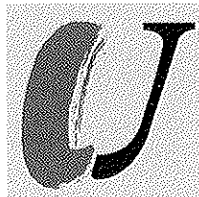


Studien und Tagungsberichte
Band 9

Rieselfelder Brandenburg-Berlin



LANDESUMWELTAMT
BRANDENBURG



Impressum

Studien und Tagungsberichte
Schriftenreihe des Landesumweltamtes Brandenburg
ISSN: 0948-0838

Herausgeber:
Landesumweltamt Brandenburg
Referat Öffentlichkeitsarbeit
Berliner Straße 21 - 25
14467 Potsdam
Tel. (0331) 2323-259

Redaktion Band 9 „Rieselfelder Brandenburg-Berlin“:
Wissenschaftlich-technischer Beirat Rieselfelder (WTB) beim Landesumweltamt Brandenburg
Für den Inhalt der Einzelbeiträge zeichnen die Autoren verantwortlich
Dezember 1995

Gesamtherstellung: Märker · Wildpark-West

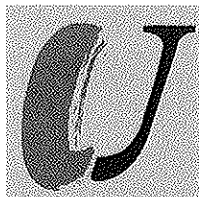
Gedruckt auf 100% Recyclingpapier

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Landesregierung Brandenburg herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung.
Schutzgebühr 15 DM

Studien und Tagungsberichte
Band 9

Rieselfelder Brandenburg-Berlin

- Fachtagung „Rieselfelder Brandenburg-Berlin“
im Februar 1995
- Bericht des Wissenschaftlich-technischen
Beirates Rieselfelder (WTB) vom
Dezember 1995



LANDESUMWELTAMT
BRANDENBURG



Inhalt

Vorwort Matthias Freude, Landesumweltamt Brandenburg	3
<u>Fachtagung „Rieselfelder Brandenburg - Berlin“</u>	
Planungsrelevante Aspekte einer Rieselfeldnachnutzung im Verflechtungsraum Brandenburg - Berlin Michael Schmidt, Brandenburgische Technische Universität Cottbus	4
Themenkomplex: Erfassung und Bewertung der Belastungssituation	
Ökosystemare Beschreibung von Rieselfeldern Hans-Peter Blume, Christian-Albrechts-Universität Kiel	11
Anorganische Schadstoffe – Zustand und Dynamik Oswald Blumenstein, Universität Potsdam	19
Untersuchungen zu organisch-chemischen Bodenbelastungen in den ehemaligen Rieselfeldern in Berlin-Buch Werner Kratz, Freie Universität Berlin	27
Bindung, Mobilität und Transport von Schadstoffen in Rieselfeldern M. Renger, C. Hoffmann, L. Schlenker, TU Berlin, Institut für Ökologie	32
Humantoxikologisches Gefährdungspotential von belasteten Rieselfeldböden Thomas Eikmann, Institut für Hygiene und Umweltmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen	40
Belastung des Grundwassers durch Schadstoffverlagerung im Verbreitungsgebiet der Rieselfelder südlich Berlins Uwe Tröger und Martin Asbrand, Technische Universität Berlin	43
Themenkomplex: Nutzungskonzepte unter Berücksichtigung des Boden- u. Gewässerschutzes	
Ökologisch verträgliche Rieselfeldnachnutzung Hans-Dieter Portmann, Landesumweltamt Brandenburg	56
Klarwasserverrieselung als vierte Reinigungsstufe? Jürgen von Kunowski und Hans-Joachim Schulz, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene Berlin	63
Sanierungs- und Gestaltungskonzeption für die ehemaligen Rieselfelder im Bereich des Forstamtes Buch Elmar Kilz, Landesforstamt Berlin	77
Landwirtschaftliche Nutzung von Rieselfeldern Reinhard Metz, Humboldt-Universität zu Berlin	85
Feuchtgebiet von internationaler Bedeutung – Rieselfelder Münster – Michael Harenger, Biologische Station „Rieselfelder Münster“	91
Ökomanagement Rieselfelder – Problematisierung, Ergebnisse, Schlußfolgerungen Reinhard F. Hüttel und Harald Semmel, Brandenburgische Technische Universität Cottbus	96
<u>Empfehlungen des Wissenschaftlich-technischen Beirates Rieselfelder (WTB) beim Landesumweltamt Brandenburg zur Rieselfeldnachnutzung im Umland von Berlin</u>	99

