

Oswald BLUMENSTEIN, Franka FISCHER, Karl GELDMACHER,
Karsten GRUNEWALD, (Dresden) und Rudolf SCHUBERT, Potsdam

Rieselfelder südlich Berlins — neue Nutzungskonzepte für eine kontaminierte Landschaft?

1. Begünstigende Raum-Zeit-Bedingungen der Entwicklung

Die Inanspruchnahme großer Flächen des brandenburgischen Umlandes von Berlin zur Abwasserbodenbehandlung wurde hauptsächlich durch nachstehende Faktoren bedingt:

- a) Das enorm angewachsene Abwasserproblem der expandierenden Metropole Berlin mußte in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts gelöst werden.

Nachdem die Rinnsteinentwässerung nicht mehr den hygienischen Ansprüchen genügte, wurde eine Abwasserentsorgung über Bodenpassage ins Auge gefaßt. Maßgebliche Initiatoren waren der bekannte Pathologe und Anthropologe VIRCHOW, der nach englischem Vorbild und der Errichtung ähnlicher Anlagen bei Danzig die Anregung dazu gab, der Stadtbaurat von Berlin HOBRECHT, der die Leitung zur Durchführung der Bauarbeiten übernahm und der Chemiker LIEBIG, der mit seinen Arbeiten über Ertragssteigerung durch Fäkalienverrieselung diese Maßnahmen befürwortete.

- b) Es waren unbebaute Flächen an der Peripherie der Stadt vorhanden.

Die ersten Flächen wurden 1874 um Osdorf und Frederikenhof für den Abwassereintrag umgestaltet und freigegeben. Eigentümer wurden die Berliner Stadtgüter. Bereits Anfang des 20. Jahrhunderts war die größte Ausdehnung der Rieselfelder im Untersuchungsgebiet mit zirka 2800 ha erreicht worden.

Seit der Inbetriebnahme sind etwa 1000—3000 mm/a beaufschlagt worden. Welche Mengen die einzelnen Areale speziell erhalten haben, ist exakt nicht recherchierbar.

- c) Es war eine die Abwasserbodenbehandlung begünstigende Naturraumstruktur vorhanden.

Diese wird durch die Teltowplatte geprägt. Sie ist eine flachwellige, jungpleistozäne Grundmoränenfläche, welche sich einige Meter bis Dekameter über die angrenzenden Niederungen erhebt und im Osten und Norden durch das Tal der Spree begrenzt wird, im Westen durch die Havelseenkette. Im Süden existieren

zahlreiche kleinere Platten, die von schmalen ehemaligen Schmelzwassertälern begrenzt werden und weit in die Teltowplatte reichen.

Die glazigenen und glazifluvialen Sedimente bilden zumeist horizontal lagernde Schichtpakete aus Sanden, Kiesen und Geschiebemergeln. Aus dem Einfallen der Schichten resultiert eine fast konzentrische, zentral-periphere Grundwasserströmung in die benachbarten Niederungsgebiete. Dort befinden sich Wasserwerke, welche das anströmende Grundwasser zur Rohwasseraufbereitung nutzen.

Es existieren nur geringe Reliefunterschiede. Die nährstoffarmen, geringwertigen Sandböden (Ackerzahlen von 15—35) mit hohem Infiltrationsvermögen sind als weiterer, die Abwasserbodenbehandlung begünstigender Faktor anzusehen.

2. Einige Aspekte der Evolutionsprozesse des Naturraumes

Nach morphogenetischen Prinzipien ist der Untersuchungsraum den Mittelbrandenburgischen Platten und Niederungen zuzuordnen. Sein Untergrund ist stark gegliedert und wird diskordant von einer känozoischen Decke überlagert (KÖLBEL 1962). Diese ist zwar relativ eben, aber ihre morphostrukturellen Merkmale werden durch einen engräumigen Wechsel verschiedener Oberflächenformen gekennzeichnet (vgl. Abb. 1).

Es dominiert eine herzynische Richtung (NW-SE) der Strukturelemente. Dies kann als Beleg für eine präpleistozäne Anlage gelten, hervorgerufen durch tektonische bzw. halokinetische Vorgänge im mesozoischen Deckgebirge, denn in der Schichtenfolge des Perms und des Mesozoikums treten salinare Gesteinsserien auf (LEHMANN 1974).

Im Ergebnis dieser Prozesse entstand ein Schollenmosaik. An Störungen wurden Teile des präpleistozänen Stockwerkes gehoben, wodurch das Grundmuster der späteren Platten entstand. Im Bereich der heutigen Niederungen dominierten Absenkungsvorgänge. Die Störungszonen sind etwa 5 bis 15 km voneinander entfernt (WEISSE 1983).

Überdies kann es aber auch durch das Auftreten von mechanischen Spannungen bei den kristallinen Salinarfestkörpern zur Selbstorganisation neuer Geostrukturen (z. B. Diapire, Salzkissen, Fließfalten) kommen. Das Fehlen von Kompensationsmöglichkeiten gegenüber dem Systeminput von kinetischer Energie vergrößerte die strukturelle Diversität und räumliche Heterogenität (BLUMENSTEIN 1994).

Die Formen des subkänozoischen Untergrundes und die spätere glazigene Dynamik bestimmten die Lagerungsverhältnisse des Tertiärs. Schichten des Paläozäns und des Eozäns fehlen weitgehend. Von Bedeutung ist die Abfolge vom marinen Ton des Mitteloligozäns (Rupelton) bis hin zu Schichten des Untermiozäns.

Diese postrupelzeitliche Decke wurde durch altpleistozäne Ausräumungsprozesse (Exaration, Erosion) weitgehend in Teilflächen aufgegliedert. Häufig

Abb. 1: Morphogenetische Gliederung des Potsdamer Umlandes (Entwurf E. Scholz)



ZEICHENERKLÄRUNG:

-  Grundmoräne, eben-flach
-  Grundmoräne, wellig
-  Stauchmoräne
-  Haupttrandlage (Brandenb. Stadium)
-  Zwischenstufen (z.T. nach BEHRMANN) 2-5
-  Sander, Sanderkegel
-  Talsande
-  Subglaziale Rinnen
-  Abflußrichtungen
-  Steilhänge, fluviale Unterschneidungsränder
-  Dünen, Dünenfelder
-  Trockentäler
-  Tal- und Flußauen:
-  mit sandigen Bildungen
-  mit humosen Bildungen: Torf
-  Moorerde, -mergel
-  Seen
-  Siedlungsgrenze
-  Höhenangabe

haben sie selbst den Rupel durchschnitten, der eine geohydraulische Barriere zwischen dem süßwasserführenden pleistozänen Aquifer im Hangenden und den salzwasserführenden Sedimenten im Liegenden darstellt.

Die rezente Prägung der Lagerungs- und Reliefbedingungen im Raum ist zwar das Resultat der Dynamik im Brandenburger Stadium des Weichselglazials, jedoch sind Ausmaß und Intensität der pleistozänen Akkumulations-, Exarations-, Stauchungs- und Erosionsprozesse abhängig von Lage sowie Dimensionierung des präpleistozänen Untergrundes. Es sind unterschiedliche Quartärmächtigkeiten zu verzeichnen: in den Tertiärhochlagen erreichen sie 30—40 m, in den Depressionsgebieten bis zu über 100 m.

Herzynisch (NW-SE) streichende Breitsenken umschließen die Plattenschollen auf den Nord- und Südseiten. Während der Vorstoßphase stellten sie Akkumulationsbereiche für die Vorschütt-sedimente dar, in der Abtauphase sind sie vielfach durch Geschiebemergeldecken verhüllt worden.

