

Übersichtsaufsatz

Was kann die Informationstechnik für den Umweltschutz tun?

What can information technology do for environmental protection?

H. Trauboth, Karlsruhe

Die Informationstechnik spielt bei der Durchführung eines effektiven Umweltschutzes eine wichtige Rolle. Voraussetzung für ihren umfassenden Einsatz ist die gesetzliche und wirtschaftliche Durchsetzung geschlossener Stoffkreisläufe für Ver- und Entsorgung bei Produktion und Verbrauch wie in der Kerntechnik. Die moderne Informationsverarbeitung kann für die Bestandsaufnahme von Natur und Emissionsquellen, zur Erkenntnisgewinnung der Wirkungsmechanismen der Natur, zur Planung einer schonenden Naturnutzung und zur ökologieorientierten Überwachung und Steuerung technischer Anlagen eingesetzt werden. Der Stand der diesbezüglichen Informationstechnik und neue Forschungsbereiche vor allem in der Meßtechnik werden aufgezeigt. Die Breite der beträchtlichen Möglichkeiten der Informationstechnik für den Umweltschutz wird dargestellt.

Information technology plays an important role in the accomplishment of an effective environmental protection. Prerequisite for its comprehensive implementation is the legal and economic achievement of closed material cycles for supply and waste discharge in production and consumption as well as in nuclear technology. Modern information processing may be used for the inventory of natural and emission sources, to gain knowledge on the functioning mechanisms of nature, for the planning of a considerate exploitation of natural resources and for the ecology-oriented monitoring and control of industrial plants. The state of the art of the corresponding information technology and new areas of research especially in measurement technology are shown. The breadth of the great opportunities of information technology for environmental protection is described.

1. Einleitung

In der letzten Zeit hat in der Presse eine Schreckensmeldung die andere gejagt: tote Fische im Rhein, Main und Saar: Krebsgefahr aus Mülldeponien: Pseudo-Krupp durch Smog. Neben der Kerntechnik verseuche nun die Chemietechnik ungehemmt unsere Umwelt. Auch Mikroelektronik und Informationstechnik seien nicht besser: sie vernichten mit ihren Computern und Robotern Arbeitsplätze in Büros und Fabriken. Insgesamt zerstöre moderne Technik Natur und menschliches Wohlergehen. Nur die Schädigungen durch die Technik stehen im Rampenlicht, der Blick auf den weitaus größeren Nutzen der Technik ist dadurch verstellt. Die Leiden, die die Men-

schen ohne diesen Nutzen der Technik, früher in den Industrienationen, heute in den Entwicklungsländern, ertragen mußten bzw. müssen, werden bei uns nicht mehr verspürt und fehlen im Geschichtsbewußtsein.

Nun, die Schäden an der Natur, an unseren Bauten und an der Gesundheit vieler Menschen sind in der Tat alarmierend. Angst und Emotionen beherrschen daher weite Teile der Bevölkerung und leider auch die Politik. Doch nur eine sachliche Behandlung der Probleme und eine sinnvolle Einbeziehung moderner Technik in die Lösung der Probleme kann uns davor bewahren, in die früheren leidensvollen Zeiten zurückzufallen. Auf umfassenden Einsatz von Technik können wir auch nicht verzichten, wenn das Maßregeln im Umweltschutz durch Verbote und Verordnungen nicht überhandnehmen soll.

Die Mengen der Industrieproduktion sowohl an Energie und Gütern wie an Abfällen mit gasförmigen, flüssigen und festen Schadstoffen haben mittlerweile ein solches Ausmaß angenommen, daß die Natur nicht mehr als unerschöpflicher Rohstofflieferant und unermeßlicher Deponieraum betrachtet werden darf. Und hier ist jeder Einzelne angesprochen; denn neben der Industrie belasten die privaten Haushalte mit Müll, Abgasen und Abwässern, der Autoverkehr mit Abgasen und Schrott, sowie die Landwirtschaft mit Dünger und Schädlingsbekämpfungsmitteln unsere Umwelt.

Der Umdenkungsprozeß ist bereits in Gang gekommen. Es soll angestrebt werden, daß Versorgung und Entsorgung einen möglichst geschlossenen Kreislauf bilden, bei dem die verbrauchten Stoffe nur in solchen Konzentrationen, Mengen und Zusammensetzungen in den Naturhaushalt zurückgegeben werden, wie dieser ihn schadlos aufnehmen kann (Bild 1). Dies bedeutet, daß die technischen Produktions-, Verbrauchs- und Entsorgungsprozesse nicht nur nach ökonomischen Zielen, sondern in verstärktem Maße auch nach ökologischen Zielen optimiert werden müssen. Das Prinzip des Regelkreises kann man auf die Wirtschaft erweitern [1]. Nach dem Verursacherprinzip sollten alle Belastungen der Umwelt mit realen Kosten belegt werden, d. h. in die Wirtschaftlichkeitsberechnungen müssen neben den Herstellungskosten auch die Kosten für die Entsorgung eingehen und dem Preis der Produkte zugeschlagen werden. Wer also eine hohe Umweltbelastung verursacht, sollte dafür zahlen, wobei jedoch gesetzlich festgelegte Höchstwerte der Belastung nicht überschritten werden dürfen. Bei der Kosten-

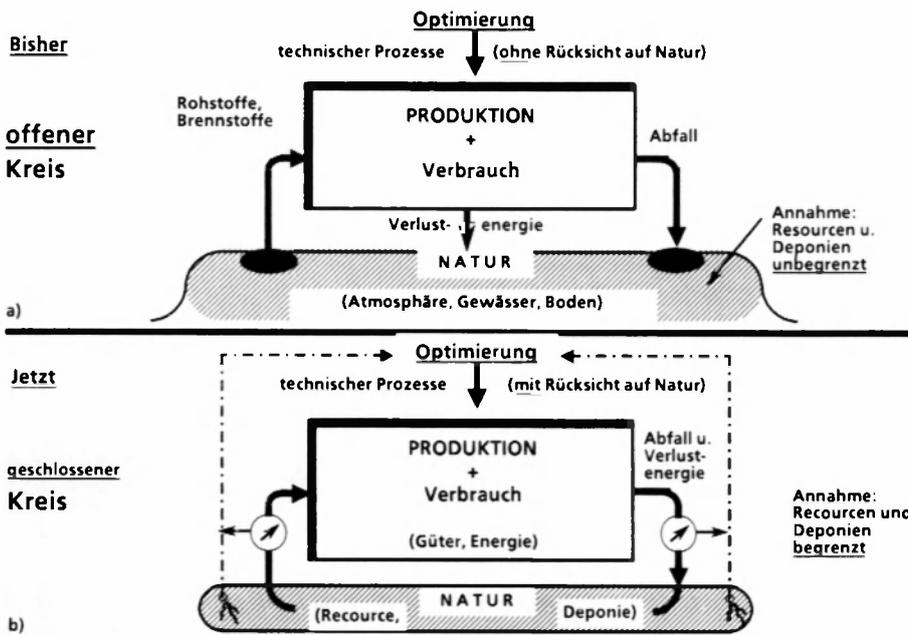


Bild 1. Natur im Verhältnis zur Technik.

ermittlung wäre eine möglichst starke Differenzierung zwischen den einzelnen Schadstoffen sinnvoll, damit gefährliche Schadstoffe und solche, die hohe Aufarbeitungskosten verursachen, mit höheren Kosten pro Mengeneinheit belegt werden. Jedem Produzenten und jedem Verbraucher würde damit individuell sein Anteil an den Kosten der Entsorgung angelastet werden.

Zur Durchsetzung des Kreislaufprinzips muß der Staat entsprechende Voraussetzungen schaffen, damit auch marktwirtschaftliche Mechanismen wirken können. Der geschlossene Brennstoffkreislauf der Kerntechnik nach dem Atomgesetz könnte dabei als Vorbild gelten. Dieser Kreislauf enthält Herstellung des Brennstoffs, Abbrennung im Kernkraftwerk, Wiederaufarbeitung der abgebrannten Brennelemente und sichere Endlagerung nicht verwertbarer Abfälle in geschlossenen Behältnissen. Bei der Wiederaufarbeitung wird wertvoller Brennstoff wiedergewonnen und zur Nutzung rückgeführt. Abgase und Abwässer werden gefiltert, so daß die Umwelt nicht geschädigt wird. Kernkraftwerke und ihre Umgebung werden automatisch, unabhängig vom Betreiber, fernüberwacht. Nach dem Vorsorgeprinzip werden seit 30 Jahren vielfältige Verfahren zum Umweltschutz in der Kerntechnik entwickelt und eingesetzt. Die Kerntechnik spielt hier eine Vorreiterrolle.

2. Produktion-Verbrauch-Natur-Kreislauf

Der geschlossene Stoffkreislauf wie in der Kerntechnik wird sich nicht allgemein und sofort vollständig verwirklichen lassen. Er kann aber als Richtschnur gelten. Wenn auch keine „Null-Belastungslösung“ erreichbar ist, so sollten Versorgung, Verbrauch und Entsorgung so optimiert werden, daß die Belastung der Natur minimiert wird.

Die technischen Produktions- und Verbrauchsprozesse werden nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten so opti-

miert, daß sie ein Minimum an Energie, Rohstoffen, Abfall, Arbeitskraft, Zeit- und Kapitalaufwand erfordern. Die ersten drei Ziele sind auch im Einklang mit den ökologischen Zielen. Zur Erfüllung ökologischer Ziele sind bei der Produktion solche Stoffe zu wählen, die nach ihrem Verbrauch so entsorgt werden können, daß sie mit einem Minimum an Aufwand in verträglicher Form, Konzentration und Menge in den Naturhaushalt entlassen werden können. Was aber ist verträglich für die Natur? Wenn Stoffe in die Natur eingebracht werden, so unterliegen sie Transport- und Umwandlungsvorgängen. In der Atmosphäre, in Gewässern und im Boden verteilen sie sich, lagern sich ab und reagieren mit den in Berührung gekommenen natürlichen Stoffen. In Abhängigkeit von den atmosphärischen Bedingungen, den Gewässer-

strömungen und der Bodenbeschaffenheit entstehen nach komplexen physikalischen, chemischen und biologischen Gesetzmäßigkeiten neue Stoffzusammensetzungen. Die Natur kann als komplexer dynamischer Prozeß betrachtet werden, in dem viele miteinander gekoppelte Teilprozesse wirken. Diese Prozesse bestehen aus Stoff- und Energieströmungen, die noch ungenügend erforscht sind.