Vorwort

Sehr geehrte Damen und Herren,

die Geschichte der berlin-brandenburgischen Rieselfelder reicht bis ins Jahr 1878 zurück, als auf Beschluß der Berliner Stadtverordnetenversammlung mit dem Aufbau eines Systems von stadtnahen Verrieselungsflächen begonnen wurde. Maßgeblichen Anteil an dieser umwelt- wie auch gesundheitspolitisch weit-sichtigen Entscheidung hatte der bekannte Pathologe Rudolf von Virchow.

Damals war schwerlich abzusehen, daß zunehmende Schadstofffrachten im Verlaufe der mehr als 100jähri-gen Abwasserverrieselung zu der heute viel diskutier-ten, teilweise bedenklichen Bodenkontamination füh-ren würde. Die Beurteilung dieses Gefahrenpotentials bildet einen zentralen Aspekt dieser Publikation, vor allem hinsichtlich aktueller Gefährdungen und mögli-cher Folgenutzungen.

Die Ergebnisse einer im Februar 1995 durchgeführten Fachtagung des Landesumweltamtes zur Rieselfeld-problematik sollen hier ebenso vorgestellt werden wie der im Dezember 1995 vorgelegte Abschlußbericht des „Wissenschaftlich-technischen Beirates Rieselfelder“ beim Landesumweltamt Brandenburg.

Mit der Einrichtung dieses Beirates wurde die Bearbei-tung eines Problemkomplexes aufgegriffen, der sich einer Bewertung durch sektorale Betrachtung einzel-ner Schutzgüter entzieht. Die Experten aus verschie-denen Universitäten und Umweltverwaltungen hät-ten die Aufgabe, den derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisstand einschlägiger Forschungsvorhaben und Untersuchungsergebnisse zur Erfassung und Bewer-tung der aktuellen Belastungssituation sowie der An-forderungen und Bedingungen der relevanten Folge-nutzungen zusammenzustellen.

Heute stellen die rund 22.000 Hektar größtenteils stillgelegter Rieselfelder im engeren Verflechtungs-raum Berlin-Brandenburg eine Flächenreserve von herausragender Bedeutung dar. Die Palette möglicher Folgenutzungen reicht von Naturschutz und Nah-erholung über Land- und Forstwirtschaft bis hin zur Wohnbebauung.

Vorliegende Publikation soll über den wissenschaftli-chen Erkenntnisgewinn hinaus den verschiedenen Vorhabens- und Planungsträgern praktische Möglic-keiten im Umgang mit ehemaligen Rieselfeldern auf-zeigen, den Rahmen notwendiger Zusatzuntersu-chungen und gegebenenfalls Sanierungsmaßnahmen abstecken helfen und letztlich dazu beitragen, die Chancen und Risiken möglicher Folgenutzungen sachgerecht abzuwägen.



Dr. rer. nat. Matthias Freude
Präsident des Landesumweltamtes
Brandenburg

Planungsrelevante Aspekte einer Rieselfeldnachnutzung im Verflechtungsraum Brandenburg - Berlin

Michael Schmidt, Brandenburgische Technische Universität Cottbus

*Dieser Beitrag ist dem Gründungspräsidenten des Landesumweltamtes Brandenburg (1991-1995),
Herrn Dr.-Ing. Walter Haase, gewidmet.*

1. Einleitung und Problemstellung

Zur Lösung hygienischer Probleme verrieselte Berlin unter Mitwirkung des Geheimen Baurats Friedrich Karl Wiebe, des Pathologen Rudolf von Virchow und des Ingenieurs James Hobrecht seit Ende des 19. Jahrhunderts seine häuslichen und gewerblichen Abwässer auf Flächen im Berliner Umland. Dies geschah mittels eines von Pumpen unterstützten Leitungsradialsystems, das in zwölf Einzelgebiete untergliedert war. 1878 wurde auf Beschluß der Berliner Stadtverordnetenversammlung mit dem Ausbau dieses Systems begonnen, und schon im selben Jahr konnte ein innerstädtischer Sektor dem Betrieb übergeben werden.