Nach WEISSE (1983) resultiert die Dimensionierung der Platten aus dem Abstand der präpleistozänen Störungen. Sie bestehen aus Grundmoränen-, Endmoränen-, und Sanderarealen. Die spezifische Dynamik des Inlandeises während seiner Vorstoß-, Stagnations- und Abschmelzphase schuf unterschiedliche Grundmorärentypen, welche sich in ihren Relief-, Struktur- und Substratmerkmalen unterscheiden (WEISSE 1989). Diese wurden während der Niedertauphase glazifluvial oder glazilimnisch überprägt. Deshalb können auf engem Raum Geschiebemergel und -lehme, Sande und Kiese wechseln. Im Ergebnis der spezifischen Raumentstehung existieren ein tertiäres und drei pleistozäne Grundwasserstockwerke (vgl. Abb. 2):

1. Der oberste Grundwasserleiter ist geringmächtig und besteht aus weichselglazialen Fein- und Mittelsanden. Er ist unbedeckt.
2. Die saalekaltzeitlichen Bildungen bestehen aus Mittel- und Grobsanden. Dieses Stockwerk ist nur zum Teil bedeckt, es existieren vielfache hydraulische Verbindungen in die hangenden und liegenden Strukturen.
3. Der elsterzeitliche Grundwasserleiter setzt sich aus Mittel- und Grobsanden zusammen, welche durch schluffige/tonige Substrate der Holsteinzeit von den darüber liegenden Aquiferbereichen getrennt werden. Jedoch sind auch hier geohydraulische Fenster vorhanden.
4. Das erste tertiäre Grundwasserstockwerk wird von Mittelsanden mit hohem Quarzgehalt gebildet, welche vielfach von Braunkohleschluffen überlagert sind.

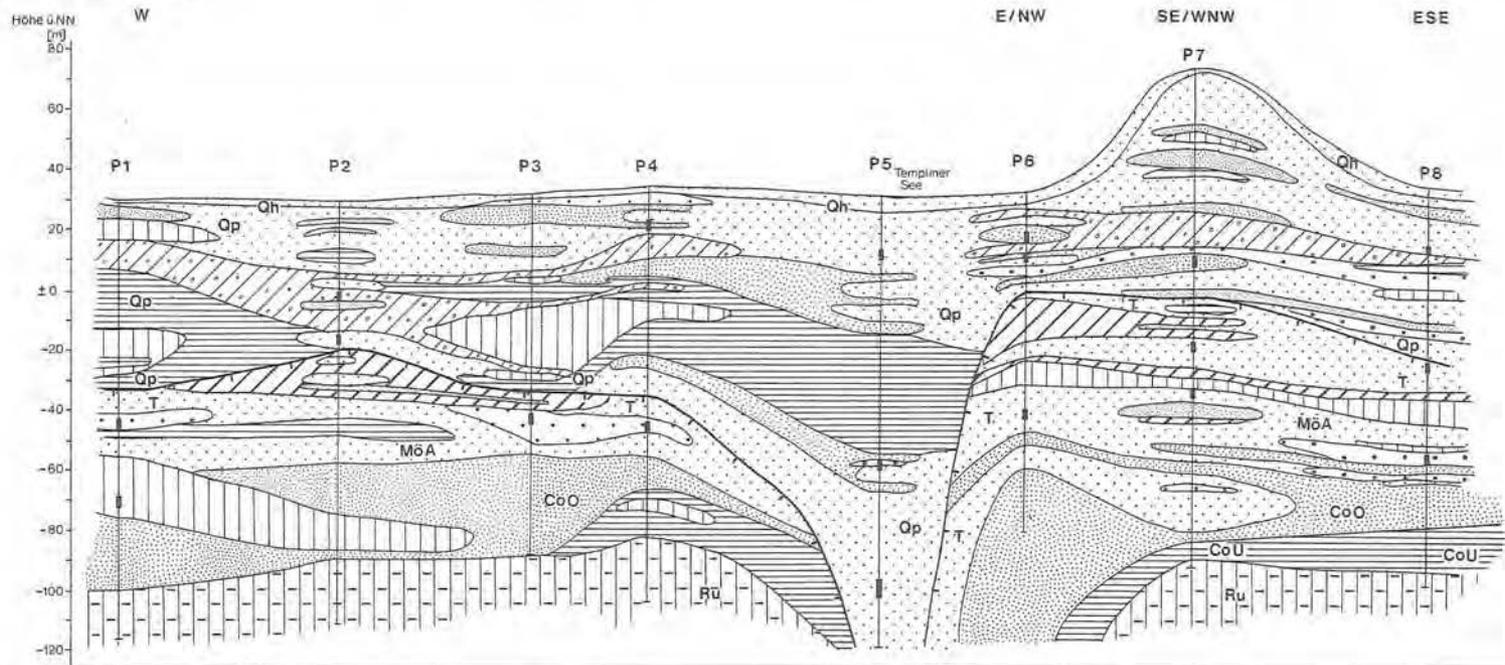
Infolge der skizzierten strukturellen Charakteristika ist der pleistozäne Aquifer als eine Einheit anzusehen.

Im Postpleistozän wurden die Heterogenität und die Diversität im mesoskaligen Dimensionsbereich verstärkt.

So bedingte der sommerliche Auftauprozeß in den Geschiebemergelstrukturen oberflächennahe Substratdifferenzierungen, in deren Ergebnis sich eine Decksandschicht herausbildete. Ihre unterschiedliche Mächtigkeit ist eine Folge denudativer Prozesse bzw. der Dynamik des Windes.

Insbesondere in der jüngeren Dryaszeit fanden stärkere äolische Überformungen statt, in deren Folge in Talsandniederungen, auf hohen Sandplatten und Sanderflächen Parabeldünen und äolische Decken gebildet wurden. Beispiele für

Abb. 2: Geologische Strukturen im Südwesten Berlins



- Qh - Holozän
- Qp - Pleistozän
- T - Tertiär
- M6A } Tertiäre Schichtenfolge
- Co O }
- Co U }
- Ru - Rupelton

- Schichtgrenze
- Grenze Tertiär/Quartär
- Feinsand
- Mittelsand
- Grobsand

- ▨ Schluff
- ▨ Braunkohle
- ▨ Braunkohleschluffe
- ▨ Geschiebemergel
- ▨ Ton
- ▨ Rupelton

- ⊥ Grundwassermeßstelle
 - ⊥ Filter
- 0 500 1000 m

größere Dünenkomplexe sind Genshagener Heide, Beuthener Heide sowie Areale zwischen Güterfelde und Schenkenhorst.

Weitere Periglaziärbildungen sind Fließstrukturen, Taschen- und Würgeböden sowie Eiskeile. Die lateralen Umlagerungsprozesse hinterließen Bändersande. Der strukturelevanten Dynamik kann man weiterhin die Zertalungsprozesse an den Plattenrändern sowie Solifluktionerscheinungen hinzurechnen, durch welche ein Materialtransfer in die Senkenbereiche stattfand.

Auch die Entstehung von Toteisseen (Güterfelder Haussee, Blanke Halle, Teufelssee, Pech-See) und von vermoorten Hohlformen (Teufelsfenn, Grimme Pfuhl, Upstall, Rotpfuhl) sind in diese Periode einzuordnen.

Prinzipiell kennzeichnet die dargestellte Dynamik auch die Interglaziale und -stadiale. Resultat sind entsprechende Geostrukturen unterhalb der weichselkaltzeitlichen Basis.

Mit Ausklingen des Spätglazials entwickelten sich im Raum, in Abhängigkeit von Körnung, Intensität der biogenen Prozesse, pedohydrologischen und pedochemischen Milieubedingungen standortspezifische Bodenformen.

Holozäne Sedimente stellen im Bereich der Bäche meist anmoorige Bildungen dar. So können zum Beispiel im nördlichen Bereich des Großbeerener Grabens Torf und Wiesenkalk bzw. humose Sande mit einer Mächtigkeit von 1—5 m angetroffen werden.

Eine Intensitätsminderung des räumlichen Stofftransfers setzte mit der Intensivierung biogener Prozesse ein. Die Herausbildung der natürlichen Vegetation ist wesentlich durch die vorhergehend beschriebenen morphologischen, pedologischen sowie mesoklimatischen Verhältnisse geprägt worden.

Mit der Möglichkeit des Umbaus der mortalen Biomasse zu Humus wurde auch eine qualitativ neue Stufe der Strukturentwicklung erreicht. Wichtigstes Ergebnis dieser Periode ist die Genese der organischen Bodensubstanz, welche sich als Schichtkompartiment im Grenzbereich zwischen den Sphären ausbildete. Aus der Vielfalt an Diskontinuitäten und Grenzflächen, welche aus diesem Raummerkmal resultiert, leitet sich die hervorragende Barrierefunktion des multigenetischen Durchdringungsraumes ab. Für die Entwicklung und die rezente Struktur der Humusformen waren die herrschenden pH/Eh-Stabilitätsfelder ausschlaggebend.

