

BIOLOGISCHE STATION NEUSIEDLERSEE  
BIOLOGISCHES FORSCHUNGSMITTEL FÜR BURGENLAND  
A 7142 ILLMITZ, BURGENLAND, TEL. 02175/328

BFB - Bericht 13

1976

1. Neusiedlerseetagung  
5. - 6. Juni 1975  
Protokoll

## Die Bedeutung der Systemtheorie für die Umwelttoxikologie am Beispiel des Quecksilbers

G.R. RICHTER

In der Arbeit von STEHLIK 1976 werden vier Methoden zur Bestimmung chemisch physikalischer Parameter des Neusiedlersees aufgezeigt. Es waren 4 Methoden, denen ich noch eine 5. hinzufügen möchte, welche vielleicht noch nicht allgemein akzeptiert ist, von der ich aber glaube, daß sie von großer Bedeutung ist. Es ist die Systemanalyse.

Es ist dies eine interdisziplinäre Methode und ich bin mir sehr wohl der Gefahren bewußt, in die sich ein heutiger Spezialist begibt, wenn er sich über sein schmales Fachgebiet hinauswagt. Ich will hier eine kurze Einführung in die Gedankenwelt der Systemtheorie geben und mich dabei möglichst nahe an praktische Beispiele halten, denn gerade die Systemanalyse hat ein sehr hohes Niveau der Abstraktion und praktische Beispiele sind anfangs noch leichter zu verstehen als abstrakte. Außerdem werde ich eine grundsätzliche Begriffsbestimmung vornehmen müssen, da sonst kein interdisziplinäres Gespräch möglich ist. Wie ist man überhaupt auf die Systemanalyse gekommen?

In mehreren Arbeiten wurde ein erhöhter Gehalt an Quecksilber im Neusiedlersee nachgewiesen RICHTER et al. (1974), STEHLIK u. PESENDORFER (1975), PORTA, RICHTER, SAUERZOPF (im Druck).

Wir haben ein praktisches Problem: Wie kommt Quecksilber in den Neusiedlersee?

In einer anderen Sprache: Wir haben ein System mit input und output zu behandeln. Man kann äußere Quellen postulieren, wie Beizmittel aus der Landwirtschaft, unabsichtlich hineingelangte metallische Verunreinigungen oder auch Substanzen natürlichen Ursprungs aus geologischen Quellen. Aber wie kann man hier eine causale Folge beweisen? Eine Möglichkeit wäre radioaktiv

markiertes Quecksilber ( $\text{Hg}^{203}$ ) zum Beizen der Getreidekörner zu verwenden und diese dann im Feld auszubringen. Ein Freilandversuch, der aus gesundheitlichen Gründen jedoch besser nicht durchgeführt werden sollte. Eine andere Möglichkeit wäre, eine Isotopentrennung beim Quecksilber durchzuführen. Das natürliche Quecksilber setzt sich aus verschiedenen Isotopen zusammen. Man könnte also in einem Massenseparator die Isotopen trennen, ein unnatürliches Gemisch erzeugen und dieses dann ausbringen. Falls dies technologisch überhaupt durchführbar ist, ist es jedenfalls mit einem finanziellen Aufwand verbunden, der dem zur Erzeugung der ersten Atombombe ähnlich wäre. Praktisch können wir jedenfalls nicht die causale Folge beweisen, in deren Verlauf Quecksilber in den See kommt. Wir können also nicht die klassische Methode der Naturwissenschaft anwenden (aus a folgt b, aus b folgt c). Wir müssen uns nach einer Methode umsehen, die das gesamte System betrachtet, einer holistischen, gesamtheitlichen Methode. Wegen der Kompliziertheit des vorliegenden Problems erscheint die gesamtheitliche Methode zunächst nicht sehr vielversprechend. Gerade die Ökologen wissen ein Lied zu singen, wieviele Parameter ein System beeinflussen. Es sind so viele, daß man sie einfach nicht vollständig erfassen kann. Man müßte alles berücksichtigen: Die biologischen, chemischen und physikalischen Faktoren, bis zum Luftdruck - um nicht zu sagen bis zur Sonnenfleckstellung. Es handelt sich also um ein äußerst komplexes System. Die Ähnlichkeit zu einem weiteren System ist gegeben: Die Soziologie, die Parameter der menschlichen Beziehungen müssen zu dem dargestellten System noch hinzugefügt werden. Auch diese Parameter werden wir quantifizieren müssen, um nicht wie in der Soziologie in der beschreibenden Phase stehen zu bleiben. So ist es vielfach auch in der Ökologie.