Stoff- und Energieeinträge aus technischen Produktions- und Verbrauchsanlagen in die Natur können in verschiedener Weise erfolgen. Bild 2 zeigt schematisch die wesentlichen Stoffströme zwischen Produktion, Verbrauch, Entsorgung und Natur. Der Transport von Gütern und Stoffen zwischen Anlagen, Lagern und Verbrauchern erfolgt über Transporteinrichtungen wie Lkw, Bahn, Schiff und Rohrleitungen, die ihrerseits über Abgase oder bei Unfällen und Lecks Schadstoffe an die Natur abgeben.

In der Land-, Forst- und Gartenwirtschaft werden Düng- und Schädlingsbekämpfungsmittel noch nach relativ pauschalen Regeln in Boden und Gewässer eingebracht, um ein Maximum an Nutzpflanzenwuchs zu erreichen. Oft wird dabei das Gleichgewicht des Naturhaushalts erheblich gestört. Genauere Dosierungen beim Düngen und Schädlingsbekämpfen in Abhängigkeit von Wetter, Bodenbeschaffenheit und Pflanzenwuchs schonen die Natur, was meist auch mit einer merklichen Kostenreduktion verbunden ist [2].

Um die Stoffkreisläufe (einschließlich der Stoffströme in der Natur) nach ökonomischen und ökologischen Zielen zu optimieren, müssen die Transport- und Umwandlungsvorgänge in der Natur wie in den technischen Einrichtungen beobachtet, verstanden und gesteuert werden. Der Schwerpunkt zukünftiger Entwicklungen sollte beim Beobachten, Überwachen und Verstehen der Naturvorgänge und bei der Steuerung der technischen Anlagen nach ökologischen Zielen liegen.

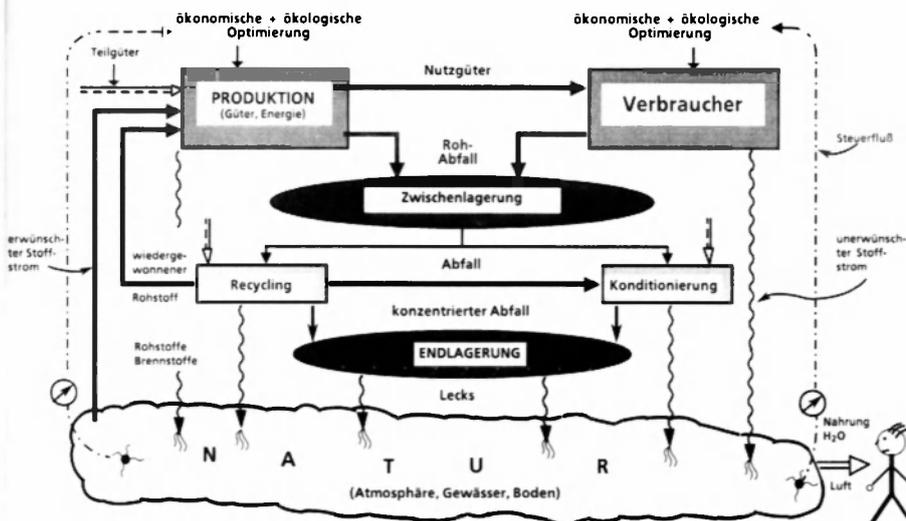


Bild 2. Stoffkreislauf Produktions-Natur.

Dies bedeutet, daß umfangreiche Informationen über die Stoffströme sowie über die physikalischen, chemischen und biologischen Wirkungsmechanismen erfaßt, verarbeitet und gespeichert werden müssen. Produktionsanlagen, Abfallaufbereitungsanlagen und Abfallagerung können anhand dieses Informationshaushalts (ähnlich wie in der Verfahrenstechnik [3]) über Regelkriterien, die mathematische Modelle zur Grundlage haben können, optimiert werden. Die differenzierte Ermittlung der Entsorgungskosten basiert ebenfalls auf der Erfassung und Berechnung umfangreicher Informationen. Erfassung, Übertragung und Verarbeitung dieser umfangreichen Informationsmengen kann nur von moderner Informationstechnik geleistet werden.

3. Möglicher Einsatz der Informationsverarbeitung

a) Überblick

Es sollen hier die erkennbaren Möglichkeiten moderner Informationstechnik den im Umweltschutz Verantwortlichen in einer Übersicht aufgezeigt werden, damit sie ihre Maßnahmen zur Realisierung eines wirksamen Umweltschutzes langfristig ausrichten und durchsetzen können. Zur Speicherung, Übertragung und Verarbeitung großer Datenmengen steht bereits heute eine preiswerte Hardwartechnik zur Verfügung. Die anwendungsbezogene Software ist nur in Teilen verfügbar, während in der Meßtechnik für flächendeckende Datenerfassung noch ein breites Entwicklungspotential ausgeschöpft werden muß.

Die Informationsverarbeitung für den Umweltschutz soll hier nach vier Aufgabenbereichen gegliedert werden.

α) Bestandsaufnahme

Hierbei werden statische Daten erfaßt und archiviert, die Parameter der Natur (Topographie, Vegetation, Geologie) und technischer Anlagen (Produktion, Verbrauch,

Emission) betreffen. Die Eigenschaften der im Kreislauf signifikanten Stoffe (Chemikalien, Bioindikatoren) werden in Bibliotheken abgelegt. Diese Daten ändern sich nicht über viele Jahre; sie werden für Berechnungen zusammen mit anderen Daten benötigt. Außerdem werden noch nicht erfaßte Zustände festgehalten (Müllbestände von Altdeponien, Bodenverunreinigung an alten Industriestandorten).

β) Erkenntnisgewinnung

Zur Erkenntnisgewinnung über die Wirkungsmechanismen in der Natur wird diese über längere Zeitabschnitte beobachtet, werden gezielt Experimente durchgeführt und mathematische Modelle für Simulationen erstellt. Hierbei werden Meßwerte erfaßt und umfangreiche Analyseberechnungen angestellt, deren Ergebnisse für weitere Auswertungen über längere Zeit abgespeichert werden. Zur Langzeitbeobachtung werden wesentliche Emissionen und Immissionen in Katastern abgelegt [4].

γ) Planung

Bei der Planung der Landschaftsnutzung, z. B. für Industrie- und Wohnansiedlungen sind Standorte, Verkehrswege und Abfalldeponien auf Umweltverträglichkeit zu untersuchen. Die verschiedenartigen Entsorgungskonzepte können auf optimale Lösungen hin analysiert werden. Alternative Lösungen werden systemanalytisch mit Hilfe von Modellen und Simulationen bewertet. Hierzu werden umfangreiche Dokumentationen über Naturschutz, Landschaftspflege, Umweltrecht, Politik sowie Umweltforschung und -technik herangezogen.

δ) Überwachung/Steuerung

Schadstoffquellen von Produktionsanlagen (Kamine, Einleitungen), von Transporteinrichtungen (Abgase von Autos, Lecks in Leitungen), von Lagern und Deponien (Lecks) und landwirtschaftlichen Maschinen werden laufend meßtechnisch überwacht und steuerungstechnisch zur Verhinderung unerlaubter Emissionen beeinflußt. An aussagekräftigen Raumpunkten oder flächendeckend in der Natur werden signifikante Stoffe gemessen und zur Steuerung technischer Anlagen weitergeleitet. Diese kann automatisch oder über menschliche Entscheidungsprozesse ablaufen. Bei Unfällen müssen Aktionen schnell und flexibel erfolgen, um Schäden einzugrenzen. Wichtige Daten zum Sammeln von Erfahrungen und zum Erkennen von Trends werden archiviert.

b) Bestandsaufnahme

Die *Landschaft* wird u. a. durch ihre Topographie, die Bodenbeschaffenheit der Flächen, den geologischen Untergrund, die Grundwasserläufe und die Flächennutzung be-

schrieben, die in rasterorientierten Datenbanken abgespeichert sind. Da zwischen diesen Datenbanken Beziehungen bestehen, sind räumliche Bezugspunkte vorgesehen. Diese Datenbanken können durch weitere Angaben über Fauna und Flora ergänzt werden. Die Daten können unterschiedliche Detaillierungsgrade (Kartenmaßstab) entsprechend der Nutzung durch die Kommunen (Gemeinde, Bezirk, Land) widerspiegeln und dementsprechend auch dezentral (neben der zentralen Ablage) abgespeichert sein. Der Zugriff auf diese Daten ist offen.

Die *Produktions-, Verbrauchs- und Abfallaufbereitungsanlagen* (Kläranlagen und Müllverbrennung) werden durch einen Katalog der verarbeiteten und emittierten Stoffe sowie signifikanter Betriebsparameter charakterisiert. Hier wird die lokale Abspeicherung vorherrschen, da der Zugriff auf diese Daten aus Wettbewerbsgründen begrenzt sein wird. Allerdings muß zumindest bei Störungen auch von zentraler Stelle Zugriff auf umweltschutzrelevante Daten möglich sein. Hier bedarf es sicherlich klarer gesetzlicher Vorschriften.

Die Eigenschaften von chemischen Stoffen, die für den Umweltschutz wichtig sind, werden in einer zentralen Datenbank mit offenem schnellem Zugriff abgelegt zur

- Bewertung der Toxizität und Reaktionskinetik,
- Verhinderung von Schäden bei Unfällen auf dem Transport und bei Störfällen in der Produktion.

Das Umweltbundesamt hat ein verzeichnisgesteuertes Stoffdatenbanksystem INFUCHS als Komponente des umfassenden Informations- und Dokumentationssystems UEMPLIS [6] bereits entwickelt und eingesetzt [5].