Mit dem Übergang zu humideren Klimabedingungen entstanden darüber hinaus hydrogenetische Profildifferenzierungen. Ergebnis dieser Dynamik sind Illuvial- und Eluvialhorizonte. Der Geschiebemergel als anstehendes Substrat enthält, obwohl er im Raum stark sandig ist, Zerreibungsprodukte nordischer Kalkformationen. Durch Änderung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes wird dieser gelöst. Bei sandigen und grobkörnigen Böden geschieht dies stärker und tiefgründiger; bei Lehmböden zum Teil nur im oberen halben Meter. Dies hatte eine körnungsspezifische Aciditätsveränderung zur Folge, denn karbonathaltige Mineralien wie zum Beispiel Kalzit sind zumeist nur noch in tieferen Bodenschichten anzutreffen. Die nach der Komplexdestabilisierung wirksame Suffusion verlagert Kolloide aus den lokeren, oberen Bodenschichten in die tieferen Horizonte. Lokal konnten sich aus der Verkittung von saurem Humus, Wurzelresten und mit Eisenverbindungen umlagerten Sandkörnern Ortsteinschichten bilden.

Durch den Wassertransfer wurden auch alle leicht verwitterbaren Substrate, insbesondere die K-, Na-, Mg- Verbindungen sowie verschiedenen Spurenelemente verlagert. Die aus Skandinavien stammenden Gesteinsmassen enthielten hohen Granitanteil. Da zunächst Glimmer schnell auswittert, danach Feldspat, bleibt Quarz als verwitterungsbeständigstes Mineral übrig.

Während im oxidativen Milieu der Platten die mit der Bildung von Oxihydraten einhergehenden Bodenprozesse dominierten, führte in Geländehohlformen die Existenz von Stauwasser bzw. die Grundwassernähe zu reduktiven Verhältnissen. Ergebnis waren eine erhöhte Mobilität von Eisen- und Manganspecies niedriger Oxidationsstufe sowie die Anreicherung von organischer Substanz infolge der Minderung der Mineralisierungsprozesse.

Als Leitbodentypen treten im dargestellten Raum Braunerde-Podsole, Braunerden, Parabraunerden, Fahlerden, Gley-Podsole und Gleye auf.

Mit der Wiederbesiedelung der Geosysteme durch die Makrobionta und der Selbstorganisation von Bodenstrukturen auf Basis biogener und hydrogenetischer Dynamik ist eine auffällige Symmetriebrechung der zeitlichen Entwicklung vollzogen worden (BLUMENSTEIN 1994).

Die prägende Entwicklung einer Kulturlandschaft setzte in dem slawisch besiedelten Raum erst mit Beginn der deutschen Ostexpansion im 12. Jahrhundert ein. Während die slawische Bevölkerung vor allem die Niederungsgebiete nutzte, wurden die dünnbesiedelten Grundmoränenplatten der gegründeten Mark Brandenburg durch deutsche und niederländische Einwanderer gerodet. Mit diesem Eingriff sowie der Anlage von Ackerfluren begann die anthropogene Überprägung des Naturraumes.

Die Entwaldung führte zu einer Beschleunigung des Stoff- und Energieumsatzes, zum Beispiel durch die Erhöhung der Windgeschwindigkeit bzw. des oberirdischen Abflusses oder den Wegfall der Speicherung von Nährstoffionen im Holzkörper. Die Bearbeitung des Bodens hat zur Durchmischung der oberen Horizonte (Ap-Horizont) beigetragen. Die Intensivierung des Luftkontaktes bewirkte eine Verschiebung der Lageschwerpunkte im Fließgleichgewicht Aufbau/Abbau organischer Bodensubstanz zugunsten der Mineralisierungsprozesse. Später verringerte auch die Realisierung meliorativer Maßnahmen den Grundwassereinfluß und führte auf den ehemals hydromorphen Standorten ebenfalls zu deren Verstärkung. Nach zunächst guter Ertragslage mußte deshalb bei einer landwirtschaftlichen Dauernutzung eine Brache eingeschaltet werden bzw. ist die systemexterne Zufuhr von Nährstoffionen notwendig geworden.

3. Die Hemerobisierung der Landschaft

Mit der Inbetriebnahme der Abwasserentsorgungsanlagen wurde die Landschaft intensiv umgestaltet und durch Artefakte derart überprägt, daß man von einer typischen Rieselfeldlandschaft sprechen kann, welche sich wesentlich von den Nachbararealen unterscheidet.

Da das Landschaftsbild sich seit der Jahrhundertwende kaum verändert hat und einen eigenständigen Charakter aufweist, wird sie zuweilen als „Kultur-

historisch wertvoll“ eingestuft (NESTLER et al. 1990). Sie ist mosaikartig aufgliedert und von typischen, regelhaft angeordneten technogenen Landschaftselementen geprägt. Dazu gehören:

1. Schläge mit jeweils 8 bis 10 Rieseltafeln, welche
 - etwa 0,3 ha einnehmen und von Dämmen umgeben sind,
 - einen Flächenanteil von etwa 85 Prozent besitzen und
 - separat berieselt werden können;
 - Zuführungsgräben und deren Randbereich mit zirka 4 Prozent Flächenanteil, welche regelmäßig geräumt werden, ihre Gesamtbreite beträgt 4–5 m;
 - Zwischenabsetzbecken mit etwa 0,3 Prozent Flächenanteil, in welchen bis 75 Prozent der Feststoffe sedimentiert und danach wieder ausgebagert, deponiert oder in Schlamm-trockenbeeten zwischengelagert werden; ihre Größe beträgt 50 bis 2000 m²;
2. vom Abwasser nicht beeinflusste Raumelemente mit etwa 10 Prozent Flächenanteil wie
 - die als Vorflut wirksamen Entwässerungsgräben,
 - Wirtschaftswege,
 - Randstreifen mit Flurgehölzen sowie
3. Bauten und Rohrsysteme.

Zunächst wurden die Rieselfelder auch ackerbaulich genutzt (vorrangig Feldgras, Rüben, Gemüse, Getreide und Kartoffeln).

In der Mitte unseres Jahrhunderts zwangen die Erhöhung des Abwasseraufkommens und die notwendigen Erschließungskosten, die Verrieselungsmengen zu steigern. Damit ging eine Änderung der Anbaukulturen einher. So wurden 1925 nahezu die Hälfte der Flächen durch Feldgraskulturen (z. B. *Dactylis glomerata*, *Lolium multiflorum*, *Lolium perenne*) und darüber hinaus durch stark berieselter Dauerbrachen eingenommen.

Mit den Veränderungen im landwirtschaftlichen Sektor nach 1960 vollzog sich eine Intensivierung der ackerbaulichen Nutzung. Bis Mitte des vergangenen Jahrzehnts waren etwa 95 Prozent der Nutzfläche auf eine Doppelfunktion Abwasserbodenbehandlung/Kulturpflanzenanbau ausgerichtet.

Letzterer wurde nach den Untersuchungen von GRÜN et al. (1989) in Richtung einer „kontrollierten“ landwirtschaftlichen Nutzungsstrategie entwickelt.

Die Maßnahmenpläne des damaligen Ministerrates der DDR zur Ablösung der Rieselfelder südlich Berlins konnten nicht in dem geplanten Zeitrahmen realisiert werden, sie wurden nach dem gesellschaftlichen Umbruch in Deutschland, welcher auch eine weitgehende Reduzierung der landwirtschaftlichen Bodennutzung zur Folge hatte, gegenstandslos. Beide Faktoren bedingten jedoch, daß gegenwärtig über die Hälfte der Flächen nicht mehr aktiv in die Abwasserbeaufschlagung einbezogen werden können.

Die heutige Situation ist darüber hinaus durch die Existenz von politischen, juristischen, ökonomischen und ökologischen Konflikten gekennzeichnet.