Anders ist es in einem soziologischen Teilbereich, dem "operation research". Es handelt sich hier um die Anwendung mathematischer Methoden und Modelle zur Vorbereitung optimaler Entscheidungen, d.h. es widerspricht dieser Aussage, eine Methode, bei der nicht das Feststellen eines angegebenen Zustandes, sondern die Ableitung von Möglichkeiten das Wesentliche ist. Gegründet wurde diese Methode im 2. Weltkrieg als strategisches Hilfsmittel. Jetzt ist sie sehr bedeutend in der Betriebswirtschaft und auf technischen Gebieten, wie z.B. für Regelprozesse in chemischen Anlagen. Wie ist nun die Arbeitsmethode des operation research? Das Problem, Realproblem genannt, wird zunächst beschrieben und dann in einem Formelproblem nachgebildet - ein mathematisches Modell. Dieses Formelproblem versucht man zu lösen und die Lösung dann auf die Wirklichkeit zu übertragen.

Es handelt sich hier um eine heuristische Methode der Erkenntnisgewinnung. Im ganzen haben wir ein System, das wir zu analysieren versuchen. Wir verstehen also hier Systemanalyse als eine Methode zur Untersuchung und Gestaltung von Systemen. Es ist ein Verfahren, das aus bekannten und unbekanntem Elementen Beziehungen im Sinne einer schrittweisen Annäherung ermittelt. Eine Stufe höher, in der nächsten abstrahierten Ebene, kommen wir zur Systemtheorie. Das ist die grundsätzliche Behandlung des Zusammenwirkens, der durch ihre Einzelfunktion beschriebenen Elemente eines Systems und zwar untereinander und mit der Außenwelt (Abb. 1).

Die Abb. 1 zeigt ein Fließbild des Quecksilbers im Neusiedlersee. Die einzelnen Teile des gesamten Systems, Elemente genannt, werden durch Kästchen dargestellt. Die Beziehungen zwischen den einzelnen Elementen werden Relationen genannt. Man hat eigene Symbole für die Elemente entwickelt um den Informationsgehalt des Schemas zu erhöhen (ODUM 1971). Durch den gekoppelten

input und output der einzelnen Elemente wird der Kreislauf des Quecksilbers im Bio-Geo-System dargestellt.

Was ist nun die wichtigste Methode der Systemanalyse? Es ist die Darstellung des Forschungsobjektes im Modell, das die Wirklichkeit simuliert. Es handelt sich also um die Idealisierung einer Gegebenheit.

Es mag kompliziert klingen, ist aber nicht ganz neu. Wenn NEWTON für seine klassische Mechanik einen idealen Punkt und eine ideale Linie angenommen hat, so war das eine Idealisierung. Die Darstellung der Elektronen als Ladungswolken in der modernen Quantenchemie ist eine Idealisierung. Beides sind Modelle für die Wirklichkeit. Genauso wie die Modelleisenbahn können auch reale Objekte Modelle darstellen. So ist z.B. Drosophila, die Fruchtfliege, ebenfalls ein Modell. Für den komplizierten genetischen Apparat des Menschen dienen die Gene der Fruchtfliege im Experiment als einfaches Modell. Die Zahl der für Modelle verwendbaren Objekte und Begriffe ist fast grenzenlos. Wenn man einen Benzolring aufzeichnet, heißt das nicht, daß das Benzol in Wirklichkeit so aussieht, sondern es ist ein Zeichenmodell. Was geschieht in diesem Fall? wir gehen von idealen Objekten aus (idealer Benzolring) um reale Modelle abbilden zu können.