Industriestandorte und *Deponien* bilden eine Gefahrenquelle für Boden und Grundwasser, auch bereits geschlossene Altdeponien. Der Bestand dieser Altlasten ist aufzunehmen, wobei neben der Art und Konzentration der Stoffe möglichst auch die Schicht der Lagerung sowie signifikante Betriebsparameter der Deponien angegeben werden. Diese Daten können vor Ort in einer lokalen Datenbank abgelegt werden. Sie müssen aber für ein übergeordnetes Abfallmanagement auch von zentraler Stelle begrenzt verfügbar sein.

Zum Teil liegen die Informationen bereits rechnergeführt vor, wie die Topographie in Vermessungsämtern, oder sie sind in Dokumentationen vorhanden, die in Datenbanken umgesetzt werden müssen. Andere Informationen müssen erst manuell erfaßt und in Datenbanken eingegeben werden. Hierzu kann das Informationssystem UEMPLIS des Umweltbundesamts verwendet werden, das bereits mehrere Datenbanken für die Dokumentationen in allen Umweltbereichen enthält und benutzerfreundliche Dialoge zur Abfrage erlaubt [6]. Diese Datenbanken werden sukzessive, hauptsächlich von den Umweltbehörden ausgebaut.

c) Erkenntnisgewinnung

Die Transport- und Umwandlungsvorgänge und deren Folgen für das Ökosystem der Natur sind noch zu wenig erforscht, um die vielfältigen komplexen Wirkungsme-

chanismen zu verstehen. Dies gilt für die Vorgänge in der Atmosphäre, in den Gewässern und im Boden sowie für ihre Wechselwirkungen. Es ist wichtig zu erfahren, wie die von technischen Anlagen abgegebenen Schadstoffe sich verteilen, wie sie unter dem Einfluß der Sonnenstrahlen und Klimabedingungen mit anderen Schadstoffen und natürlichen Stoffen reagieren, wie sie sich in Gewässern und im Boden anlagern bzw. biologisch abbauen und wie sie über die Nahrungskette die Gesundheit des Menschen beeinflussen können. In den Großforschungseinrichtungen sind daher umfangreiche Programme zur Umweltforschung mit verschiedenen Schwerpunkten eingeleitet worden, so auch im Kernforschungszentrum Karlsruhe [7].

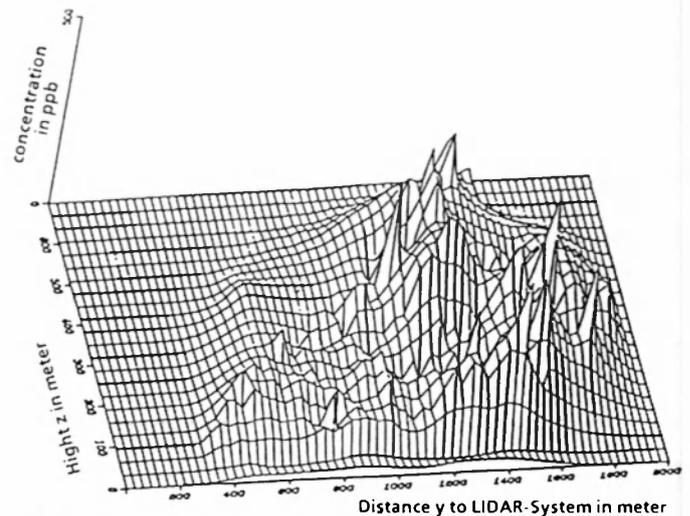


Bild 3. Konzentrationsverteilung in einer Abgasfahne [4].

Dazu sind langzeitige Beobachtungen der *Atmosphäre* (im Bereich von Stunden und Tagen) mit Meßsonden in Ballonen, Flugzeugen und Satelliten, sowie über am Boden installierte oder mobile Meßmasten und große Volumen überstreichende Fernerkundung (z. B. LIDAR) erforderlich. Hierbei fallen enorme Mengen an Meßdaten an, die über Meßdatenerfassungssysteme in DV-Systemen auf wesentliche Informationen reduziert, dann ausgewertet und für spätere Vergleichsrechnungen gespeichert werden. Typische grafische Ausgaben auf Bildschirm oder Plotter sind im Bild 3 und 4 zu sehen. Aus großer Höhe werden vorwiegend Bilder unterschiedlicher Spektralbereiche aufgenommen, die in rechnergestützten Bildanalysesystemen ausgewertet werden.

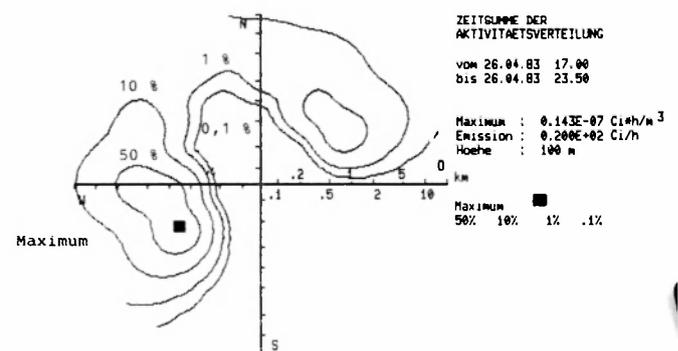


Bild 4. Isolinien der Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft (Zeitintegral) [24].

Neben ständiger Beobachtung werden Experimente zur Untersuchung bestimmter Phänomene in umgrenzten größeren Räumen mit vielen gleichzeitigen Messungen durchgeführt, die dann miteinander korreliert werden, um theoretische Ansätze entwickeln und verifizieren zu können. So wurden bei dem TULLA-Projekt die klimatischen Bedingungen des Oberrhein-Grabens umfassend gemessen und die Ergebnisse anhand mathematischer Modelle rechnergestützt analysiert [8]. Für die physikalischen Messungen werden vorwiegend relativ einfache Sensoren, dagegen für die chemischen Analysen mikrorechnergesteuerte Meßgeräte eingesetzt.

Bei diesen großräumig angelegten Messungen werden die Daten entsprechend ihrer späteren Nutzung zuerst auf wesentliche Informationen reduziert, um die Übertragungskanäle, die meist über Funkverbindungen laufen, nicht zu überlasten. Die Auswertung von Einzelphänomenen kann über Minirechner erfolgen; die Analyse größerer Zusammenhänge erfordert dagegen hohe Großrechnerleistung. Da die Experimente sehr teuer und die Auswertung sehr zeitaufwendig sind, müssen umfangreiche Ergebnisdaten über lange Zeit gespeichert werden. Experimente in künstlich erzeugter Umwelt (z. B. Treibhaus) erfordern weniger räumlich verteilte Datenerfassung und Datenkonzentrierung. Beobachtungen von *Gewässern* aus großer Flughöhe, mit Schiffen und an Bojen installierten Meßsonden können im Prinzip ähnlich wie Beobachtungen der Atmosphäre erfolgen und ausgewertet werden.

Die Beobachtung des *Bodens*, der Gewässer und des Grundwassers beschränkt sich zur Zeit auf punktuelle Stichprobennahme und einige wenige festinstallierte Meßsonden. Die Boden- und Wasserproben werden in Speziallabors mit chemischen Analysengeräten im wesentlichen auf Zusammensetzung und Konzentration der Stoffe der Probe untersucht. Die jetzige Art der Beobachtung ist unbefriedigend, da flächendeckende kontinuierliche Messungen zur Erfassung zusammenwirkender Vorgänge fehlen und die Zeitverzögerung zwischen Einbringen eines Schadstoffs bis zur Bereitstellung der Analyseergebnisse durch das Labor zu groß ist. Hier können automatisierte Labors mit rechnergestützter Ablaufsteuerung und Analysenauswertung eine Beschleunigung bringen [9]. Punktuelle Stichproben in großen Zeitabständen sagen außerdem wenig über den wahren Zustand des Bodens über eine größere räumliche Ausdehnung bei unterschiedlichen Witterungsverhältnissen aus [2]. Seismologische Untersuchungen über akustische Detektoren (wie zur Ölprospektierung) können zur Bestimmung geologischer Untergründe beitragen. Meßdatenerfassung und -verarbeitung bedürfen hierzu schneller Datenverarbeitung.

Um die komplexen dynamischen Vorgänge in der Natur besser verstehen zu lernen, werden theoretische Ansätze zur Beschreibung der Vorgänge als mathematische *Modelle* (Gleichungssysteme, Algorithmen) formuliert, die die Grundlage von numerischen Simulationen bilden. Mit Hilfe von Parameterstudien, Sensitivitäts- und Regressionsanalysen können die Modelle verbessert werden, bis die Simulationen (nahezu) die gleichen Ergebnisse wie die

Messungen ergeben. Läßt sich keine Übereinstimmung erzielen, so deutet dies darauf hin, daß wichtige Effekte bei der Modellierung nicht berücksichtigt wurden. Simulationsergebnisse können auch die Planung von Experimenten unterstützen, die wiederum zur Verbesserung der Modelle führen. Es gibt also eine enge Wechselwirkung zwischen Experimentieren und Modellieren. Dies bedeutet, daß Meßauswertungen und Simulationen möglichst schnell erfolgen sollten, und daß die Ergebnisse so dargestellt werden, daß sie leicht und eindeutig interpretiert werden können. Physikalische Vorgänge lassen sich meist mathematisch eindeutig beschreiben, analysieren sowie gut messen; chemische und biologische Vorgänge und deren Kopplung mit physikalischen Vorgängen können meist nur über statistische Analysen behandelt werden, wie auch ihre Messungen statistischer Korrekturen von Meßfehlern bedürfen. Die Modelle werden in unterschiedlichem Detaillierungsgrad erstellt. Je mehr Einflußfaktoren, größere Räume und Zusammenhänge einbezogen werden, desto mehr Nebeneffekte müssen ausgeklammert werden, desto größer ist die mathematische Formulierung, da andernfalls die Modelle zu groß werden und untragbar lange Berechnungen erfordern würden. Umgekehrt, je kleiner der zu untersuchende Bereich, d. h. je tiefer man die Vorgänge eng begrenzt verstehen will, desto detaillierter wird das Modell sein.