Diese liegen zunächst darin begründet, daß der Grundbesitz den Berlinern Stadtgütern gehört, welche einige Flächen durch Pacht- und Nutzungsverträge weiteren Nutzern überlassen. Die Abwasserbeaufschlagung erfolgt durch die Berliner Wasserbetriebe.

Abb. 3: Potentielle Nutzungskonflikte im Rieselfeldgebiet südlich Berlins



Die Rieselfelder befinden sich jedoch im Land Brandenburg, welches diese mittels administrativer Maßnahmen unter Vorbehalt stellte.

Ein breites Spektrum potentieller Nutzungsinterferenzen ist zu verzeichnen (vgl. Abb. 3).

Derzeitig weisen im Untersuchungsgebiet nur noch gut die Hälfte der Flächen eine intakte Infrastruktur auf.

4. Der stofflich-energetische Ist-Zustand und die Stoffdynamik

4.1 Zu Fragen der Datenerfassung, -verwaltung und -visualisierung

Zur Untersuchung des raumkonkreten Ist-Zustandes der Bodenzone sowie der Stoffdynamik im Rieselfeldgebiet Berlin-Süd wurde ein durchgängiges scale-up Konzept verwirklicht, welches

- Elutions-, Batch- und Säulenversuche im Labormaßstab,
 - Untersuchungen mittels geschütteter Lysimeter und Lysimeterkernen,
 - Meßreihen von bodenökologischen Feldmeßstationen,
 - in situ-Feldversuche, sowie Simulationen in einer Feldmodellversuchsanlage und
 - raumdeckende in situ Untersuchungen
- umfaßte.

Über mehrere Jahre hinweg ist damit ein umfangreicher Datenfond angewachsen. Dieser bringt naturgemäß eine Reihe von Problemen mit sich:

- Wie sind die Daten zu strukturieren, um interessierende Informationen für einen breiten Anwenderkreis bereitzustellen, aber auch später problemlos Ergänzungen vornehmen zu können ?
- Was ist zu beachten, um ein solches Informationssystem in ein umfassenderes einordnen zu können ?
- Wie kann man einem Nutzer den (erlaubten) Zugriff auf eine einfache und sichere Art ermöglichen, der nur über geringe oder keine Kenntnisse im Umgang mit Computern verfügt ?
- Welche hard- und softwaremäßigen Voraussetzungen sind für einen auch kostenmäßig vertretbaren Einsatz ins Kalkül zu ziehen ?

Ohne massiven Computereinsatz waren diese Aufgaben natürlich nicht lösbar. Als Basissoftware diente das relationale Datenbanksystem dBASE IV 2.0, das weit verbreitet ist. Die Speicherung der Daten erfolgte in einzelnen Dateien, die entweder einem bestimmten Gebiet oder einem ausgewählten Untersuchungsverfahren zugeordnet waren. Zur Verknüpfung von Gelände- und Labordaten enthielt jeder Datensatz ein Schlüsselfeld, über welches eine eindeutige Zuordnung möglich ist. Der räumliche Bezug erfolgte für die einzelnen Probennahmepunkte im Gelände durch Gauß-Krüger-Koordinaten und durch die Angabe von Schlag- und Tafelbezeichnungen, wie sie in den einschlägigen Karten festgelegt wurden. Zusätzliche Angaben zur genauen Lage der Entnahmestellen durch Rasterpunkte

und Beprobungstiefen erlaubten eine eindeutige Zuordnung zwischen einem konkreten Geländepunkt und dem dazugehörigen Datensatz.

Über diese Basis wurde eine Oberfläche gelegt (Programm UNIGIS), ein voll menuegesteuertes dBASE-Programm, das bei einfachster Bedienung dem Nutzer den Zugriff auf Daten, statistische Berechnungen mit diesen, zusätzliche Informationen über Gebiete oder Verfahren, Vergleich mit amtlichen Richtwerten und anderes mehr ermöglicht.

Speziell gestaltete Bildschirmmasken gewährleisten ein problemloses Verständnis der angezeigten Informationen.

Durch den modularen Aufbau des Programms mit Unterprogrammen und Prozeduren ist es für künftige Erweiterungen nach allen Seiten offen und ausbaufähig. Ein integrierter Baustein ermöglicht das Anlegen, Editieren, Manipulieren und gezieltes Ausgeben von Dateien. Über eine spezielle Schnittstelle können (numerische) Daten im ASCII-Format exportiert und somit mit anderer handelsüblicher Software weiter bearbeitet werden.

Geographische Objekte erfuhren in der Datenbank eine umfassende Beschreibung ihrer Attribute, die Darstellung ihrer Geometrie und die Verknüpfung zwischen beiden erfolgte in einem Geographischen Informationssystem.

Auf der Grundlage digitalisierter Karten der Arbeitsgebiete im Maßstab 1:10 000 können Elemente wie Punkt, Linie oder Fläche mit dem entsprechenden Datensatz der Datenbank durch Referenzbildung verbunden werden. Die Darstellung der räumlichen Verteilung bestimmter Attribute oder deren Verknüpfung erfolgt dann automatisch durch die Wahl verschiedener Farben, Schraffuren oder Symbole. Balken- und Kreisdiagramme oder auch Tabellen können an gewünschter Stelle in der Karte plaziert werden. Spätere Änderungen oder Ergänzungen in einem Datensatz werden selbständig berücksichtigt. Schnelle Überblicke oder letztlich der Ausdruck aktueller thematischer Karten sind auf diesem Wege möglich. Da einzelne Kartenelemente separat in maximal 999 Speicherebenen abgelegt und getrennt abgerufen werden können, ergibt sich eine Vielzahl unterschiedlichster Ausgabevarianten für die Karten.

Zum Einsatz gelangte das Geographische Informationssystem Poly-GIS. Es besitzt gegenüber anderen, sicher leistungsfähigeren Systemen, neben niedrigen Kosten den Vorteil leichter Erlernbarkeit und ist auf einem Personalcomputer lauffähig. Die Verwendung von dBASE-Dateien als interne Dateien erleichtert die Kopplung mit dem Datenbanksystem.

Durch die Verbindung von dBASE und PolyGIS war ein möglicher Weg aufgezeichnet worden, mit einfachen Mitteln zu aussagefähigen Resultaten zu gelangen.

4.2 Einige ausgewählte Ergebnisse

Eine Darstellung der Folgen des Hemerobisierungsprozesses für den stofflich-energetischen Systemzustand muß davon ausgehen, daß es in allen relevanten Dimensionsbereichen zu deutlichen Veränderungen durch die umfangreichen Inputs kommt.

Die Stoffkomponenten resultieren aus

1. dem Abwasser, welches im geochemischen Sinne eine mobile Phase mit einem Pool gelöster, suspendierter oder partikulärer Stoffspecies, insbesondere Organica sowie Last- und Schadstoffe darstellt,
 2. den Restprodukten der bis in die jüngste Vergangenheit praktizierten landwirtschaftlichen Intensivnutzung, wie Agrochemikalien und Abprodukten aus der Tierproduktion,
 3. den unkontrollierten Stoffeinträgen privater, gewerblicher und kommunaler Verursacher,
 4. den Immissionen über den Luftpfad.
- Stoffliche Elemente sind
- Wasser,
 - anorganische Nährstoffkomponenten (N- und P- Verbindungen),
 - anorganische (insbesondere die Schwermetalle Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) und organische (vor allem PAK, PCB, DDT und Analoga) Xenobiotika,
 - inerte und instabile Komponenten (z. B. Cl^- , NO_2^-) sowie
 - biogene Organica (Fette, Eiweiße, Kohlenhydrate).

Beginnend mit den zwanziger Jahren unseres Jahrhunderts, in der Periode der höchsten Abwasserbeaufschlagung, sind die auffälligen Systemänderungen des Bodens im Raum als „Verschlickung“ und als „Rieselmüdigkeit“ beschrieben worden (GRUNEWALD 1993).

Unter heutiger Sicht umfassen sie, unter Berücksichtigung der Arbeiten anderer Autoren, Veränderungen

1. des chemischen Milieus,
2. des physikalischen Milieus,
3. der Stoffstrukturen,
4. der skalaren und vektoriellen Stofftransformationen,
5. der Struktur und Dynamik der Mikrobionta sowie
6. der Raummuster relevanter Bodenparameter.