Bei derartigen mathematischen Modellen, wie wir beim operation research aufgezeigt haben, und wie sie in der Computer simulation verwendet werden, gehen wir von natürlichen Systemen (Neusiedlersee Ökosystem) zu idealisierten Systemen über. Im Gegensatz zur Realisierung bei den oberen Fällen handelt es sich hier um Idealisierung.

Jetzt kommen wir zur praktischen Anwendung. Welchen Nutzen bringt die Modellierung? Die in den Modellen dargestellten Relationen kann man verändern und dadurch verschiedene Zustände des Systems simulieren, die man mit dem wirklichen System nicht darstellen kann. Noch praktischer dargestellt:

Man versucht das Problem in einem graphischen Modell abzubilden. Dabei erschließt die Struktur des untersuchten Systems und durch bekannte Eigenschaften der Elemente\* (angenommen oder bewiesen) auch die Funktion des Systems: Das ist die Systemanalyse. Die Struktur wird bestimmt durch die Elemente des Systems und deren Relationen. Nachdem das System genau beschrieben worden ist (Elemente, Relationen, input-output, Regelkreise, Verstärkung, Schwächung) kann es zu Simulationen verwendet werden. Bei umfassenderen Modellen muß beachtet werden, daß gewisse Elemente anderen übergeordnet werden. Die Darstellung natürlicher Systeme führt immer zu einer hierarchischen Gliederung. Dies hat zu weltanschaulichen Schwierigkeiten geführt. (ENGELHARDT 1972). Aus so einem hierarchischen Modell (Abb. 2) möchte ich einen Teilbereich, das Quecksilber im Oberflächenwasser, herausgreifen: Es kann in die Erde gehen, durch Entwässerung wieder zurückkehren, und durch bakterielle Transformation in den Schlamm gehen und vom Schlamm wieder ins Wasser. Hier haben wir eine typische Koppelungsschleife.

Wichtig ist noch zu erläutern, daß ein Modell "weit" und "eng" abgebildet werden kann. Die dem Biologen näher liegende Einstellung ist, daß das Modell so vollständig wie möglich das wirkliche System abbilden soll. Dies ist nicht nur deswegen unmöglich, weil die große Zahl der Parameter nicht vollständig erfaßt werden kann, sondern ist auch deswegen nicht zielführend, da aus einem weiten Modell nicht die wesentlichen Aussagen gewonnen werden können. In einem engen Modell, das nur die für das Problem wichtigen d.h. sich gegenseitig beeinflussbaren Elemente und Relationen enthält, kann hingegen die Simulation brauchbare Aussagen liefern. Für ein Modell ist es nicht wichtig, so vollständig wie möglich, sondern so eng wie möglich, zu sein und je einfacher und je besser die Idealisierung des Systems ist, umso mehr Aussagen können aus dem Modell gewonnen werden. Wichtig ist es, daß man erkennt, ob der gewählte Begriff umfassend ist oder ob er unterteilt werden muß.