Die *Vielfalt der Modelle* kann nur angedeutet werden [4]. Ausbreitungsmodelle beschreiben Transport- und Austauschvorgänge von Stoffen und Energie in der Atmosphäre und in Gewässern mit oder ohne Berücksichtigung der begrenzenden Topologie. Für den Boden einschließlich Grundwasser werden diese ebenfalls benötigt. Wasserbeschaffenheitsmodelle erlauben die Berechnung der biochemischen Vorgänge in natürlichen und aufbereiteten Gewässern. Zur Erstellung von Belastungskarten, die der Beschreibung und Bewertung von großflächigen Umweltbelastungen dienen, werden aus den Belastungsmodellen Belastungskenndaten errechnet. Ökologische Modelle beschreiben die Wechselbeziehungen zwischen den Populationen innerhalb eines Ökosystems (z. B. eines Sees), um das dynamische Gleichgewicht in Abhängigkeit von externer Stoff- und Energiezufuhr zu berechnen. Ökonomische Modelle behandeln wirtschaftliche Zusammenhänge in Abhängigkeit von umweltpolitischen Maßnahmen, von der Gestaltung umweltfreundlicher Produktions-, Transport- und Abfallaufarbeitungsprozesse sowie von Rohstoff- und Schadstoffbilanzen. Integrierte Umweltmodelle sollen als Instrumente für umweltverträgliche Raumplanung herangezogen werden.

Die Modelle werden von Personen unterschiedlicher Fachdisziplinen in gegenseitiger Zusammenarbeit erstellt und benutzt. Ihre Handhabung auf dem Rechner muß daher auf die Bedürfnisse dieser Benutzer durch entsprechende Mensch-Maschine-Schnittstellen ausgerichtet sein. Die Simulationen erfordern für große komplexe Modelle im allgemeinen digitale Großrechenanlagen (z. B. Vektorrechner) oder auf spezielle Modellstrukturen angepasste Feldrechner. Gute Grafikausgaben erleichtern die Interpretation der Rechenergebnisse. Die Entwicklung der Umweltmodelle wird mit dem Streben nach mehr

Kenntnis über die Abläufe in der Natur und die Schadstoffwirkung an Umfang und Komplexität stark zunehmen.

Größere Modelle, die breitere Raumbereiche und Zusammenhänge beschreiben, werden auch für langfristige Überwachungsmaßnahmen eingesetzt. Zu ihrer Entwicklung werden Langzeitbeobachtungen über fest installierte Meßnetze der Bundesländer herangezogen, deren Daten einer Datenbank „Emissions-Ursachen-Kataster“ zugeführt werden. In diesem mehrschichtigen Kataster sollen flächendeckend für die Bundesrepublik die Emissionen von Leitsubstanzen (Schadstoff-Indikatoren) durch die verschiedenen Verursacher wiedergegeben werden, damit umweltpolitische Maßnahmen daraus auf fundiertem Wissen ergriffen werden können [4].

Die FuE-Ergebnisse und der daraus erwachsene Erkenntnisgewinn müssen dokumentiert und in einer entsprechenden, möglichst offenen Datenbank abgelegt werden, damit sich die verschiedenen FuE-Gruppen im Umweltbereich gegenseitig befruchten können.

d) Planung

Rechnergestützte Modelle sind auch wichtige Instrumente für die Raum- und Verkehrsplanung, das Abfallmanagement, die Wasserwirtschaft und den Katastrophenschutz. So kann ein Modell für die Ausbreitung von Stoffen in der Atmosphäre unter vorgegebenen meteorologischen und topologischen Bedingungen herangezogen werden, um den zu erwartenden Schadstoff- und Abwärmeeintrag einer geplanten Industrieansiedlung in die Umgebung abzuschätzen [10]. Die Umweltbelastung alternativer Standorte kann durchgespielt werden, bis eine optimale Lösung gefunden wird. Über Simulationen können auch langzeitliche Entwicklungen bei Berücksichtigung vieler umweltpolitischer, wirtschaftlicher und technischer Randbedingungen vorausberechnet und abgeschätzt werden. Dadurch können Trends der Zukunft mit in die Planung einbezogen werden. Es sind meistens weit-sichtige Entscheidungen gefordert, da Planung und Realisierung größerer Projekte viele Jahre in Anspruch nehmen.

Hierzu müssen die Simulationssysteme auf Daten- und Methodenbanken zugreifen können, die die verschiedenen benötigten Modelle beschreiben und die die Dokumentation der Randbedingungen enthalten, aus denen signifikante Parameter und Werte herausgezogen werden. Expertensysteme können heuristische Modelle von logischen Abläufen durchspielen. Für überregionale und vielschichtige Planungen werden Zugriffe auf räumlich verteilte Datenbanken nötig sein, so daß die Simulationssysteme meist in umfassende Rechnernetze eingebunden sein müssen. Um Informationen schnell für Entscheidungen bewerten zu können, werden unterschiedliche benutzerfreundliche Ausgaben, meist in grafischer Form von der Kurve bis zum 3D-Bild, gefordert. Interaktive Bedienung mittels intelligenter Dialoge beschleunigt die Nutzung des rechnergestützten Instrumentariums.

Ergebnisse der Simulation sowie Kennzahlen alternativer Strategien und Entwürfe können als Grundlage von umweltpolitischen Entscheidungen verwendet werden. Bei der Einbeziehung vieler Faktoren in die Entscheidungen werden diese komplex und bedürfen rechnergestützter Hilfsmittel. So beruhen Entscheidungen über die Auswahl eines geeigneten Entsorgungsverfahrens für Abfallstoffe bzw. die notwendigen Maßnahmen zur Sicherung und Sanierung von Altdeponien in hohem Maße darauf, wie die von den Abfallstoffen bzw. den verunreinigten Böden auf die Schutzgüter Grundwasser, Oberflächenwasser, Boden und Luft ausgehenden Gefahren eingeschätzt werden.

Da bisher wenig wissenschaftliche Kenntnisse existieren, die eine einheitliche Bewertung der Gefahren erlauben würden, ist man zur Zeit auf das Fachwissen weniger Experten auf diesem Gebiet angewiesen. Ein interaktives DV-System kann diese Experten bei der Beurteilung der Gefährlichkeit von Abfallstoffen und von verunreinigten Böden unterstützen [11].

In ähnlicher Weise können optimale Meß- und Laboranalysestrategien gefunden werden, um hohe Aussagekraft, Qualität und Schnelligkeit begrenzt verfügbarer Messungen und chemischer Analysen zu erreichen [9].

Um dieses Expertenwissen auch einem größeren Kreis von Nutzern zugänglich zu machen, kann es so strukturiert werden, daß es mit den Verfahren der wissensbasierten Rechnersysteme abgefragt werden kann. Solche sogenannten Expertensysteme unterstützen menschliche Entscheidungsprozesse, die optimale Lösungen aufgrund logischer Beziehungen und Schlußfolgerungen anstreben. Auf dem Markt befinden sich Spezialrechner und Software-Werkzeuge, die für den Aufbau und die Abfrage von Wissensbasen eingesetzt werden können. Allerdings befindet sich der praktische Einsatz solcher Systeme noch am Anfang und sowohl anwendungs- wie grundlagenorientierte Forschung und Entwicklung sind hier noch notwendig. Die Kopplung solcher Systeme mit Datenbanken und Simulationssystemen sowie der verteilte Zugriff auf Wissensbasen wird jetzt von der Industrie angegangen [19].

e) Überwachung und Steuerung

Es ist das Ziel der Überwachung und Steuerung von Emissionen technischer Anlagen, den Schadstoffaustrag an der Quelle zu verhindern bzw. zu minimieren, bei Störfällen den Schaden zu begrenzen und die Bevölkerung rechtzeitig zu schützen, Verursacher unerlaubter Emissionen schnell zu identifizieren und diese Emissionen quantitativ zu erfassen. Ebenso sind die Immissionen in der Natur laufend zu überwachen, um unerlaubte Emissionen, unerwartet akkumulierende Immissionen und Immissionen aus dem Ausland schnell erfassen zu können. Die Überwachung soll weitgehend automatisch geschehen, während die Steuerung auch manuell mit Rechnerunterstützung erfolgen kann, wenn die Entscheidungen komplex und nicht nur technischer Natur sind.

Produktions-, Verbrauchs- und Entsorgungsanlagen können mit moderner Automatisierungstechnik so gesteuert und geregelt werden, daß sie ein Minimum an Abfällen und Verlustenergie, was vom verwendeten technischen Verfahren abhängt, erzeugen. Darüber hinaus können Abgase an Kaminen, Abwässer an Einleitungen und Abfälle an Ausgangslagern laufend über plombierte Meßdatenerfassungseinrichtungen überwacht werden. Bei Überschreiten von Schadstoffgrenzwerten kann über Rückmeldung automatisch oder manuell in die Produktion eingegriffen werden, um die Emissionen zu verhindern oder zu reduzieren. Zulässige Emissionen können auch in Abhängigkeit von Umweltbedingungen automatisch dosiert abgegeben werden. Die Emissionswerte können gespeichert werden, so daß die Überwachungsbehörden jederzeit auf Grenzwertüberschreitungen und Funktionstüchtigkeit der Meßeinrichtungen prüfen und später festgestellte Störfälle nachvollziehen können.

So sind zur Fernüberwachung von Kernkraftwerken (KKW) durch die Aufsichtsbehörden in einigen Ländern der Bundesrepublik DV-Systeme eingerichtet worden. Diese Systeme erfassen, verarbeiten, speichern, übertragen, präsentieren und dokumentieren kontinuierlich die Meßwerte von Geräten am Kamin sowie in der Anlage und von meteorologischen sowie Immissions-Meßgeräten, die in der Umgebung verteilt installiert sind. Über Ausbreitungsrechnungen wird die radiologische Belastung in der Umgebung eines KKW abgeschätzt. Bei Grenzwertüberschreitung und abnormalem Verhalten einer Meßvariablen wird die Aufsichtsbehörde automatisch alarmiert. Den dezentralen Systemaufbau des Kern-

reaktorfernüberwachungssystems (KFUE) von Baden-Württemberg zeigt Bild 5. Zukünftig wird dieses System mit anderen Umweltmeßsystemen vernetzt, um durch Korrelation von Informationen die Gesamtlage schnell und sicher beurteilen zu können [17; 18].