Eine umfassende Darstellung hierüber läßt sich in diesem Rahmen nicht geben, sie ist in BLUMENSTEIN (1994) zu finden.

Die Sandböden wurden im Vergleich zu den bindigeren Substraten vorrangig in die Abwasserbeaufschlagung einbezogen, da sie günstigere bodenhydraulische Eigenschaften besitzen. Demzufolge unterlagen sie einem höheren Grad der anthropogenen Überprägung, sie entwickelten sich zu typischen „Hydrodesolen“.

Exemplarisch läßt sich belegen, daß hinsichtlich der chemischen Milieuänderungen durch die Zunahme der Porenwasserfüllungen die Gesamtheit der Redoxpotentiale abnimmt, negative Werte sind möglich. Der Verbrauch an H^+ -Ionen im Reduktionsprozeß bewirkt eine Abnahme der Bodenacidität. Weiterhin wird der Anstieg der pH-Werte auch durch die neutrale bis alkalische Reaktion des Abwassers gefördert. Hingegen ist eine Zunahme der Acidität des Bodens durch Oxidation

- von NH_4^+ des Abwassers,
- der Sulfide und Metallionen niedriger Wertigkeit sowie
- der organischen Substanz möglich.

Deshalb kann in Abhängigkeit von dem Zeitraum der Auslassung der Ab-

wasserbeaufschlagung eine Remobilisierung der Schwermetallspezies und Verlagerung mit dem Sicker- und Dränwasserstrom auftreten. Die Belege hierfür sind vielfältig. Das existente chemische Milieu ist auch für die Dynamik biophiler Elemente von entscheidender Bedeutung, denn diese wird vor allem mikrobiell gesteuert. Beispielsweise verringert der Sauerstoffmangel während der vollständigen Porenwasserfüllung die Nitrifikation des vorwiegend als Ammonium-Spezies in das System eingebrachten Stickstoffpools.

Nach GRUNEWALD (Arbeitsgruppe STOFFDYNAMIK 1994/1) liegen die pH-Werte des Bodens im Untersuchungsgebiet überwiegend im schwach bis mäßig sauren Bereich. Die Differenzen zwischen Ober- und Unterboden sind gering.

Sehr stark saure Bodenreaktionen kennzeichnen einige Waldstandorte bzw. seit langem nicht mehr berieselte, umgestaltete und nicht gekalkte Rieselfeldstandorte sowie vom Abwasser nicht durchströmte Dammbereiche.

Werte von $\text{pH} > 6$ sind ausschließlich auf aktiv berieselten Standorten gemessen worden.

Eine relevante Veränderung des physikalischen Milieus wird zunächst durch den hydrostatischen Druck des beaufschlagten Abwassers bewirkt. Im Zusammenhang mit bodenphysikalischen Rückkopplungseffekten führt dies entsprechend der Beaufschlagungsrhythmik zur Destabilisierung des Porengerüsts. Erst während des Austrocknungsvorganges kann wieder Stabilität eintreten. Besonders auf Arealen mit funktionstüchtiger Drainage treten Kurzschlußströmungen auf, welche über die multigenetisch bedingten Makroporen realisiert werden. Eine große Rolle spielt in diesem Zusammenhang der Wechsel von Trocknung und Wiedervernässung der Böden, insbesondere bei Existenz von bindigeren Substraten. Auf diesen Standorten werden dadurch sehr hohe Filtergeschwindigkeiten erreicht. Die Bodenpassage des aufgebrauchten Abwassers findet demzufolge zum größten Teil nicht nach den in einschlägigen Modellierungskonzepten dargestellten Gesetzmäßigkeiten statt. Eine Einstellung von stationären Gleichgewichten (z. B. Sorptionsgleichgewichten) zwischen der Matrix und der fluiden Phase ist damit vielfach nicht gegeben, der Transport nimmt strömungskontrollierten Charakter an (BARSCH, BLUMENSTEIN u. SCHACHTZABEL 1994).

Infolge längerer reduktiver Phasen akkumuliert sich die organische Bodensubstanz (OBS), wobei ein Teil der Organica auf den direkten Input durch die Abwasserbeaufschlagung zurückzuführen ist.

Die quantitativen Charakteristika zeigen eine deutliche Abhängigkeit von Raumelement und -lage. Die Untersuchungen belegen, daß Akkumulationen bis zu > 40 Prozent Glühverlust möglich sind. Es treten typische, um den Einleiterbereich konzentrisch angeordnete Raummuster auf. Auch die qualitativen Charakteristika dieser organischen Bodensubstanz zeigen typische Merkmale, welche für die Stoffdynamik von entscheidender Bedeutung sind (Arbeitsgruppe STOFFDYNAMIK 1994/2). Infolge geochemischer Fixierungsmechanismen zeigen die Gesamtgehalte der Hauptnährstoffkomponenten (N_i und P_i) gleichsinnige Anordnungsmuster, denn allein mehr als 95 Prozent des Bodenstickstoffes liegen in organischer Bindungsform vor.

Es konnte festgestellt werden, daß durch die Existenz negativer Rückkopplungseffekte trotz

- des periodischen Inputs von Organica über das Abwasser und
- der Wirksamwerdung von saisonalen natürlichen bzw. nutzungsbedingten Fluktuationen

der Gehalt der organischen Bodensubstanz auf normal beaufschlagten Rieselflächen sowohl im Oberboden als auch Unterboden relativ stabil bleibt. Gleiches läßt sich über die Bodenreaktion aussagen. Während ein Teil der in das Rieselfeldsystem eingebrachten Xenobiotica infolge höherer geochemischer Mobilität in die Nachbarkompartimente Vegetation, Aquifer, Vorfluter (BLUMENSTEIN, GRUNEWALD u. SCHUBERT 1991) dissipatiert worden ist, entwickelte sich der Boden infolge seiner pedochemischen und -physikalischen Barriereigenschaften zu einer Schadstoffsénke. Positiv rückkoppelnd wurde dabei die Akkumulation der organischen Bodensubstanz wirksam. So treten vor allem im Oberbodenbereich (0—30 cm unter Flur) relevante Grenzwertüberschreitungen auf. Neben den Schlamm-trockenbeeten, Intensivfilterflächen und Zwischenabsetzbecken stellen die Einleiterbereiche der Tafeln und die Zuleitersysteme hochkontaminierte Areale dar.

Dabei konnte für die Schwermetalle durch BUKOWSKY u. SCHADE (Arbeitsgruppe STOFFDYNAMIK 1994/2) die Dominanz organischer Bindungsformen nachgewiesen werden.

Als typische Gehalte dieser Species sind in diesem Zusammenhang zu nennen:

Cadmium	5 — 20 ppm
Zink	500 — 2000 ppm
Kupfer	100 — 150 ppm
Blei	200 — 250 ppm

Die Nickel- und Chromkonzentrationen erreichen kaum die Grenzwertbereiche, eine Ausnahme bilden die Areale um vorhandene Deponiestandorte, wo geoökologisch bedenkliche Akkumulationen auftreten (Cr bis 2000 ppm, Ni bis 1000 ppm).

Zur Verdeutlichung die Maximalkonzentrationen der anderen Schwermetall-species:

Cadmium etwa bei	70 ppm
Zink etwa bei	3000 ppm
Blei etwa bei	750 ppm
Kupfer etwa bei	540 ppm

Auch diejenigen Standorte, auf welchen Grenzwertüberschreitungen der untersuchten organischen Schadstoffe (PAK, PCB, DDT und Analoga) zumindest bei einer Species auftraten, sind den benannten Hochlastflächen zuzuordnen. Durch GRUNEWALD u. BECHMANN (1994) wurden bei 86 Prozent der Proben aus dem Oberboden der Einleiterbereiche über ubiquitäre Konzentrationen hinausgehende PCB- (202—846 ppb, \bar{x} = 393 ppb), und PAK-Gehalte festgestellt (1,15—13,7 ppm, \bar{x} = 3,9 ppm). Während des Beaufschlagungsprozesses hat insbesondere der Anteil der polyzyklischen Aromaten zugenommen, da diese eine geringe Abbaubarkeit und Wasserlöslichkeit und große Sorptionskoeffizienten besitzen. Hingegen zeigen zwei- und dreiringige PAKs zumeist eine erhebliche Mobilität in den Böden, selbst bei hohen organischen Substanzgehalten.