Nehmen wir an, wir haben von unserem System Neusiedlersee ein Modell dargestellt (vergl. Abb. 1). Wir haben einen Quecksilber-input über das Wasser und das Sediment in die verschiedenen "trophic levels". Angenommen input und output seien gleich. Es kommt kein Quecksilber in den Neusiedlersee hinein oder heraus bzw. es kommt soviel hinein wie herauskommt. Dieses Fließgleichgewicht soll über einen großen Zeitraum konstant bleiben. An Hand des Quecksilbergehaltes der einzelnen Elemente des Systems kann man nun das Modell quantifizieren. Dieses statische Modell, das sich nun im Laufe von angenommen 100 Jahren nicht ändert, dient nun als Arbeitsobjekt zur Simulation. Wir ändern einzelne Parameter an dem Modell und beobachten die Wirkung dieser Änderung auf das ganze System, was sich wieder in einer Änderung des input-output-Verhältnisses auswirkt. So kann man beobachten, ob sich eine Erhöhung der Temperatur, die die Aufnahmerate von Quecksilber aus dem Schlamm in das Wasser beeinflusst, in dem oben genannten Sinne verändernd auf das System auswirkt. Dies wird nun ähnlich bei allen anderen Elementen und Relationen geprüft. Es wird als erstes für die Praxis wichtig festgestellt, welche Änderungen sich in wesentlichen Unterschieden des Systems auswirken und welche Änderungen vernachlässigbar sind. Auf diese Art hat man also praktisch festgestellt, welche Elemente eingehend auf ihren Quecksilbergehalt hin untersucht werden müssen und welche nicht. Sind also die Fische gefährdet wenn man von außen eine Tonne Quecksilber in den See einführt? Oder spielt dies überhaupt keine Rolle? Solche Fragen können also durch die Simulation beantwortet werden. Jetzt ist auch einzusehen, daß nicht die vollständige Erfassung aller Parameter nötig ist. Durch Bestimmung der Sensibilität der einzelnen Elemente gegen Umwelteinflüsse kann ich eruieren, ob der input an Quecksilber von einer gewissen Größenordnung, wie er angenommenerweise vorkommen kann, überhaupt maßgebend für das System ist oder nicht.

Ich hoffe, daß ich so einen Einblick in die Bedeutung der Systemanalyse für Umweltprobleme geben konnte. Die Methodik ist keineswegs neu, und ich glaube, es verhält sich mit der Systemanalyse wie mit der abstrakten Malerei: Nach der ersten Überraschung, sagt man, das könnte ich eigentlich auch.

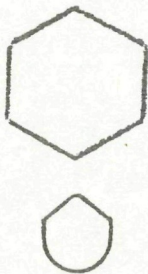
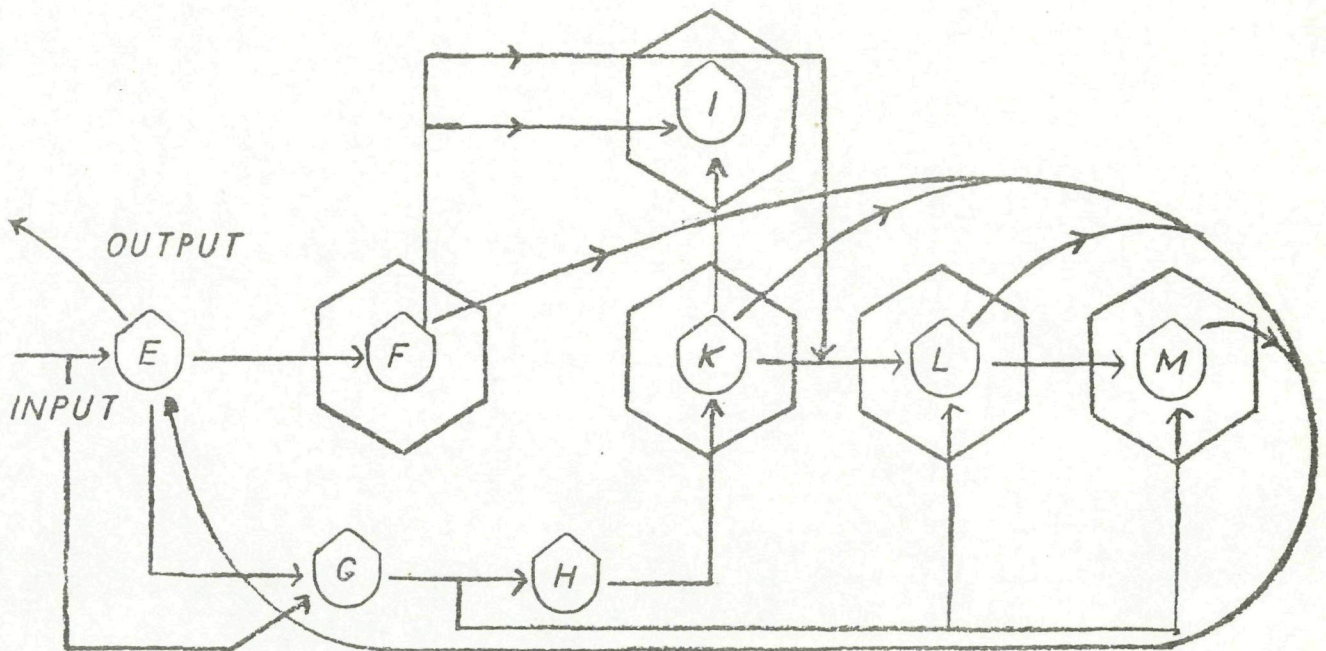


