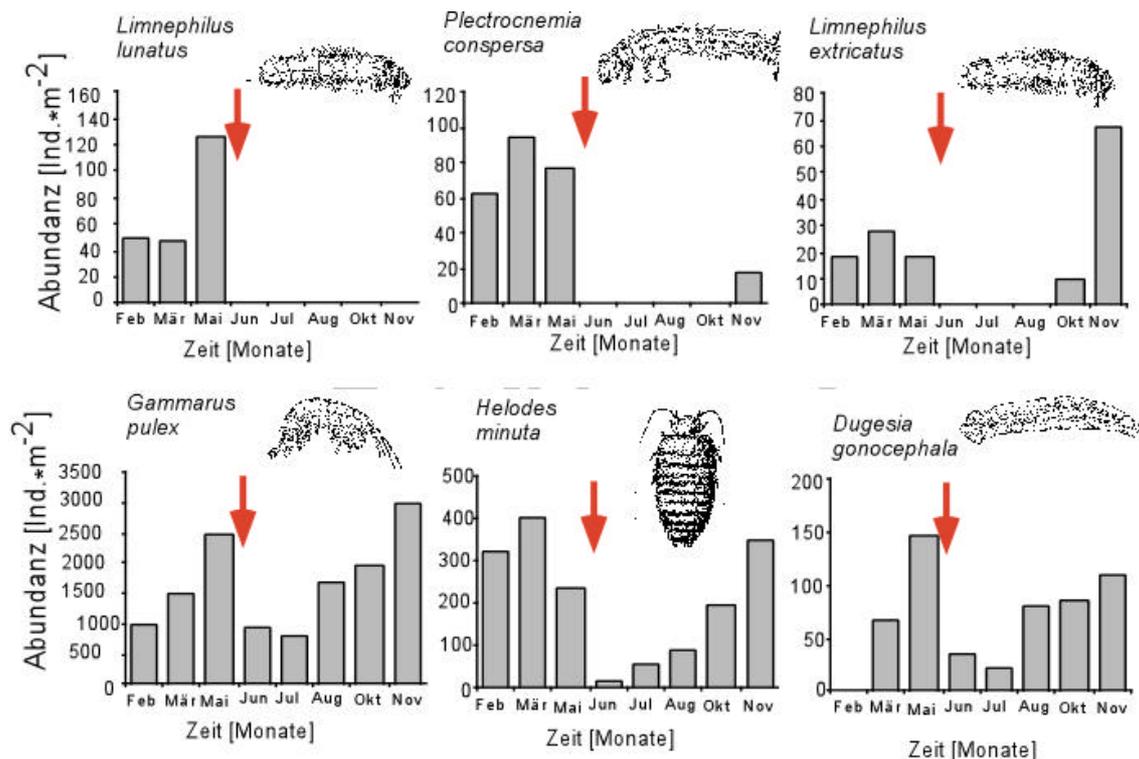


Abb. 1-1: Abundanzdaten von sechs Makroinvertebratenarten in einem kleinen Fließgewässer bei Braunschweig (Schulz 1997). Der Pfeil symbolisiert den Zeitpunkt eines nachgewiesenen Insektizideintrags.

Dieses Fallbeispiel zeigt, wie Insektizide die Lebensgemeinschaft im Bach verändern können. Aufgrund der Lebensgemeinschaft ist es deshalb grundsätzlich möglich, auf eine Insektizidbelastung eines Baches zu schließen.

## 2 Methode

Expertensysteme spiegeln bei Entscheidungen das Wissen von Experten wieder. Zu jeder Zeit hat der Benutzer die Möglichkeit, Herleitung und Begründung einer Entscheidung zu erfragen. Der Vorteil von Expertensystemen ist die Verwaltung von qualitativem Wissen (Puppe 1993). In der Ökologie ist häufig eine Abschätzung bei nur unvollständigem Wissen gefordert.

In der vorliegenden Arbeit wurde der Diagnostik-Shell-Baukasten D3 eingesetzt (Puppe et al. 1996). Diese Shell wurde von der Universität Würzburg entwickelt. Informationen findet man im Internet unter <http://d3.informatik.uni-wuerzburg.de>.

Es wurde eine regelbasierte Wissensbasis aufgebaut, in der von Merkmalen auf Lösungen geschlossen wird. Der Lösungsweg ist dabei durch einen Entscheidungsbaum strukturiert. Es wurde sicheres und unsicheres Wissen in die Wissensbasis aufgenommen.