Die rasche bauliche Entwicklung der Stadt und die starke Zunahme ihrer Bevölkerung lieferte in kurzer Zeit den Beweis, daß die beiden grundlegenden Gedanken für den Ausbau der Berliner Kanalisation richtig waren:

einerseits die Abwässer durch Pumpwerke so schnell wie möglich aus dem Wohnbereich zu entfernen und andererseits sie auf den Rieselfeldern der Umgebung landwirtschaftlich zu verwerten. Diese Annahmen hatten zu einem Abwassersystem geführt, das nicht nur für Berlin selbst die hygienisch, technisch und wirtschaftlich beste Lösung des schwierigen Problems darstellte, sondern auch für die rings um die Stadt liegenden Vororte.

Bis 1905 wurden größtenteils nordöstlich und südlich in Stadtrandnähe, neben kleineren Flächen 14 Güter

durch die Stadt Berlin für Rieselfeldzwecke gekauft [1]. Auf einem Gesamtareal von rund 22.000 ha [2] wurden auf ca. 10.000 ha Berliner Abwässer verrieselt. Der Rest der Fläche wurde als Reserve vorgehalten oder war aufgrund unzureichender Versickerungsintensität nicht zur Verrieselung von Abwasser geeignet. Die Stadtgüter verpachteten bis zu 50 Prozent der Rieselfeldflächen an landwirtschaftliche Betriebe, die sich vor allem auf intensiven Gemüseanbau und Obstproduktion spezialisierten [3]. Die von den Stadtgütern selbst bewirtschafteten Flächen hatten ihren Schwerpunkt in der Milchproduktion (vgl. auch [4]).

Im Zuge der Bodenreform zwischen den Jahren 1945 bis 1949 wurden die nördlich und südlich Berlins gelegenen Stadtgüter in volkseigene Güter umgewandelt und an Landwirtschaftliche Produktionsgenossenschaften übergeben [1]. Mit Inbetriebnahme der Kläranlage Falkenberg und einer hierdurch ermöglichten Flächeninanspruchnahme für Bauland im Nordosten Berlins (infolge sinkender Grundwasserstände) wurde 1968 die Abwasserverrieselung nördlich Berlins aufgegeben.

Durch Ministerratsbeschluß in der ehemaligen DDR von 1983 wurde die landwirtschaftliche Produktion der Rieselfelder weitgehend aufgegeben und die Flächen der Brache überlassen. Zur Sicherung eines erhöhten Wasserbedarfs des Industriestandortes Ludwigsfelde wurde jedoch die Rieselfeldstruktur der Rieselfelder südlich Berlins in Teilgebieten unverändert belassen. Von den ursprünglich 4.300 ha zwi-



Bild 1: Erhaltene Tafelstruktur der Rieselfelder Königs Wusterhausen, Foto: M. Schmidt

schen Potsdam und Königs Wusterhausen vorhandenen Rieselfeldflächen sind gegenwärtig noch ca. 2.000 ha in ihrer Struktur erhalten (Bild 1), wovon knapp 1.000 ha bis vor wenigen Jahren noch zur Verrieselung von Abwasser genutzt wurden [5].

Nach der Wiederherstellung der Deutschen Einheit erfolgte im November 1991 die Gründung der Betriebsgesellschaft Stadtgüter Berlin, die bestehend aus zehn Gütern maßgeblich nördlich und südlich von Berlin, ca. 20.000 ha Land bewirtschaften [1].