NEUSIEDLER SEE



L i t e r a t u r v e r z e i c h n i s

- ENGELHARDT, W.A. 1972: Hierarchien in Biologischen Systemen  
Stud.Biophys. 33, 53 - 72
- FAGERSTRÖM, T. A. JERNELÖV, 1972: Some Aspects of the  
Quantitative Ecology of Mercury  
Water Res. 6, 1193-1202
- ODUM, H.T. 1971: Environment, Power, and Society  
John Wiley & Sons 331 pp
- PORTA, S., G.R. RICHTER, F. SAUERZOPF, Sz. SOMORYAI, 1976:  
Untersuchungen zur Quecksilberbelastung des  
Neusiedlerseeraumes (Methodik und Anwendung)  
(im Druck)
- REINIGER P., H.J. FRISSEL, P. POELSTRA, H. BEEK 1971:  
A Hierarchy of Models for the Behaviour of  
Mercury in the Ecosystem IAEA-SM-142 a/ 23, 407-414
- RICHTER, R.R., J. WASSHÜTTL, E. BANDER, H. ALTMANN 1974:  
Untersuchungen über Spurenelemente  
im Schlamm des Neusiedlersees unter besonderer  
Berücksichtigung des Quecksilbers SGAE Ber.Nr.2357
- STEHLIK, A.I., H. PESENDORFER 1975: Organochlor-Pestizidrück-  
stände und andere Wasserinhaltsstoffe (ein-  
schließlich Spurenstoffe) des Neusiedlersees  
Biol.Forschungsinst.Burgenland, Bericht 3
- STEHLIK, A.J. 1976: Chemische Untersuchungsergebnisse vom  
Neusiedlersee aus den Jahren 1971 - 1974  
Biol.Forschungsinst.Burgenland,  
Protokoll d. Neusiedlerseetagung



... lebende Organismen,  
"selbst-erhaltend"

... Glied der Nahrungskette,  
"passiver Speicher"

- |                                   |                       |
|-----------------------------------|-----------------------|
| E ... Sediment                    | K ... Detritusfresser |
| G ... Hg "im Wasser"              | L ... Karpfen         |
| H ... suspensiertes org. Material | M ... Hechte          |
| F ... Sedimentfresser             |                       |
| I ... Räuber am Grund             |                       |

Abb. 1

Fluß des Quecksilbers in einem aquatischen Nahrungssystem  
(vereinfacht nach T. Fagerström und A. Jemelör, 1972)