Die spezifische Stoffdynamik des Raumes bedingt die Migration einiger

Schwermetallkomponenten in die Sedimente der Ableitergräben. Dort konnten vor allem Grenzwertüberschreitungen von Quecksilber und Cadmium nachgewiesen werden, wobei auch in Richtung des Hauptvorfluters bisher keine signifikanten Abnahmen der Konzentrationen festgestellt wurden.

In Abhängigkeit von den Milieubedingungen werden Richtung und Intensität der Stoffdynamik im System vor allem durch die edaphische Mikrobionta bestimmt. Ihre raum-zeitlichen Strukturmerkmale sowie physiologischen Prozesse sind gleichfalls Ausdruck der veränderten Systembedingungen. Umfangreiche Untersuchungen hierzu hat SCHNEIDER (Arbeitsgruppe STOFFDYNAMIK 1994/2) durchgeführt. Seine Ergebnisse belegen, daß durch die Beaufschlagung sich die edaphische Biomasse infolge allochthoner Species erhöht, allerdings erfahren coliforme und potentiell pathogene Keime durch bodenökologische Wirkungsmechanismen eine zügige Limitierung. Die höchsten Keimzahlen treten in den obersten 10 cm der Bodenzone auf. Auf aktiven Rieseltafeln ist die Anzahl der aerob proteolytischen Bakterien verringert. Die toxische Wirkung der Xenobiotica wird durch den Gehalt an organischer Bodensubstanz vielfach kompensiert. Ursachen sind das verbesserte Angebot an Nährsubstraten und fixierenden Strukturen bei Anreicherung.

Nehmen die Konzentrationen der metallischen Xenobiotica, insbesondere an Cadmium, Arsen und Quecksilber bei geringen Gehalten an organischer Bodensubstanz zu, so kann sich die Intensität der Bodenatmung um mehr als die Hälfte verringern. Bei Einstellung der Berieselung wird dieser Prozeß intensiviert.

Untersuchungen zum akkumulierten Schwermetallpool in der Vegetation des Raumes führten GRÜN et al. (1989), BLUMENSTEIN, GRUNEWALD u. SCHUBERT (1991) sowie KNÖSCHE (Arbeitsgruppe STOFFDYNAMIK 1994/2) durch. Auf aktiv beaufschlagten Rieseltafeln sind die Metallgehalte in den Pflanzenwurzeln in den Bereichen der höchsten Bodenbelastung deutlich vermindert. Die Akkumulationskoeffizienten unterliegen jahreszeitlichen Schwankungen und streuen sehr stark, da nicht die Gesamtbelastung für die Aufnahme durch die Pflanzen sondern der pflanzenverfügbare (wasserlösliche/leicht mobilisierbare) Anteil entscheidend ist.

Mit zunehmender Bodenbelastung verringert sich die Variationsbreite der Akkumulationskoeffizienten, verbunden mit der Tendenz zu niedrigeren Werten. Der höhere Gehalt an organischer Bodensubstanz der hochbelasteten Areale vermindert die Mobilität der Schwermetalle. Hingegen ist auf Flächen, welche wenige Jahre nicht mehr berieselt wurden, ihr Gehalt in den Pflanzenwurzeln deutlich höher. Die Versauerung infolge der zunehmenden oxidativen Prozesse im Boden und das Absinken der Bodenfeuchte führt zur Zunahme mobilisierbarer Bindungsformen der Schwermetalle.

Bedingt durch den enormen Wasserinput kam es im Aquifer zu einem Aufhöhen der Toplage des Grundwasser-(druck)spiegels. Die Entnahme in den randlichen Wasserfassungsanlagen verstärkte die Abstandsgeschwindigkeit des zentral-peripheren Abstroms des Grundwassers. Im Vergleich zu dem Zeitraum 1970 bis 1987 ist die jährliche Beaufschlagungsmenge auf etwa 25 Prozent reduziert worden, wodurch im Zentrum des Gebietes eine Grundwasserabsenkung bis zu 4 m zu verzeichnen ist (TRÖGER u. ASBRAND 1994). Der obere Aquiferbereich unterhalb der Beaufschlagungsflächen ist erheblich mit Salzionen, insbesondere

Nährstoffkomponenten belastet. Lokal treten bedenkliche Überschreitungen der Grenzwerte (Brandenburger Liste) auf. Erhöhte Konzentrationen sind auch bei Kupfer, Nickel und LCKW gefunden worden.

4.3 Das Gefährdungspotential

Mit der regelmäßigen Abwasserbeaufschlagung bildete sich in dem Geosystem „Rieselfeld“ ein neuer, metastabiler Zustand heraus, für dessen Raum-Zeit-Beziehungen ein bestimmtes Niveau von Fließgleichgewichten kennzeichnend ist.

Durch seine strukturellen, milieubedingten und reaktiven Barriereeffekte wurde das Bodenkompartment zu der wichtigsten Senke für die eingetragenen Stoffkomponenten. Infolge der Wirkung von Hystereseffekten ist zwar eine vollständige Remobilisierung des gesamten Stoffpools nicht möglich, weitgehend zu verhindern ist sie aber nur durch eine Aufrechterhaltung der Systemstabilität.

- Das geoökologische Konfliktpotential resultiert vor allem aus
- den Schwermetallkonzentrationen im Boden (insbesondere bei Cd, Pb, Cu, Zn),
 - in Bereichen mit intensivem Abwasserinput auch aus relevanten Grenzwertüberschreitungen organischer Schadstoffe (PCB, PAK) und
 - dem in der organischen Bodensubstanz gespeicherten Nährstoffpool (N- und P-Verbindungen).

Komplizierend wirken sich die engräumigen Änderungen der Belastungssituation auf den Tafeln aus. Die technogenen Raumelemente (Absetzbecken, Zuleiter, Dämme und Schlamm-trockenbeete) können ebenfalls als Kontaminations-schwerpunkte angesehen werden.

Eine weitere potentielle Änderung der Systemzusammenhänge im dargestellten Raum resultiert aus der Veränderung ihrer Wasserbilanz. Da infolge randlicher Wasserfassungsanlagen der Output nicht vermieden werden kann, entstehen großflächig Areale, auf denen es zum Absterben der Vegetation und zur Austrocknung der Bodenzone mit ihren sekundären Negativwirkungen kommt. Über mögliche Probleme, welche durch die Belüftung der Grundwasserleiter entstehen, muß diskutiert werden.

Demzufolge tritt eine aktuelle Gefährdung durch den gespeicherten Pool an Nährstoffen und Xenobiotica überall dort auf, wo die strukturelle/geochemische Barrierefunktion des Bodens und der Aerationzone gemindert ist.

Entsprechend der geoökologisch relevanten Prozeßdynamik wird sie aber auch in Gang gesetzt, wenn das System infolge Nutzungsumwidmung in einen naturnäheren Zustand zurückschwingt. Die dominierenden Prozeßmechanismen sind dabei die Verringerung der organischen Bodensubstanz sowie der Basensättigung im Bodenkompartment, wodurch vor allem kationische Species remobilisiert werden.

Die komplexen raum-zeitlichen Aspekte dieser Problematik sind in BLUMENSTEIN (1994) formuliert.

5. Gegenwärtig begründbare Nutzungsstrategien

Die bisherigen Forschungsergebnisse ermöglichen erste planungsrelevante Aussagen einer zukünftigen Landnutzung im Bereich der Rieselfeldflächen Berlin-Süd. Es bedarf jedoch noch der Ausarbeitung eines landschaftsplanerischen und landschaftsökonomischen Konzeptes.

Im Sinne einer nachhaltigen Landnutzung sollte zunächst das Ziel jeder Planung bzw. Sanierung sein, den Stoffoutput aus dem System zu begrenzen sowie die Spezifika dieser ballungsraumnahen Kulturlandschaft zumindest auf Teilflächen zu erhalten.