Auch die privaten Haushalte erzeugen Emissionen, die insgesamt ca. 1/4 aller Emissionen in der Bundesrepublik ausmachen. So kann man sich vorstellen, daß die verschiedenen Schadstoffe im Abwasser und die Emission der Heizung eines Haushalts mit Hilfe von Sensoren und Meßgeräten gemessen und mit Hilfe eines Computers ausgewertet werden. Bei Überschreitung vorgegebener Grenzwerte kann eine Alarmmeldung zurückgeschickt werden. Wie die Zähler den Verbrauch von Strom und Wasser vor Ort festhalten, könnten Meßgeräte die Höhe der Entsorgung (wenn auch mit größerem technischen Aufwand) vor Ort bestimmen. Die Emissionen können durch stärkere Automatisierung von Verbrauchsanlagen, wie z. B. automatische Dosierung von Waschmitteln bei der Waschmaschine, reduziert werden.

Tanks, Lagerwannen, offene Becken und Deponien werden an kritischen Stellen mit Leckanzeigern (für Flüssigkeiten) und mit Detektoren (für Gase) versehen, die laufend elektronisch überwacht werden. Lecks bahnen sich meistens langsam an und können dann bei früher Entdeckung schnell behoben werden. Bei Überschreiten kritischer Grenzwerte wird über die Leitzentrale automatisch die Feuerwehr alarmiert, die Gegenmaßnahmen gezielt einleiten kann, da elektronische Prüfverfahren eine schnelle Diagnose eines Lecks erlauben. Bei Deponien können der umgebende Boden und das Grundwasser mit Sensoren bestückt sein, so daß unerlaubte Stoffeinträge automatisch rechtzeitig erkannt werden. In Lagerhallen werden neben Rauchmeldern auch Detektoren installiert, die flammbare Gase schnell erkennen, um einen Brand durch entsprechende Vorsorgemaßnahmen auszuschließen.

Für den Transport von flüssigem, staubförmigen und gasförmigem Material verwendete Rohrleitungen können durch festinstallierte Lecksensoren überwacht werden. Eine genaue Diagnose der Leckstellen und frühzeitiges Erkennen kleiner Wandrisse zur Vorsorge können über zerstörungsfreie elektronische Prüfgeräte (z. B. „Korrosions-Molch“ [12], Ultraschall, Röntgenstrahlen), wie sie für kerntechnische Anlagen entwickelt wurden, erfolgen. Jede Art von Behältern, Kesseln und Tanks auf Fahrzeugen (oder fest installiert) können so laufend auf Lecks überwacht und vor gefährlichen Leckzuständen aus dem Verkehr gezogen werden.

Um das Gefahrenpotential von Transporten gefährlicher Güter zu reduzieren und den Transport von unerlaubten Gütern oder in unerlaubten Behältern zu verhindern, wird über den Transport bei absendender Stelle, im Fahrzeug und bei empfangender Stelle elektronisch buchgeführt. Durch automatische Konsistenzprüfungen zwischen dem Bordcomputer des Fahrzeugs und den Computern der Absender- und Empfängerstelle können unzulässige Transporte schnell entdeckt werden. Durch automatische Messung von Indikatoren im Fahrzeug, die das

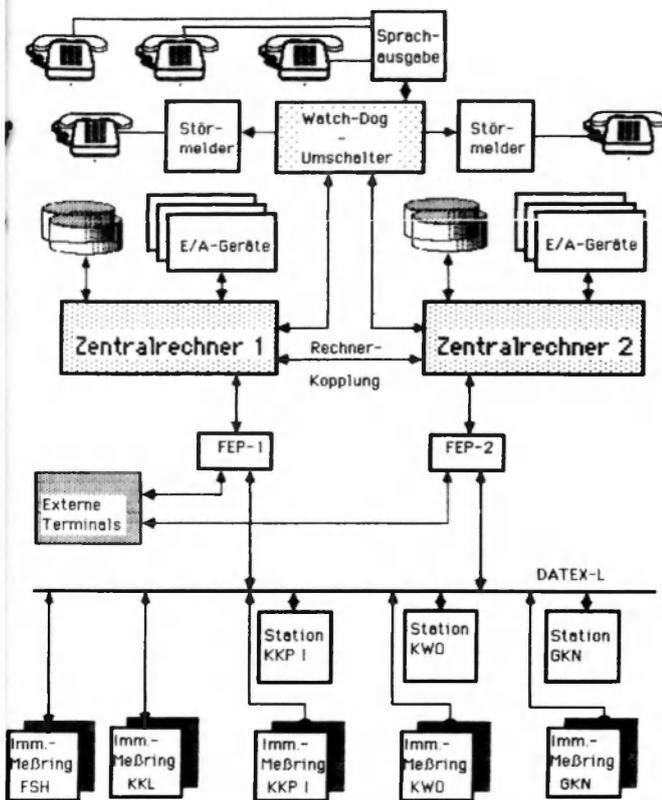


Bild 5. Kernreaktorfernüberwachung (KFUE-Baden-Württemberg) [17].

Gefahrgut kennzeichnen, kann verhindert werden, daß unzulässige Stoffe vom Fahrzeug transportiert werden.

Jedes Kraftfahrzeug belastet mit seinen Abgasen die Umwelt recht erheblich. Daher sollte der Schadstoffausstoß möglichst kontinuierlich überwacht werden. An jeder Zapfsäule einer Tankstelle könnte eine Meßsonde die Schadstoffe im Auspuff des Kraftfahrzeugs messen, bevor die Tankpistole freigegeben wird. Die in der Tankstelle installierte Meßeinrichtung überspielt dann die Meßwerte in den verplombten Bordcomputer des Fahrzeugs. Bei der nächsten TÜV-Überwachung werden die Kosten für den akkumulierten Schadstoffausstoß und bei wiederholten Grenzüberschreitungen die zusätzlichen Gebühren anhand der im Bordcomputer gespeicherten Daten vom Computer des TÜV berechnet, und für den Kfz-Halter aufgeschlüsselt.

Die Abgase von Schiffen können wie bei Produktionsanlagen, die von Booten wie bei Kraftfahrzeugen überwacht werden. Einleitungen von Öl und Abwässern in Gewässer werden über verplombte Meßeinrichtungen und Speicherung der Meßdaten im Bordcomputer erfaßt bzw. automatisch gestoppt, wenn Grenzwerte überschritten werden.

Die Überwachung der Abfallbehandlung ist ähnlich der einer Materialverfolgung. Abfälle werden gesammelt, dabei gemischt, nach Stoffarten wieder getrennt, unterschiedlich aufbereitet bzw. aufgearbeitet und entsprechend ihrer Gefährlichkeit zwischen- und endgelagert. Zwischen den Verfahrensprozessen finden Transporte statt. Zur Überwachung des Transports, der Lagerung und Verarbeitung von Kernbrennstoffteilen sowie von nuklearen Abfällen wurden in der KfK zwei rechnergestützte Materialverfolgungs- und Buchführungssysteme entwickelt, die auf laufenden Materialbilanzierungen an signifikanten Punkten der Stoffströme basieren [13].

Das Grundwasser und damit unsere Hauptlebensquelle, das Trinkwasser, werden zu einem erheblichen Teil durch Düngung sowie chemische Schädlings- und Unkrautbekämpfung in der Landwirtschaft gefährdet. Diese Gefährdung kann bereits heute durch den Einsatz herkömmlicher EDV beträchtlich vermindert werden. Unter günstigen Bedingungen könnten 1/3 der Dünge- und Bekämpfungsmittelmengen sowie deren Kosten bei unvermindertem Ertrag durch EDV-Einsatz eingespart werden (Bereits heute wird durch rechnergestützte Düngeplanung mehr Kunstdünger eingespart als durch alle alternativen Betriebe) [2].

Voraussetzung ist, daß auf dem Feld und im Betrieb mehr als bisher gemessen, beobachtet, untersucht und datenmäßig gespeichert wird. Dadurch kann der Boden in Abhängigkeit seiner Beschaffenheit, des Pflanzenwuchses, seiner Feuchtigkeit und des Wetters gesteuert mit Nährstoffen optimal versorgt werden. Über Wetterbeobachtung, Planungsmodelle und Krankheitsvorhersagemodelle können Krankheiten mit schonenden Mitteln vorbeugend bekämpft werden.

Die durch Experimente und Theorie fundierten Kenntnisse über biologische, chemische und physikalische Zusammenhänge, die von wenigen Experten erarbeitet wurden, können durch Abfragen zentraler Wissensbasen in dezentralen Beratungsstellen der Landwirtschaftsämter den Landwirten für den praktischen Einsatz zugänglich gemacht werden. Bereits heute können mittels eines Personal Computers (PC) Planungsdaten für Düngung, Stickstoffeintrag, Unkrautbekämpfung und Vorhersage von Weizenkrankheiten über BTX abgefragt werden. Bild 6 zeigt die Grundstruktur eines solchen Systems.

Der Eintrag der verschiedenen Stoffe in den Boden wird durch mikrorechnergesteuerte Ackerbaugeräte entsprechend den Planungsvorgaben dosiert. Ein Pilot-System MAC ist im Bild 7 zu sehen.

Um die Zustände im Boden genauer zu erfassen, müssen flächendeckende kontinuierliche Messungen an signifi-

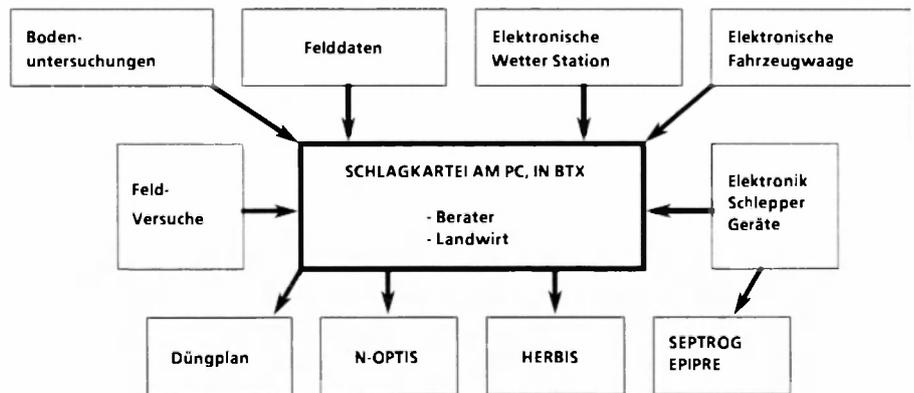


Bild 6. CIPP – Computer-Integrierte Pflanzen-Produktion (nach Reiner [2]).