2. Belange des Bodenschutzes

2.1 Gefahrenbeurteilung nicht genutzter Rieselfelder

Die seit rund 100 Jahren wasserwirtschaftlich geprägte Bodennutzung der Rieselfelder führte zu einer Nährstoff- und Schadstoffanreicherung der Böden und zu einer Kontamination des Grundwassers. Durch regelmäßige Bodenbearbeitung kam es bei ackerbaulicher Nutzung zu einer gleichmäßigen Einmischung der Schadstoffe vor allem in die oberste Bodenschicht mit 20-30 cm Tiefe.

Bei der Beurteilung nicht mehr genutzter Rieselfelder als Gefahrenquelle ist zu prüfen, ob bei ungehinderter Geschehensablauf mit hinreichender Wahrscheinlichkeit eine Schädigung gesetzlich geschützter Güter zu befürchten ist. Gesetzliche Ermächtigungsgrundlage zur Gefahrenabwehr ist das Polizei- und Ordnungsrecht des Landes Brandenburg (Vorschaltgesetz zum Polizeigesetz des Landes Brandenburg [6, 7]). Zu den Schutzgütern gehören auf offengelassenen Rieselfeldern vorrangig der Mensch, das Grundwasser, Oberflächengewässer (soweit die Drainagesysteme erhalten sind) und der Boden im Sinne seiner Regelungsfunktion.

Das Vorschaltgesetz zum Landesabfallgesetz des Landes Brandenburg (LAbfVG) [8] grenzt Rieselfelder als Altstandorte aus dem sachlichen Geltungsbereich der altlastenrechtlichen Regelungen aus. Der Begriff Altlasten ist nach § 25 LAbfVG auf Altablagerungen und Altstandorten eingeeignet; ausgenommen sind gemäß Abs. 4 Nr. 2 Grundstücke, auf denen Abwasser, Klärschlamm, Fäkalien oder ähnliche Stoffe ausgebracht wurden bzw. werden. Das Land Brandenburg folgt damit der in den Landesabfallgesetzen üblichen Ausgrenzung flächenhafter Bodenbelastungen, die in früherer Zeit außerhalb von Altablagerungen und Altstandorten entstanden sind. Für Erhebungen zur stofflichen Belastung von Rieselfeldern besteht im Gegensatz zu den gesetzlichen Regelungen für Altablagerungen und Altstandorten keine Ermittlungspflicht durch die unteren Abfallwirtschaftsbehörden. Soweit jedoch ein hinreichender Verdacht besteht, daß von bestimmten Rieselfeldflächen eine Gefahr für die öffentliche Sicherheit und Ordnung

ausgeht, sind die nach Ordnungsrecht zuständigen Behörden im Sinne der polizeirechtlichen Schadensabwehr verpflichtet, eine sachverständige Feststellung und Bewertung des Gefährdungspotentials durchzuführen oder durchführen zu lassen. Das heißt, die Beachtlichkeitsschwelle zur Ermittlungspflicht möglicher Auswirkungen von stofflichen Bodenbelastungen auf o.g. Schutzgüter liegt bei nicht genutzten Rieselfeldern auf der Stufe der Gefährdungsmöglichkeit. Darüber hinaus haben sie die notwendigen Präventionsmaßnahmen im Einzelfall zu treffen.

Eine Nutzung der Rieselfeldflächen zu Freizeit- und Erholungszwecken ist ordnungsrechtlich unter human-toxikologischen Aspekten zu bewerten. Für eine diesbezügliche Risikobewertung ist zuerst die Schadstoffmenge, die vom kontaminierten Boden zum Menschen gelangen kann, relevant.