Eine intensive Flächenumgestaltung, etwa im Sinne einer großflächigen Bebauung, brächte die Notwendigkeit einer kurzfristigen Totalsanierung mit sich. Da diesbezügliche Techniken derzeit nicht verfügbar oder großräumig nicht finanzierbar sind, bliebe in diesen Fällen nur die Möglichkeit einer Deponierung der kontaminierten Bodenzone. Dieses widerspricht dem Ziel einer ökologisch verträglichen Landnutzung, überdies würde lediglich eine Problemverlagerung stattfinden, abgesehen vom Flächenverbrauch und den Kosten, welche die Einrichtung von Deponien mit sich brächte.

In Verbindung mit den Arbeiten weiterer Kooperationspartner lassen sich zum Zeitpunkt der Abfassung dieser Schrift folgende Nutzungsempfehlungen ableiten (BLUMENSTEIN, GRUNEWALD u. PORTMANN 1994):

1. Zur Minderung der Intensität des Mineralisierungsprozesses mit seinen nachteiligen Sekundärwirkungen auf die Spezifika der Struktur und des Milieus des Bodenkörpers, vor allem aber in Hinblick auf die daraus resultierenden Remobilisierungseffekte, ist dessen Feuchthaltung ratsam.

Nach bisheriger Kenntnis muß diese mit vergleichsweise geringeren Beaufschlagungsmengen realisiert werden, das heißt in jedem Fall $Q < 3000 \text{ mm/a}$. Hierfür kann gewässerverträgliches Abwasser verwendet werden, allerdings sind mögliche Rücklösungserscheinungen in der Aerationzone noch nicht ausgeprüft. Der Input in den Aquifer sollte so optimiert werden, daß eine Verminderung der Denitrifikationsprozesse durch erhöhte Sauerstoffkonzentrationen des Infiltrats auszuschließen ist. Es sind Flächen mit relativ großem Grundwasserflurabstand zu nutzen bzw. erfordert die Beaufschlagung die alternierende Einbeziehung nicht benachbarter Rieseltafeln, denn der geschlossene Kapillarsaum darf nicht die Bodenuntergrenze erreichen.

2. Durch die Belassung der produzierten Biomasse im Raum und die Vergrößerung ihrer aktiven Oberflächen (z. B. durch Mulchen) können der Gehalt an organischer Bodensubstanz stabilisiert und die Retardation des Schadstoffpools vergrößert werden.

Zur Vermeidung von äolischen/fluvialen Erosions- und Transportprozessen ist eine weitgehende Vegetationsbedeckung anzustreben. Eine lokale forstwirtschaftliche Nutzung ist unter Ausschluß von Gehölzen mit Produktion von aciditätsfördernder Nekromasse (Nadelbäume) möglich, die zusätzliche Belastung des landschaftlichen Wasserhaushaltes jedoch einzukalkulieren. Diese Nutzung macht eine weitgehende Beibehaltung der Raumstrukturen erforderlich, wie der mangelnde Anwuchserfolg forstlicher Kulturen nach intensiver Umgestaltung ehemaliger Rieselfelder in Berlin-Buch gezeigt hat.

Die bestehenden ingenieurtechnischen Anlagen ermöglichen im Falle einer Aufforstung eine Bewässerung der Pflanzen.

Die Forstwirtschaft könnte somit der multifunktionellen Strategie zur Stabilisierung der stofflichen und energetischen Systemstruktur durchaus dienlich sein.

Der Anbau von Kulturpflanzen zur Erzeugung von Nahrungsmitteln ist zu unterlassen, da Xenobiotica in das Nahrungsnetz des Menschen gelangen können (vgl. GRÜN et al. 1989). Ausnahmen könnten bei intensiv untersuchten Kleinstflächen gemacht werden, wenn garantiert ist, daß ein Eintrag aus nahe gelegenen Hochlastbereichen über den Luftpfad auszuschließen ist. Gegen die Kultivierung von Zierpflanzen, pflanzlichen Industrie- und Energierohstoffen besteht kein Einwand, allerdings sollte bei einer Raumentnahme durch Verwertung eine biochemische Kontrolle erfolgen, die genereller Art sein muß, wenn Wurzel-/Rhizombereiche davon betroffen sind. Nach Möglichkeit sollte ein raumtypisches Artenspektrum Verwendung finden, Monokulturen sind abzulehnen. Die vielfältigen Untersuchungen zu einer langfristigen Anbaueignung einzelner Species, sowohl unter geoökologischer als auch ökonomischer Zielstellung, sind noch nicht abgeschlossen. Deshalb können nur die Grundprinzipien der ackerbaulichen Nutzung, nicht aber ihre Spezifika dargelegt werden.

3. Unter dem Aspekt des Bodenschutzes sind alle Maßnahmen auf Verhinderung einer Degradierung durch Erosion, Humusabbau und Versauerung auszurichten. Alle Eingriffe, welche die Diffusion von Sauerstoff in das Porensystem begünstigen, sollten minimiert werden (z. B. Umbrechen und Zerkleinern des Bodenmaterials). Eine Kalkung ist nur dort angebracht, wo deutliche Erhöhungen der Bodenacidität auftreten (stark sauer, $\text{pH} < 5,0$), ansonsten ist sie infolge der Wirkung positiver Rückkopplungseffekte auf die Schwermetallremobilisierung zu unterlassen.

Schließlich sollten alle Nutzungsvarianten, welche einer intensiven Bodenpflege sowie Düngung bedürfen, verworfen werden. Die Ablehnung begründet sich mit Sicht auf das oben genannte Mineralisierungsproblem, die weitere Aufladung des Nährstoffpools sowie die durch Ionenkonkurrenzen bedingten, potentiellen Remobilisierungsvorgänge.

4. Für die ausgewiesenen Hochlastflächen (s. o.) besteht ein Sanierungszwang. Sowohl unter bodenökologischem als auch umweltpolitischem Aspekt sind biologisch orientierte Verfahren, welche die ökosystemaren Kopplungen berücksichtigen zu bevorzugen. Die benannten Maßnahmen zur Immobilisierung des Schadstoffpools sollten berücksichtigt werden, die zusätzliche, schonende Einbringung von Sorptionsträgern (z. B. Tone) ist möglich, hierbei steht die ökonomische Machbarkeit im Vordergrund.

Sedimentmaterial der Vorfluter ist bei sichtbaren Anreicherungen mit organischer Substanz (Gehalt von etwa 2—3 %) nach Entnahme nicht mehr einzubauen. Trockenfallende Grabenbereiche müßten bei höheren Anteilen von organischer Substanz im Grabensediment geräumt werden; auch hier zeichnet sich die Notwendigkeit einer Deponierung/Sanierung ab. Deponiertes Material ist so zu lagern, daß Verwehungen sowie ein hydraulischer Kontakt mit dem umgebenden Bodenkompartment verhindert wird. Benannte Maß-

nahmen zur Stabilisierung des Milieus und der organischen Substanzgehalte sind sinngemäß anzuwenden.

5. Bei der Umgestaltung von nicht mehr zu beaufschlagenden Flächen sollten auch dem kulturhistorischen Wert der Landschaft, ihrer klimaregulierenden Funktion und der Existenz besonderer Biotope Rechnung getragen werden, denn einerseits stellt die Rieselfeldlandschaft ein kulturhistorisch bedeutsames Zeugnis dar, andererseits haben die kleinstrukturierten Areale angesichts des nahen Ballungsraumes wichtige Nischenfunktionen für Tier- und Pflanzenarten übernommen.

Es muß jedoch an dieser Stelle betont werden, daß bei der Entwicklung künftiger Nutzungsstrategien für extrem hemerobe Landschaften, zu denen auch die kontaminierten Rieselfelder zu zählen sind, sich alle Maßnahmen des Biotopschutzes dem Ziel der Minderung des Risikos, welches von den fixierten Stoffvorräten und den veränderten Milieubedingungen ausgeht, unterzuordnen haben. Biotope, welche im Kontext einer Sukzession nicht den natürlichen, stofflichen bzw. energetischen Umweltbedingungen entsprechen und damit zusätzliche Systemeinträge erforderlich machen, sollten abgelehnt werden, es sei denn, sie treten auf Grund der Maßnahmen zur Risikominimierung in Erscheinung.