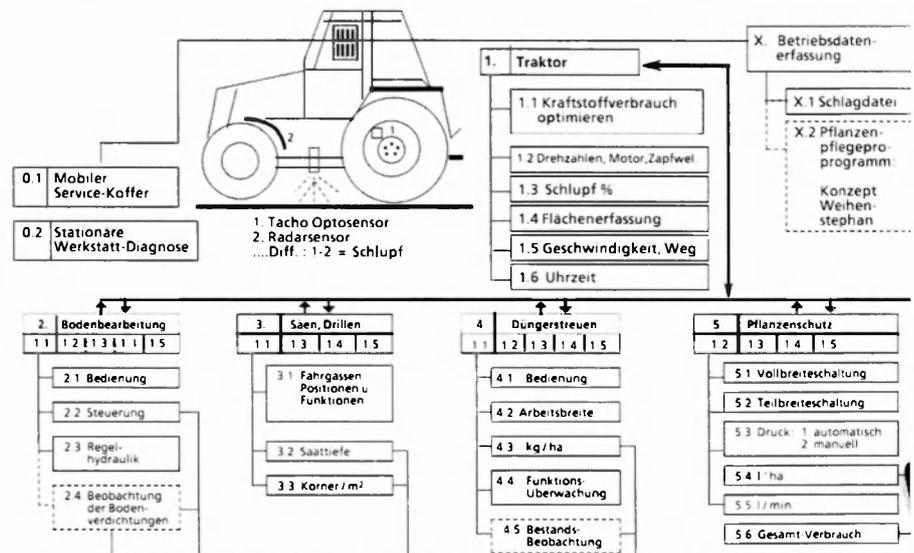


Bild 7. MAC – der Mobile-Agrar-Computer (nach Reiner [2]).

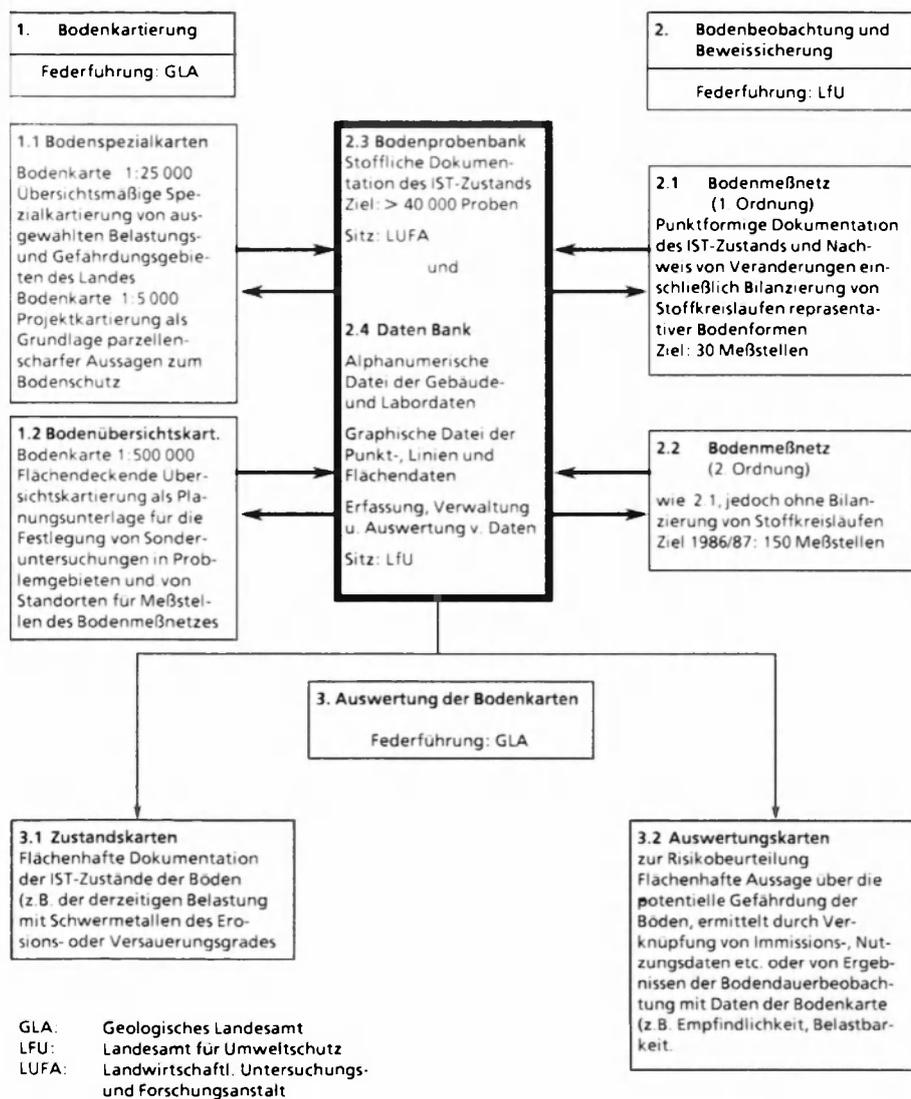


Bild 8. Bodeninformationssystem Baden-Württemberg [15].

kanten Stellen erfolgen. Als erster Schritt ist in Baden-Württemberg ein Bodenmeßnetz mit 150 Meßstellen in typischen Böden an repräsentativen Standorten der Landschaft geplant, das sukzessive ausgebaut werden soll. Mit dieser umfassenden Überwachung sollen vorbeugend und rechtzeitig bei Beobachtung schädigender Einflüsse Gegenmaßnahmen ergriffen werden können [14]. Zusammen mit einer zentralen Bodendatenbank, die Bodenkarten, bodenphysikalische Daten und bodenchemische Untersuchungsergebnisse enthält, und mit hydrologischen Daten soll ein Bodeninformationssystem aufgebaut werden, das die Überwachungsbehörden in ihren Entscheidungen unterstützt (Bild 8) [15]. Hiermit können auch langzeitige Veränderungen von Flächennutzung, Erosion und Wasserfilterung qualitativ erfaßt werden.

Ähnliche Meßnetze könnten auch für Gewässer und Atmosphäre aufgebaut werden. Man kann sich auch vorstellen, daß für eine verfeinerte lokale Überwachung land- und forstwirtschaftlich genutzter Flächen und Trinkwassereinzugsgebiete engmaschigere Meßnetze installiert werden. So könnten robuste Sensoren, die auf bestimmte Indikator-Substanzen ansprechen, Grenzwertüberschrei-

tungen in Boden und Grundwasser über Funk an Meßstationen melden, die diese Informationen zu Alarmmeldungen verarbeiten. Zusammen mit Daten aus der Bodenbank können grobe Auswertungen vorgenommen werden, die durch gezielte genauere Messungen mobiler Meßeinrichtungen verbessert werden können. Unerwarteten Schadstoffbildungen im Boden und Grundwasser könnte dadurch rasch entgegengewirkt werden. Düngen, Spritzen, Säen und Bearbeiten des Bodens werden dann zu solchen Zeitpunkten durchgeführt, bei denen optimale ökologische und ertragsbegünstigende Bedingungen herrschen. Auch schnell arbeitende mobile Probenahmemaschinen wären denkbar, die an Bord den Ort der Probenahme registrieren, Indikator-Substanzen messen, die Meßergebnisse speichern, grobe Auswertungen vornehmen und die Ergebnisse an Meßstationen weiterleiten.

Für übergeordnete Entscheidungen der Überwachungsbehörden können die Daten auf den wesentlichen Informationsgehalt reduziert und über eine Hierarchie von Stationen nach oben weitergereicht werden; umgekehrt sind gezielte Anfragen (unter Berücksichtigung von Zugriffsrechten) von oben auf detaillierte Daten möglich. Es liegt hierbei ein Informationssystemnetz zugrunde, das auch das öffent-

fentliche Telefonnetz wie bei den bestehenden landesweiten Luftmeßnetzen einbezieht [16]. Ein solches System kann natürlich zusätzlich auch wertvolle Daten zur Erkenntnisgewinnung und Planung liefern. Durch Archivierung wesentlicher Informationen in Datenbanken können langzeitige Trends erkannt werden. Auf diese Datenbanken können Expertensysteme aufgesetzt werden, die umfassende Analysen und Entscheidungen unterstützen [19].

4. Anforderungen an die Informationstechnik

Die verschiedenen Aufgabenbereiche stellen an die Funktionen der Informationssysteme, d. h. an die Erfassung, Übertragung, Verarbeitung, Speicherung und Ausgabe von Daten, unterschiedliche Anforderungen.

Zur Erfassung von Messungen in der Natur und in technischen Anlagen ist eine enorme Vielzahl von Sensoren, Meßgeräten und Analyseeinrichtungen unterschiedlicher Arten erforderlich. Unterschiedliche physikalische, chemische und biologische Prozeßgrößen und Indikatoren in verschiedenartigen natürlichen Umgebungen (Atmosphäre, Gewässer, Böden) und technischen Prozeßumge-

Tabelle 1. Umweltschutz-Informatik - Matrix.

Aufgabenbereiche		Umweltschutz-Aktivitäten													
		Bestandsaufnahme			Erkenntnisgewinnung				Planung			Überwachung/Steuerung			
Komponenten der Informations-Technik	Funktionen	Datenerfassung	Archivierung	Abfrage	Datenerfassung	Datenanalyse	Modellentwicklung	Archivierung	Systemanalyse	Modellentwicklung	Konzeptbewertung	Meßdatenerfassung	Überwachung	Steuerung/Regelung	Abfallverfolgung
	Sensorik					*							*		
Prozeßperipherie	x				*							*			x
Bedienperipherie	x		*		x	x	*	x	x	*	*				x
Verarbeitung						*	*			*	x		x	*	x
Datenbank	*	*					*	*	x	*	x		x	x	*
Kommunikation	x				x		x			x		*	*	*	*
Simulation						*	*			*	*		x		x
Wissensbasis			x				x	x	x	*	*		*	x	*

* stark x schwach

bungen (mit gasförmigen, flüssigen und festen Stoffen unterschiedlicher chemischer/physikalischer Aggressivität) bedingen viele spezielle Meßverfahren und technische Ausführungen. Zusätzliche Kriterien wie Genauigkeit, Robustheit und Handlichkeit gehen hierbei ein. Meßeinrichtungen können fest installiert oder mobil sein. Nach Möglichkeit sollte die Kalibrierung automatisch oder leicht im Wartungsbetrieb möglich sein. Für diese Vielfalt von Meßmöglichkeiten müssen einheitliche digitale Schnittstellen zum DV-System bereitgestellt werden, damit die Daten über genormte Leitungen bzw. Funkstrecken übertragen werden können.