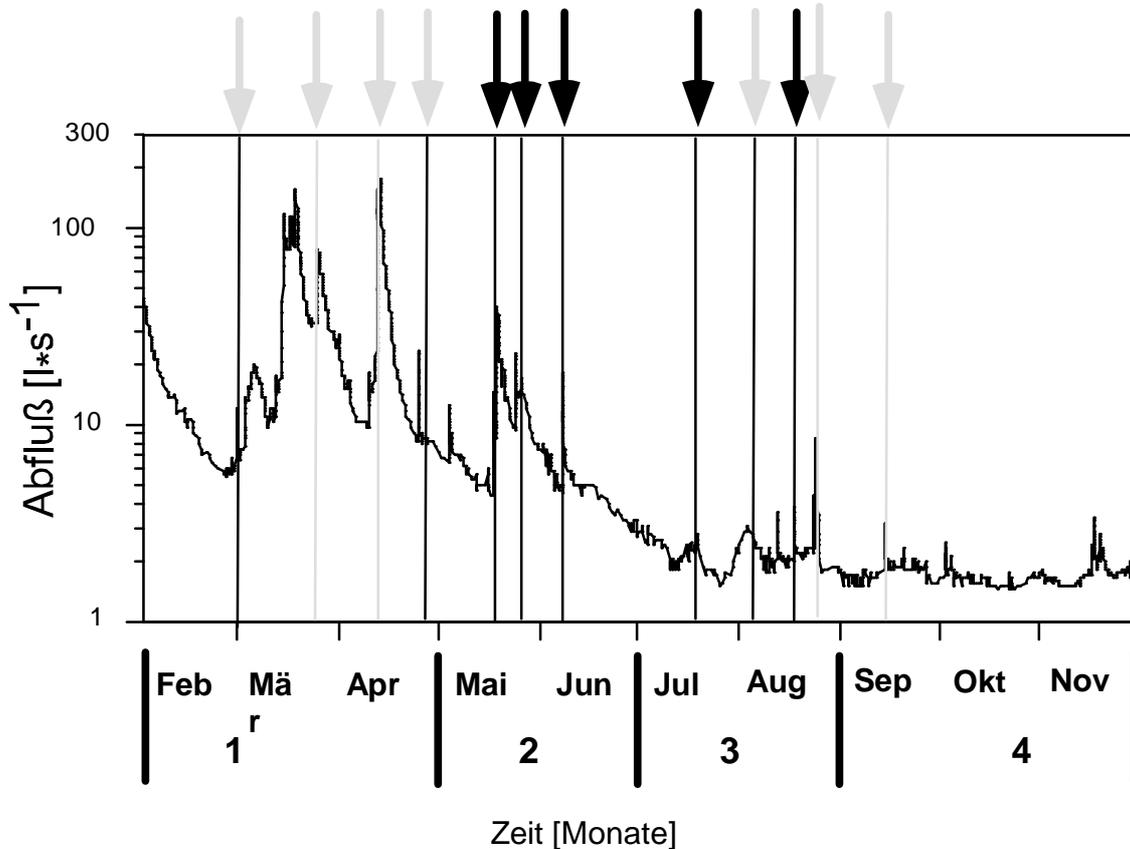


Abb. 2-1: Der Jahresverlauf im Ohebach, repräsentiert durch die Abflußkurve des Jahres 1994. Die Pfeile symbolisieren Oberflächen-Runoff ins Gewässer (schwarze Pfeile mit nachgewiesenem Insektizideintrag). Das Jahr wurde in vier Zeiträume unterteilt, in denen Abundanzdaten vorliegen sollten, um eine durch Insektizideinträge gestörte Populationsdynamik erkennen zu können.

Um die in Abb. 1-1 gezeigten Populationsdynamiken noch zu erfassen, gleichzeitig aber den Arbeitsaufwand im Freiland möglichst gering zu halten, wurden vier Terminklassen festgelegt. Abb. 2-1 zeigt die Abflußkurve des Jahres 1994 des Ohebachs bei Braunschweig. Als graue Pfeile sind die erfaßten Oberflächen-Runoff-Ereignisse dargestellt, wobei die schwarzen Pfeile Oberflächen-Runoff mit nachgewiesenem Insektizideintrag symbolisieren. Die zu analysierende Populationsdynamik soll die Auswirkungen der Einträge in den Monaten Mai bis August widerspiegeln. Dazu notwendig ist eine Information über die Abundanz vor, während und nach den Einträgen. Aufgrund der in den Monaten Mai bis August zu erwartenden Insektizideinträge wurde dieser Zeitraum noch einmal unterteilt. Es ergeben sich also vier Klassen von Terminen, zu denen jeweils eine Abundanzmessung vorliegen sollte, um eine Aussage über die Populationsdynamik machen zu können. Diese Einteilung der Abundanzdaten ermöglicht es das Verschwinden einer Art aufgrund von Insektizideinträgen und die möglicherweise folgende Wiederbesiedlung zu erfassen (Neumann und Liess 1996).