6. Wohnungs- und Gewerbeansiedlungen sollten nur auf wenig belasteten Standorten ehemaliger Rieselfelder realisiert werden. Zu beachten sind hierbei Fragen der Bodenversiegelung. Trotz des enormen Interesses an entsprechenden Flächen an der Peripherie der Metropole ist auf alle Fälle eine Zersiedelung des Raumes zu vermeiden.
7. Angesichts des hohen Bedarfs an stadtnahen Freiflächen mit Erholungsfunktion liegt der Schluß nahe, die Rieselfeldflächen dem Erholungsverkehr zugänglich zu machen. Aufgrund der kleinräumigen Variabilität der Belastungen erscheint dies möglich. Diese Nutzungsspezifität setzt jedoch die flächenhafte Planung einer Durchwegung sowie die generelle Verwendung von Abwasser höherer Reinigungsstufen voraus. Denkbar ist die Ausweisung von Reit-, Fahrrad- und Spazierwegen. Die Anlage flächenintensiver Rekreationsstrukturen sollte nur nach einer Prüfung, auf der Basis geoökologisch relevanter Kriterien ziel- und raumkonkret vorgenommen, zugelassen werden. Freizeitanlagen, Spielstätten und Kleingärten, welche einer intensiven Bodenbearbeitung bedürfen und/oder einen Direktkontakt mit dem Substrat nicht ausschließen können, sind abzulehnen.
8. Als sicher gilt, daß nach Einstellung des Abwassereintrages die fixierten Schadstoffe remobilisiert werden können. Hauptursachen sind der Rückgang der Gehalte an organischer Bodensubstanz und der damit verbundene Trend zur stärkeren Versauerung des Bodens.

Die bisher übliche Praxis der Einebnung aufgelassener Flächen verringert zwar die Schadstoffkonzentrationen, nicht aber deren Menge. Gleichzeitig erhöht sich die Intensität der Abbauprozesse und damit der Remobilisierungsvorgänge. Aus den genannten Gründen wäre deshalb auf Flächen, die mehrere Jahre nicht beaufschlagt wurden, eine Wiederaufnahme der Abwasseraufbringung abzulehnen, denn hier liegt ein Teil des Schadstoff-

vorrates wieder in einer mobileren Form vor und kann deshalb durch den Wasserstrom leichter verlagert werden.

Somit ist unter Sicht bisheriger Forschungsergebnisse das aktuelle Gefahrenpotential am geringsten, wenn die Rieselflächen unter Einhaltung bestimmter Randbedingungen weiter beaufschlagt werden.

Gravierende Änderungen bisheriger Nutzungsstrategien in Räumen, welche durch anthropogene Maßnahmen stark überprägt wurden, sind aus geoökologischer Sicht immer problematisch, da sich relevante Verschiebungen bisheriger Systemzusammenhänge vollziehen.

An dem von uns skizzierten Beispiel der Rieselfelder südlich Berlins wird deutlich, daß durch die weitgehende Beibehaltung bisheriger, ökologisch verträglicher Raumfunktionen eine Minimierung der Gefährdung benachbarter Landschaftskompartimente erreicht werden kann.

6. Zusammenfassung

Im Raum der Rieselfelder südlich Berlins hat sich ein breites Spektrum potentieller Nutzungsinterferenzen entwickelt.

Aus der jahrzehntelangen intensiven anthropogenen Überprägung resultieren jedoch geoökologische Spezifika, welche bei der Flächenumwidmung berücksichtigt werden müssen.

Als sicher gilt, daß es nach Einstellung der Beaufschlagung zu einer Remobilisierung des fixierten Schadstoffpools kommen kann. Aus den genannten Gründen wäre deshalb auf Flächen, die mehrere Jahre nicht beaufschlagt wurden, eine Wiederaufnahme der Abwasseraufbringung abzulehnen.

Alle zukünftigen Maßnahmen sollten einer behutsamen, ökologisch kalkulierbaren Risikominimierung Rechnung tragen.

Diese ist bei gravierenden Änderungen bisheriger Systemzusammenhänge nicht mehr gegeben.

Literatur

- Arbeitsgruppe STOFFDYNAMIK 1994/1: Rieselfelder südlich Berlin — Altlast, Grundwasser, Oberflächengewässer; Teilprojekt: Zustands- und Gefährdungsanalyse der Bodenzone. — Forschungsbericht, Universität Potsdam, 29 S.
- Arbeitsgruppe STOFFDYNAMIK 1994/2: Rieselfelder Berlin-Süd — multivalente Beurteilung der ökologischen Relevanz von Last- und Schadstoffen — Aufbau eines Bodeninformationssystems. — Forschungsbericht, Universität Potsdam, 151 S.
- BARSCH, H., BLUMENSTEIN, O. u. H. SCHACHTZABEL 1994: Zur Modellierung transportkontrollierter Transferprozesse auf Altlastengebieten in Brandenburg. — Greifswalder Geographische Abhandlungen 11, im Druck
- BLUMENSTEIN, O. 1994: Zu Fragen des Evolutionsprozesses hemerober Geosysteme im Brandenburg-Berliner Raum. — Habilitationsschrift, Universität Potsdam, Manuskript
- BLUMENSTEIN, O., GRUNEWALD, K. u. R. SCHUBERT 1991: Das Altlastengebiet Rieselfeld Berlin-Süd — eine geoökologische Herausforderung. — Potsdamer Geographische Forschungen, 1, 80 S.
- BLUMENSTEIN, O., GRUNEWALD, K. u. H.-D. PORTMANN, 1994: Rieselfelder südlich Berlins — neue Nutzungskonzepte ohne Konflikte? — Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg 3 (2), S. 40—43.
- GRÜN, M. et al. 1989: Kontrollierte landwirtschaftliche Nutzung ausgewählter schwermetallbelasteter Gebiete. — Forschungsbericht (unveröff.), Institut für Pflanzenernährung Jena.
- GRUNEWALD, K. 1993: Bodenzustand und -belastung aktueller und ehemaliger Rieselfelder südlich Berlin. — Potsdamer Geographische Forschungen, 5, 133 S.
- GRUNEWALD, K. u. W. BECHMANN 1994: Belastung der Rieselfeldböden mit organischen Schadstoffen. — Z. Terra Tech 3, S. 28—29.
- KÖLBEL, F. 1962: Das Prätertiär in Südbrandenburg. — Z. Geologie 11 (2), S. 1113—1132.
- LEHMANN, H. W. 1974: Geochemie und Genesis der Tiefenwässer der Norddeutschen Senke. — Z. Angew. Geologie 20 (11), S. 502—509.
- MARCINEK, J. u. D. ZAUMSEIL 1987: Der Naturraum der Stadt-Umland — Region der Hauptstadt Berlin und seine Nutzung. — Geographische Berichte 32 (2) S. 103—120.
- NESTLER, W. et al.: Umweltgerechte Nutzung ehemaliger Rieselfelder Berlins. — Z. Wasserwirtschaft und Wassertechnik 40 (5), S. 105—108.
- TRÖGER, U. u. M. ASBRAND 1994: Rieselfelder südlich Berlin- Altlast, Grundwasser, Oberflächengewässer; Teilprojekt Hydrogeologie. — Forschungsbericht, TU Berlin 10 S.
- WEISSE, R. 1983: Das pleistozäne Stockwerk und sein Einfluß auf die Versalzung des Grundwassers in der weiteren Umgebung von Potsdam. — Forschungsbericht, PH Potsdam.
- WEISSE, R. 1989: Die Grundmoränentypen westlich von Potsdam. — In: Der Bezirk Potsdam, Geographische Exkursionen, S.63—70.

Die Untersuchungen im Rieselfeldgebiet Berlin-Süd der AG Stoffdynamik in Geosystemen der Universität Potsdam, welcher die Autoren angehören, erfahren seitens des MUNR und des LUA Brandenburg großzügige finanzielle Förderung. Hierfür sei den Landesbehörden herzlich gedankt.