Hauptmerkmale von Datenübertragungsstrecken sind Geschwindigkeit, Störschutz und Steuerungsart (und natürlich Kosten). Die Übertragung von den Sensoren zu den Meßstationen kann mit geringer Geschwindigkeit erfolgen, da die meisten Prozesse relativ langsam ablaufen. Bei räumlicher Verteilung der Sensoren im ländlichen Bereich bieten sich Funkstrecken an. Je mehr Daten in Knoten zusammengefaßt werden, desto höhere Geschwindigkeit wird gefordert. Durch Vorverarbeitung in Meßstationen kann die Datenmenge reduziert werden und dadurch können oftmals vorhandene öffentliche Netze (z. B. DATEX-P) für die Übertragung zu Überwachungszentralen verwendet werden. Für die Übertragung im mittleren Raumbereich ist der Einsatz von lokalen Netzen wie in der Prozeßautomatisierung denkbar. Vom Störschutz wie vom Datenschutz werden keine hohen Anforderungen verlangt, wenn Messungen kontinuierlich erfolgen und erhebliche Redundanz in der Information vorhanden ist.

Die Verarbeitung der Daten sollte so weit wie möglich lokal erfolgen, damit diese möglichst schnell und unverfälscht von lokalen Verantwortlichen genutzt werden können und damit die Anforderungen an die Übertragungsstrecken vermindert werden. Statistische Auswertungen, umfangreiche Modellrechnungen und Durchsuchungen von Dokumentationen können auf wenige zentrale Großanlagen beschränkt sein. Bildanalyse, Musterkennung und Verfahren der „Künstlichen Intelligenz“ können auf dedizierten Spezial- und Mini-Rechnern ablaufen.

Die Speicherung von Daten wird räumlich wie strukturell verteilt sein, so daß sie dort, wo sie benötigt wird, rasch verfügbar ist. Bei hierarchisch verteilter DV-Struktur werden Zugriffsrechte unterschiedlichen Umfangs an die Benutzer vergeben, damit einerseits keine Kompetenzen von Behörden überschritten werden und andererseits Zugang zu wichtigen öffentlichen Informationen nicht blockiert wird. Langlebige Dateien werden in Datenbanksystemen gespeichert und verwaltet. Auch reger und sicherer Austausch zwischen Datenbanken über Netze muß möglich sein.

Die Ausgabe von Information muß benutzerfreundlich und interaktiv sowie auf die jeweilige Anwendung zugeschnitten sein. Grafische Ausgaben mit unterschiedlicher Qualität werden vorherrschen. Dadurch sollen der Dialog mit dem Informationssystem und die Interpretation der ausgegebenen Information beschleunigt werden.

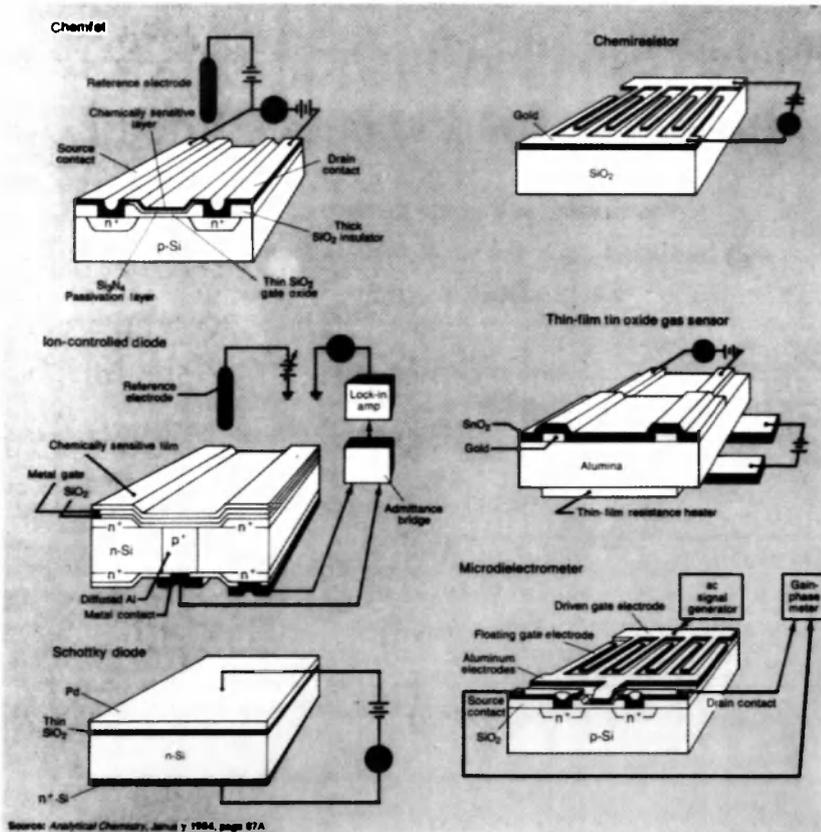
Die Strukturen der Informationssysteme orientieren sich an den Aufgabenbereichen und den menschlichen Organisationsstrukturen. In jedem Fall sollten sie so ausgebildet sein, daß die Systeme leicht erweitert und mit anderen Systemen gekoppelt werden können. In der Tabelle 1 wird in Form einer Matrix versucht, Funktionen der Aufgabenbereiche den Hauptkomponenten von Informationssystemen gegenüberzustellen. Daraus kann man Schwerpunkte des Einsatzes der Informationstechnik im Umweltschutz erkennen.

5. Stand der Technik

Die den vorangegangenen Abschnitten aufgezeigten Möglichkeiten des Einsatzes der Informationstechnik für den Umweltschutz lassen sich zum großen Teil mit verfügbarer Technik realisieren. Zuvor angegebene Beispiele realisierter und im Aufbau begriffener Informationssysteme, oft aus der nuklearen Umwelttechnik, deuten auf den bisher erreichten Stand der Technik hin.

Aber in der Meßtechnik, die die unverzichtbaren Datenquellen eines Informationssystems liefert, fehlt es an billi-

Microsensors operate in response to chemical species ...



... or make use of other detection phenomena

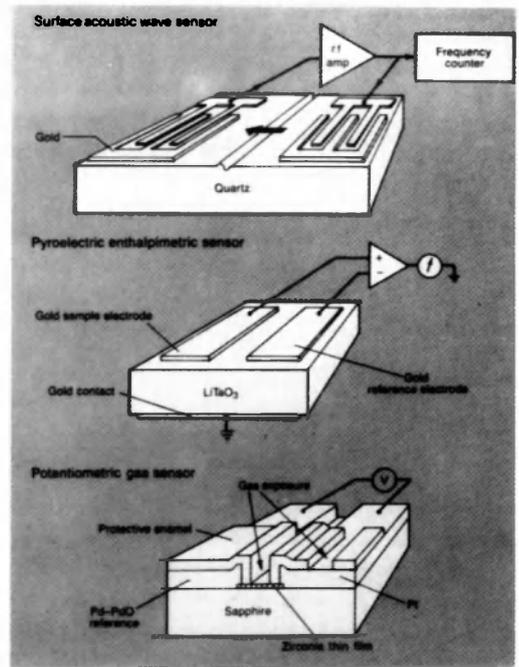


Bild 9. Chemische Mikrosensoren unterschiedlicher Meßverfahren [21].

gen, robusten Sensoren und Meßgeräten, die für eine flächendeckende und kontinuierliche Beobachtung der komplexen Vorgänge in der Natur unerlässlich sind. Doch gibt es eine Reihe von hoffnungsvollen Perspektiven aufgrund der Fortschritte in der Materialforschung und Mikrotechnologie [20; 23].

Die Halbleitertechnologie dringt nun in die Entwicklung von chemischen Mikrosensoren (chemfets) ein. Diese Sensoren erzeugen ein elektronisches Signal, sobald eine ausgewählte Substanz an der speziell präparierten Oberfläche chemisch reagiert. Diese Substanz, z. B. ein Schadstoff wie CO, streicht in einem Gasgemisch über die Sensoroberfläche [21]. Kleinste Konzentrationen unter 1 ppm können hiermit entdeckt werden. Solche chemischen Einwirkungen können auch physikalische Parameter wie elektrischen Widerstand oder akustische Resonanz verändern (Bild 9). Diese Sensoren können als Matrix angeordnet werden, um mehrere bekannte Substanzen in einem Gasgemisch gleichzeitig erfassen zu können. Ein Mikrosensor kann auch zusammen mit mechanischen Teilen (wie Ventilen) und mikroelektronischen Schaltungen auf einem einzigen großen Chip integriert werden. So bietet eine amerikanische Firma bereits einen

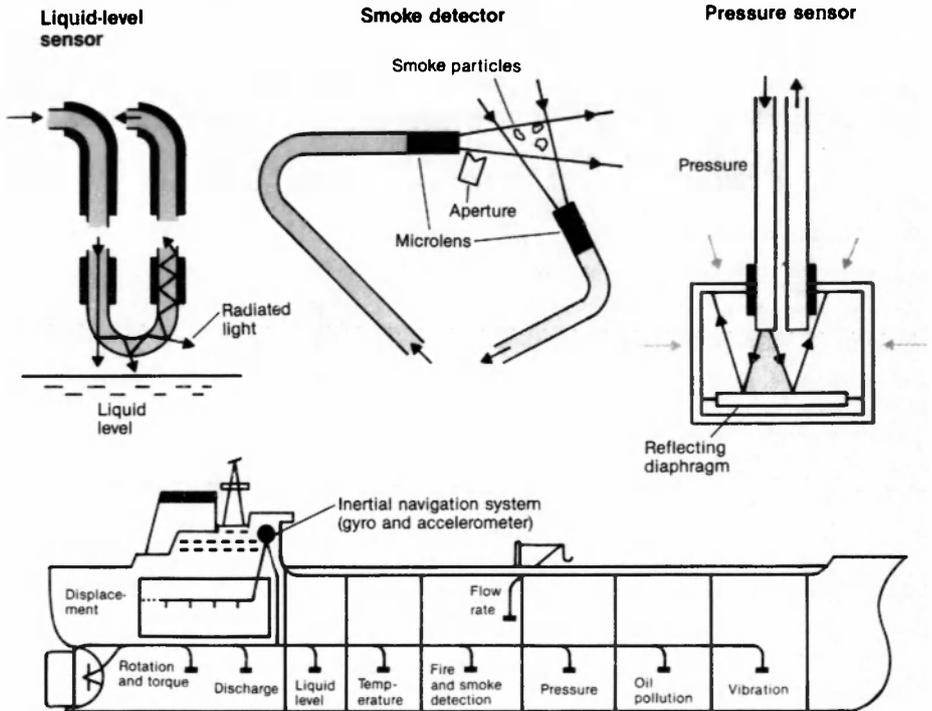


Bild 10. Rein optisches Meßdatenerfassungssystem für Überwachung und Steuerung [22].