Ausgewertet wurden die Abundanzdaten von 26 Untersuchungsgewässern, die zu verschiedenen Jahren untersucht wurden, so daß sich 64 Bachjahre ergeben. Die 64 Bachjahre wurden durch ein Fuzzy-Modell aufgrund von abiotischen Daten und Insektizidnachweisen in drei Belastungsklassen eingeteilt. Es gibt 31 gering belastete Bachjahre, 14 mittel und 19 stark belastete. Alle statistischen Analysen beziehen sich auf diese Anzahl an Bachjahren in den einzelnen Klassen. Die hier untersuchten Gewässer wurden so ausgewählt, daß sie

untereinander vergleichbar sind. Es wurde darauf geachtet, daß keine störenden Einflüsse z.B. durch Kläranlagen oder Gewässermündungen oberhalb der Probestellen vorkommen. Die Gewässer sind in ihrer Größenordnung und die Probestellen in ihrer Lage im Längsverlauf vergleichbar. Der Mittelwertsvergleich der Strömungsgeschwindigkeiten ergab keine Unterschiede zwischen den Belastungsklassen. In allen Klassen nimmt die Strömungsgeschwindigkeit von Termin 1 zu Termin 2 signifikant ab (t-Test;  $p < 0,001$ ) und zwischen Termin 3 und Termin 4 zu (t-Test;  $p < 0,006$ ). Es sind also alle Belastungsklassen aufgrund ihres Abflußregimes vergleichbar.

### 3 Regelbildung

Das Aufstellen von Klassifikationsregeln verlangt eine genaue Analyse der Datensammlung. Hierzu eignen sich statistische Verfahren wie Regressionsanalyse und Mittelwertvergleich.

Im folgenden soll anhand der Art *Limnephilus lunatus* die Herangehensweise beschrieben und verdeutlicht werden. Die Angaben zum Probenahmezeitpunkt im Jahresverlauf beziehen sich auf die in Abb. 2-1 definierten Termine.

Die Köcherfliegenart *L. lunatus* kommt an 58 der 64 untersuchten Stellen vor und gehört damit zu den im Untersuchungsgebiet weitverbreiteten Arten. Die Regressionsanalyse der Abundanzdaten ergab eine negative Korrelation zu den Terminen 2 und 3. Zu Termin 1 besteht keine Korrelation und zu Termin 4 ist die Art aus fast allen Bachjahren verschwunden. Zu den Terminen 2 und 3 fallen hohe Abundanzen bei den gering belasteten Bachjahren auf. Dies läßt sich einfach in eine Regel programmieren, wobei ein grundlegendes Prinzip deutlich wird: Obwohl ein hohes Vorkommen für eine geringe Belastung spricht, deutet ein geringes Vorkommen nicht zwingend auf eine hohe Belastung hin. Auch bei den gering belasteten Bachjahren kommt *L. lunatus* zum Teil nur in geringen Dichten oder gar nicht vor.