Die Faktoren, die diesen Prozeß steuern sind nach RUCK (1990) [9]:

- die orale Aufnahme (von Bodenpartikeln durch Verschlucken),
- die inhalative Aufnahme (durch Einatmen von Staub) und
- die dermale Aufnahme (Durchtritt von Schadstoffen durch die Haut)

Weiterhin müssen Kenntnisse über die Bioverfügbarkeit, die Toxizität der Schadstoffe und Schwellenwerte ihrer toxischen Wirkungen bekannt sein. Diese Beurteilung ist im Einzelfall nur unter erheblichem Aufwand zu leisten und bisher existieren unterschiedliche Vorgehensweisen bei den Expositionsabschätzungen. Aus diesem Grund werden bereits entwickelte Orientierungswerte herangezogen, um aktuelle Schadstoffgehalte in den Rieselfeldböden aus humantoxikologischer Sicht zu beurteilen.

Die flächenhaft verbreiteten Grünbrachen mit einer geschlossenen Vegetationsdecke schließen eine Gefährdung des Menschen durch inhalative und dermale Aufnahme von Schadstoffen über den Boden-Luft-Mensch-Pfad weitestgehend aus. Dies steht im Einklang mit BRÜMMER (1989) [10] sowie EIKMANN und MICHELS (1991) [11], wonach eine Schadstoffaufnahme über die Luft im Freiland bei geschlossener Vegetationsdecke als von geringer Bedeutung eingeschätzt wird.

Um eine intakte Vegetationsdecke zu erhalten, sind Freizeitaktivitäten, die zu einer Zerstörung derselben und damit verbundenen Bodenverwehungen und Aufschleudern von Bodenmaterial führen können, ohne vorherige Untersuchung und Behandlung kontaminierter Flächen abzulehnen. Insbesondere ist eine Nutzung wie z.B. eventuelle Querfeldeinbefahrung durch Mountainbikes oder motorisierter Fahrzeuge auszuschließen. Ebenso sollten keine stationären Einrichtungen mit einer intensiven Nutzung wie z.B. Trimm-Dich-Pfade eingerichtet werden. Eine

mögliche extensive Erholungsnutzung der Rieselfeldflächen besteht in der Ausweisung von Fahrrad- und Spazierwegen [12].

Eine Risikobewertung dieser Freizeitaktivitäten muß aus humantoxikologischer Sicht die unabsichtliche, orale Bodenaufnahme, insbesondere von Kindern als empfindlichste Personengruppe berücksichtigen. Das Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg [13] ordnet regelmäßig zugängliche Grün- und Parkanlagen den Siedlungsflächen zu. Für derartige Flächen, die bei ebenfalls geschlossener Vegetationsfläche mit Rieselfeldern vergleichbar sind, wird für die empfindlichste Personengruppe Kleinkinder eine definierte Bodenaufnahme (Hand-zu-Mund-Aktivität) angenommen. Davon ausgehend werden Prüfwerte aufgestellt, die die Konzentration eines Schadstoffes im Boden angeben, die aus humantoxikologischer Sicht selbst bei der empfindlichsten Zielgruppe Kleinkinder nach Stand der wissenschaftlichen Erkenntnis zu keiner gesundheitlichen Schädigung führen. Legt man diese Prüfwerte für die Belastung der Rieselfelder in Berlin und Brandenburg zugrunde, sind die Schwermetall-Belastungen teilweise ausgeschöpft und in Einzelfällen überschritten. Der überwiegende Teil der Meßdaten vorwiegend zu den chemischen Bodenbelastungen der Rieselfelder (0 - 30 cm) liegt unterhalb der Prüfwerte. Zusammenfassend ist festzustellen, daß in nachgewiesenen Einzelfällen die Schwermetallgehalte im Oberboden von Rieselfeldern die als Qualitätsstandards herangezogenen Prüfwerte des Landesgesundheitsamts Baden-Württemberg überschreiten. Um uneingeschränkt eine Erholungsnutzung auf Rieselfeldern sicherzustellen, wird aus planerischer Sicht empfohlen, die hochkontaminierten Flächen, deren Lokalität bei erhaltener Rieselfeldstruktur gut bestimmt werden kann, zu untersuchen und zu behandeln.