Micromonitor Universal Gas Analyzer an, der bis zu 100 verschiedene Gase identifizieren kann, jeweils 10 von ihnen in 45 Sekunden mit einer Empfindlichkeit in 1 ppm-Bereich. Die Abmessungen des Chips sind kleiner als 10 × 10 cm. Weitere Integrationen mit optischen Komponenten, Glasfasern, Hohlleitern und Kapillaren mit Mikroventilen befinden sich in der Entwicklung. Glasfaser-

technik erlaubt die Messung von bestimmten Substanzen in korrosiven Flüssigkeiten, z. B. Öl im Meerwasser. So läßt sich ein rein optisches Meßsystem vom Sensor über Leitungen bis zur Analyse auch in elektromagnetischen Störfeldern einsetzen (Bild 10) [22]. Zur Messung physikalischer Größen (wie Druck, Dehnung, Durchfluß, Viskosität etc.) sind neuartige elektronische Resonatoren, piezoelektrische und magnetische Meßwandler in Mikrostrukturen in Arbeit [23]. Die Automatisierung der Probenahmen für chemische Analysen wird auch die Mikro-mechanik zu neuen preiswerten Lösungen anregen.

Neuartige Herstellungsverfahren der *Mikrotiefenlithographie* mit Hilfe von Synchrotronstrahlen erlauben den Aufbau von verschiedenartigen Mikrostrukturen im µm-Bereich und eröffnen damit den Weg für die Massenerstellung preiswerter Sensoren und Mikromeßgeräte ähnlich wie in der Mikroelektronik [20].

Alle diese Meßverfahren benötigen schnelle *statistische Datenanalysen*, um Störeffekte auszufiltern und Sensoren zu kalibrieren. Hierzu sind mathematische Meßmodelle notwendig, die in die numerischen Berechnungen auf speziellen mit den Sensoren integrierten Microprozessoren eingehen [21].

Man sieht, daß die Mikrotechnologie für die Meßtechnik ganz neue Wege eröffnet hat, die auch der Umwelttechnik zugutekommen.

Ein weiterer Bereich der Forschung liegt im *Aufbau optimaler Informationssysteme*, vor allem bezüglich der Software. Hier gilt es, die vielfältigen Anforderungen der verschiedenartigen Benutzer an entsprechende Informationsstrukturen und -ströme umzusetzen, so daß sie die Benutzer schnell und zuverlässig bei der Beurteilung von Gefahrensituationen und bei Entscheidungen zu korrigierenden Maßnahmen unterstützen. Expertensysteme, gekoppelt mit umfassenden Datenbanksystemen, die mit statischen Parametern und dynamischen Meßdaten gefüllt sind, stellen noch ein weites Entwicklungspotential dar. Hier gute systemtechnische Konzepte zu finden, die sich wirtschaftlich verwirklichen lassen, ist eine Herausforderung an den Informatiker.

Voraussetzung für einen zügigen Fortschritt der Forschung und Entwicklung in den geschilderten Bereichen ist eine intensive interdisziplinäre Zusammenarbeit und das Angehen konkreter Pilotprojekte. Nur das gemeinsame Durchdringen von Problembereichen zusammen mit Chemikern, Physikern, Verfahrenstechnikern, Meßtechnikern und Informatikern kann zu umfassenden Lösungen führen. Eine Großforschungseinrichtung wie das Kernforschungszentrum Karlsruhe mit seinem projektorientierten Know-How ist hierfür bestens geeignet.

Literatur

- [1] Trauboth, H.: Neue Wirtschaftsziele schaffen mehr Arbeit. IBM-Nachrichten 36 (1986), Heft 284, S. 15–21.
- [2] Reiner, L.: Landwirtschaft und Bodenqualität. Forum Bodenschutz, Umweltschutz in Baden-Württemberg. MELUF/KfK, Stuttgart 1986, S. 62–78.
- [3] Polke, M.: Informationshaushalte technischer Prozesse. In: Trauboth, H., und Jaeschke, A.: Informatik-Fachbericht '86, GI/GMR/KfK-Fachtagung Prozeßbrechner 1984. S. 62–70.

- [4] Page, B., und Hilty, L.: Computeranwendungen im Umweltschutz. In: Page, B.: Informatik im Umweltschutz. Oldenbourg Verlag, München 1986, S. 30–60.
- [5] Stopp, M.: Verzeichnisgesteuerte Faktendatenbank am Beispiel des Informationssystems für Umweltchemikalien, Chemieanlagen und Störfälle (INFUCHS). Seminar „Informatikanwendungen im Umweltbereich“ der Universität Hamburg, Fachbereich Informatik, und des Kernforschungszentrums Karlsruhe (KfK), KfK-Bericht 4223, 1987. Herausgegeben von Jaeschke, A., und Page, B. S. 87–100.
- [6] Seggelke, J., und Page, B.: UMPLIS – Ein umfassendes Informationssystem für den Umweltschutz. In: Page, B.: Informatik im Umweltschutz. Oldenbourg Verlag, München 1986, S. 178–192.
- [7] Klose, W.: Umweltforschung in deutschen Großforschungseinrichtungen. Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Heft 2, 1987, S. 118–125 (und weitere Aufsätze in diesem Heft).
- [8] Fiedler, F.: Ziele und Durchführung des TULLA-Experiments. Projekt Europ. Forschungszentrum für Maßnahmen zur Luftreinhaltung (PEF), 2. Statuskolloquium im Kernforschungszentrum Karlsruhe, KfK-PEF 4 (1986), Band 2, S. 465–480.
- [9] Jaeschke, A., Konrad, W., et al.: CAA – A model-based advisory system for analysis management in chemical processes. Proc. of Workshop on Expert Systems and their Applications, Avignon 1987.
- [10] Faude, D., et al.: Energie und Umwelt in Baden-Württemberg. KfK 1966 UF, 1974.
- [11] Expertensystem: Umweltgefährlichkeit von Abfallstoffen (XUMA). Konzept, Ergebnisbericht über FuE-Arbeiten 1986 des Instituts für Datenverarbeitung in der Technik, KfK 4234, 1987, S. 12.
- [12] Goedecke, H., und Krieg, G.: Ultraschall-Molchsystem zur Korrosionsprüfung von Pipelines. Technische Überwachung, Nr. 1, 1987, S. 9–11.
- [13] Weidemann, R., et al.: Überwachungssysteme in der Abfallbehandlung. KfK-Bericht 4223, 1987, S. 141–156.
- [14] Köhl, U.: Ziele und Aussagemöglichkeiten des Bodenmeßnetzes. Forum Bodenschutz von MELUF/KfK, Umweltschutz in Baden-Württemberg, Stuttgart 1986, S. 138–144.
- [15] Hummel, P.: Ziele und Aussagemöglichkeiten der Bodenkarte. Forum Bodenschutz von MELUF/KfK, Umweltschutz Baden-Württemberg, Stuttgart 1986, S. 145–153.
- [16] Hausen, A., und Zacharias, U.: Automatische Luftmeßnetze. In Page, B.: Informatik im Umweltschutz. Oldenbourg Verlag, München 1986, S. 65–100.
- [17] Rudolf, A.: Systeme zur Kernreaktorfernüberwachung, Konzepte und Realisierungen. KfK-Bericht 4223, 1987, S. 157–171.
- [18] Wolf, H.: KKW-Fernüberwachung im funktionalen Zusammenhang. Atomwirtschaft, Februar 1986, S. 95–98.
- [19] Brodie, M., Mycopoulos, J. (Herausgeber): On Knowledge-Based Management Systems. Springer-Verlag, Berlin 1986.
- [20] Becker, E., Ehrfeld, W., et al.: Herstellung von Mikrostrukturen mit großem Aspektverhältnis und großer Strukturhöhe durch Röntgentiefenlithographie mit Synchrotronstrahlung, Galvanoformung und Kunststoffabformung (LIGA-Verfahren). KfK-Bericht 3995, 1985.
- [21] Haggin, J.: Faster, Smaller Integrated Sensors in Offing for Process Control. C & EN, Juni 1984.
- [22] Giallorenzi, T.G., et al.: Optical-fiber sensors challenge the competition, IEEE Spectrum 23 (1986), Nr. 9, S. 44–49.
- [23] Jordan, G. R.: Sensor technologies of the future. J. Phys. E: Sci. Instrum. 18 (1985), S. 729–735.
- [24] v. Holleufer-Kypke, R., et al.: Meteorologisches Informationssystem des Kernforschungszentrums Karlsruhe, Atomkernenergie-Kerntechnik, Vol. 44 (1984), Nr. 4, S. 300–303.

Manuskripteingang: 10. Juli 1987.

Prof. Dr. H. Trauboth, Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Institut für Datenverarbeitung in der Technik, Postfach 3640, D-7500 Karlsruhe.