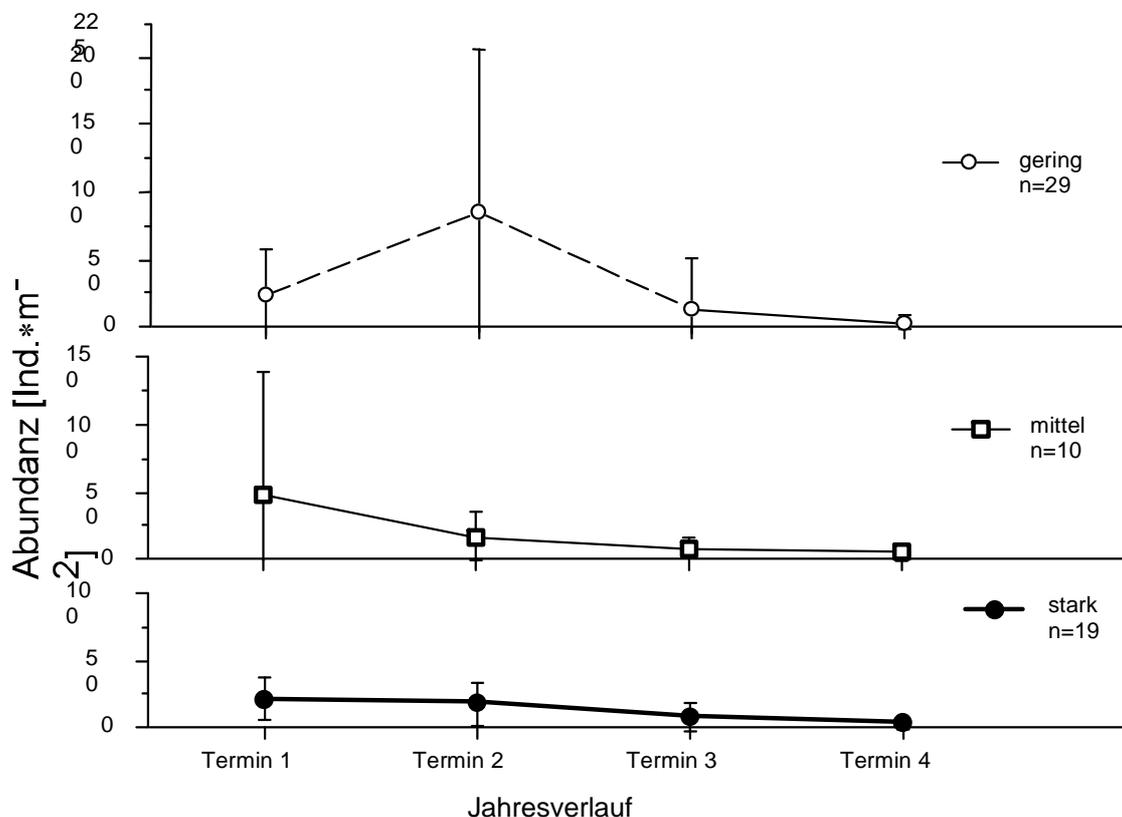


Abb. 3-1: Populationsdynamik von *Limnephilus lunatus* im Jahresverlauf, unterschieden nach Belastungsklassen. Dargestellt ist der Mittelwert der Abundanz mit einfacher Standardabweichung.

Um auch Veränderungen in der Populationsdynamik analysieren zu können, eignet sich der Mittelwertvergleich. Abb. 3-1 zeigt die Mittelwerte für die Abundanz von *L. lunatus* für die drei Belastungsklassen, aufgetragen über den Jahresverlauf. Man erkennt, daß sich die Populationsdynamiken deutlich unterscheiden. In den gering belasteten Bachjahren nimmt die Abundanz von Termin 1 zu Termin 2 signifikant zu ( $p < 0,02$ ), während sie bei den beiden anderen Belastungsklassen abnimmt. Von Termin 2 zu 3 geht in allen Bachjahren die Dichte deutlich zurück, allerdings ist dies nur bei den gering belasteten Bachjahren signifikant ( $p < 0,026$ ). Zum vierten Termin ist die Art aus fast allen Bachjahren verschwunden. Bei einer ungestörten Populationsdynamik baut *L. lunatus* also bis zum Mai/Juni die Population noch auf und verläßt danach durch Emergenz das Gewässer. In den mittel bis stark belasteten Bachjahren erfolgt eine Reduktion der Abundanz bereits zum Mai/Juni hin. Aus diesen Erkenntnissen lassen sich weitere Regeln ableiten, so daß nicht nur die Abundanz, sondern auch die Abundanzentwicklung ausgewertet wird.

#### 4 Ergebnis

Es wurde versucht, alle 64 Bachjahre mit Hilfe des aufgebauten Expertensystems den drei Belastungsklassen zuzuordnen. Insgesamt konnten 13 Bachjahre keiner Belastungsklasse zugeordnet und damit nicht klassifiziert werden. Diese Zahl spiegelt zum einen die Lücken in der vorliegenden Datensammlung wider, zum anderen aber auch die konservative Regelauslegung. Um Fehldiagnosen zu vermeiden, wurde in Kauf genommen, daß eine Diagnose nicht in allen Fällen möglich ist. Tabelle 4-1 zeigt das gesamte Klassifizierungsergebnis.

Tab. 4-1: Klassifikationsergebnis durch das Expertensystem

| <b>Belastungsklasse</b> | <b>richtig klassifiziert</b> | <b>nicht klassifiziert</b> | <b>Summe</b> |
|-------------------------|------------------------------|----------------------------|--------------|
| gering                  | 25                           | 6                          | 31           |
| mittel                  | 11                           | 3                          | 14           |
| stark                   | 15                           | 4                          | 19           |

Um den Klassifikationserfolg des Expertensystems bewerten zu können, sollte er mit der Klassifikation durch eine herkömmliche Diskriminanzanalyse verglichen werden. Das Ergebnis zeigt Tabelle 4-2.