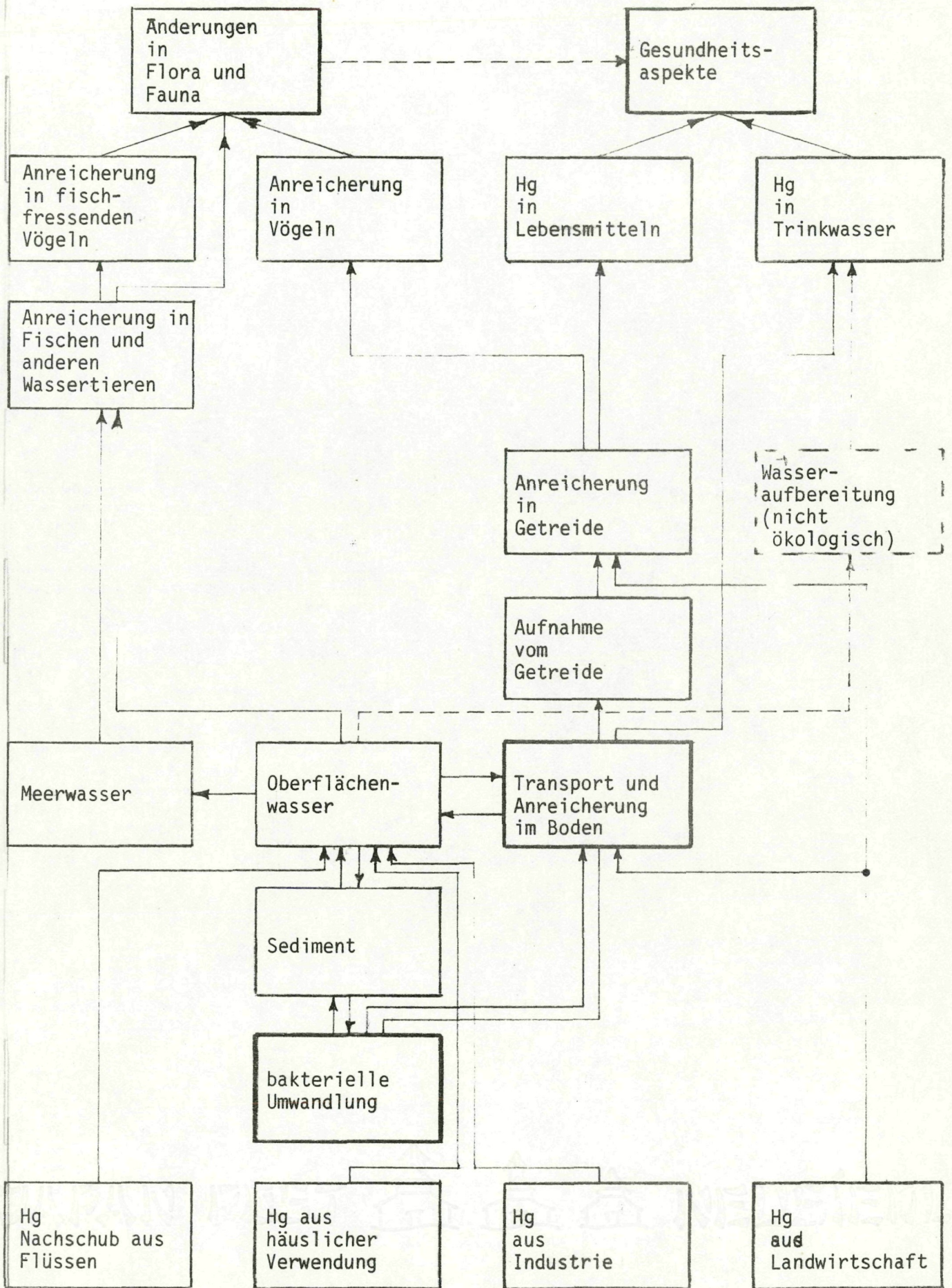


Abb. 2

Hierarchiemodell des Quecksilberkreislaufs nach P. Reiniger et. al. (1971)

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [BFB-Bericht \(Biologisches Forschungsinstitut für Burgenland, Illmitz 1](#)

Jahr/Year: 1976

Band/Volume: [13](#)

Autor(en)/Author(s): Richter G.

Artikel/Article: [Die Bedeutung der Systemtheorie für die Umwelttoxikologie am Beispiel des Quecksilbers 99-106](#)