Tab. 4-2: Klassifikationsergebnis der Diskriminanzanalyse

| <b>tatsächliche Gruppe</b> | <b>als gering belastet eingeordnet</b> | <b>als mittel belastet eingeordnet</b> | <b>als stark belastet eingeordnet</b> | <b>nicht klassifiziert</b> |
|----------------------------|--|--|---------------------------------------|----------------------------|
| gering belastet            | 14                                     | 2                                      | 7                                     | 8                          |
| mittel belastet            | 1                                      | 4                                      | 6                                     | 3                          |
| stark belastet             | 0                                      | 1                                      | 14                                    | 4                          |

Der wichtigste Unterschied zwischen den Verfahren ist, daß die Diskriminanzanalyse die Daten nicht nach ökologischen Gesichtspunkten differenziert auswertet. Sprechen hohe Abundanzen einer Art für eine geringe Belastung des Bachjahres, darf eine geringe Abundanz der Art nicht automatisch als Hinweis auf ein stark belastetes Bachjahr gewertet werden. Dies

ist vermutlich auch die Erklärung für eine falsche Einteilung von sieben gering belasteten Bachjahren als stark belastet durch die Diskriminanzanalyse.

Das Verschwinden einer Art an einer Probestelle kann vom Expertensystem erfaßt und ausgewertet werden. Tabelle 4-2 zeigt, daß die Diskriminanzanalyse den größten relativen Fehler bei den mittel belasteten Bachjahren macht. Dies ist ein Hinweis darauf, daß es sich hier um eine sehr uneinheitliche Klasse handelt. Die Belastungssituation und damit die Biozönose ist vermutlich in diesen Bachjahren nicht eindeutig. Dies kann durch andere suboptimale Faktoren verursacht werden. Der Vorteil des Expertensystems gegenüber der Diskriminanzanalyse scheint gerade in diesen Bachjahren voll zum Tragen zu kommen.

Das Expertensystem ermöglicht nach mehrmaliger termingebundener Probenahme der Makroinvertebraten-Abundanzen eine Aussage über die Insektizidbelastung des Gewässers im Untersuchungs-jahr. Durch eine Vergrößerung der Datengrundlage könnte ein vergleichbar einfaches und leicht anzuwendendes biologisches Erfassungssystem ähnlich dem des Saprobienindex entwickelt werden. Eine flächendeckende Gewässerüberwachung der Insektizidbelastung wäre dann auch bei kleinen Gewässern möglich.

Diese Überwachung würde z.B. auch einen direkten Eintrag von Insektizide durch Falschanwendung des Landwirtes oder durch Hofabfluß erfassen, was selbst durch eine ereignisbezogene Probenahme nicht möglich ist. Erfasst würden auch Einträge durch Abtrift, die ebenfalls nicht mit einem Starkniederschlag einhergehen. Die Gewässerbelastung könnte durch parallele Wasserprobennahme im Bedarfsfall durch chemische Analysen qualitativ und quantitativ nachgewiesen werden.

## 5 Literatur

- Cooper, C.M. (1991): Insecticide concentrations in ecosystem components of an intensively cultivated watershed in Mississippi. *J. Freshwat. Ecol.* 6: 237-248
- Kladivko, E.J., Vanscoyoc, G.E., Monke, E.J., Oates, K.M. , Pask, W. (1991): Pesticide and nutrient movement into subsurface tile drains on a silt loam soil in Indiana. *J. envir. Qual.* 20: 264-271
- Liess, M. (1998): Biozönotische Ansätze in der aquatischen Ökotoxikologie. In: Bayrisches Landesamt (ed.): Integrierte ökologische Gewässerbewertung - Inhalte und Möglichkeiten. Oldenbourg Verlag. 592-616
- Neumann, M. , Liess, M. (1996): Abschätzung der Insektizidbelastung in Agrarfließgewässern - Aufbau eines regelbasierten Expertensystems. Erweiterte Zusammenfassungen der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Limnologie (DGL) Schwedt/O. 1996 Bd. 2: 612-616
- Puppe, F. (1993): *Systematic Introduction to Expert Systems.* Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- Puppe, F., Gappa, U., Poeck, K. , Bamberger, S. (1996): *Wissensbasierte Diagnose- und Informationssysteme: Mit Anwendungen des Expertensystem-Shell-Baukastens D3.* Springer, Berlin, Heidelberg, New York
- Schulz, R. (1997): *Aquatische Ökotoxikologie von Insektiziden - Auswirkungen diffuser Insektizideinträge aus der Landwirtschaft auf Fließgewässer-Lebensgemeinschaften.* Ecomed Verlag, Landsberg