Bei der Bewertung offengelassener Rieselfelder ist jedoch zu beachten, daß nach den Umständen des Einzelfalls nicht rieselfeldbewirtschaftungsbedingte Schadstoffeinträge zu einer erheblichen Bodenkontamination führen können. So sind als Ursache für stark erhöhte Dioxingehalte zwischenzeitlich gesicherter Schlammbeete der Rieselfelder Karolinenhöhe - Teilflächen Seeburg (Potsdam-Mittelmark) Berliner Abwässer und Klärschlämme als Ursachen auszuschließen [14]. Obwohl ein derartiger Befund als Einzelfall zu bewerten ist und nicht auf andere Rieselfelder in Berlin und Brandenburg übertragen werden kann, sollten bei der Beurteilung von Rieselfeldern unter Berücksichtigung der angestrebten Folgenutzung insbesondere Absatzbecken, Schlammbeete und Gräben auf ihre Schadstoffbelastung flächenrepräsentativ untersucht werden.

2.2 Aufstellen von Bauleitplänen

Obwohl der Bodenschutz im Land Brandenburg derzeit noch über kein eigenständiges Fachgesetz ver-

fügt und weiterhin die mittlerweile über einen Zeitraum von 10 Jahren erfolgten Bemühungen des Bundes, ein Bodenschutzgesetz zu schaffen, noch immer auf Referentenebene stagnieren, ist der Planungsträger dennoch verpflichtet, die rieselfeldspezifischen Schadstoffbelastungen, insbesondere der Oberböden, bei künftiger Nutzungsänderung zu beachten.

Auf der Ebene der Bauleitplanung ist nach der Rechtsprechung die Gemeinde verpflichtet, sämtliche planungsrelevante Sachverhalte zu ermitteln. Im Unterschied zur fachgesetzlichen Legaldefinition des Brandenburgischen Landesabfallvorschlagesgesetzes umfaßt der Begriff „Altlasten“ im Mustererlaß „Berücksichtigung von Flächen mit Altlasten bei der Bauleitplanung und im Baugenehmigungsverfahren“ [15] neben Altablagerungen und Altstandorten auch „großflächige Bodenbelastungen“. Als mögliche Ursachen für die Entstehung einer großflächigen Bodenbelastung werden beispielhaft Lufteintrag oder Überschwemmungen genannt. Die im Rahmen verschiedener Untersuchungsvorhaben ([12, 16, 17, 18 und 19]) ermittelten Schadstoffbelastungen auf Rieselfeldern im Großraum Berlin und Umland weisen eine große Konzentrationsspanne auf. Die Schwermetallgehalte in Oberböden zeigen Minimalwerte in Konzentrationsbereichen, wie sie für land- und forstwirtschaftliche Böden Brandenburgs charakteristisch sind [20]. Die Maximalwerte hingegen überschreiten alle die Orientierungswerte der Kategorie Ib der Brandenburger Liste, die für sensible Nutzungen, wie Spielplatz und Kleingartenflächen gilt. Die organischen Schadstoffe weisen im Oberboden eine ähnlich große Konzentrationsspanne auf wie die Schwermetalle. Die Maximalwerte liegen bis zu 2500-fach höher als die Minima bzw. die Werte entsprechender Referenzböden [19]. Wird zur Bewertung der Belastungssituation die Brandenburger Liste [21] herangezogen, so liegen die Maxima der PAK, PCB und MKW-Gehalte sämtlich über den entsprechenden Orientierungswerten der Kategorien Ib. Die ermittelten Dioxingehalte liegen z.T. deutlich oberhalb des gegenwärtig im Bundesgesundheitsamt diskutierten Richtwertes für landwirtschaftlich genutzte Böden in Höhe von 5,0 ng TE/kg [22].

Auf der Ebene der vorbereitenden Bauleitplanung sollen im Flächennutzungsplan nach § 5 Abs. 3 Nr. 3 BauGB [23] für bauliche Nutzungen vorgesehene Flächen gekennzeichnet werden, deren Böden erheblich mit umweltgefährdenden Stoffen belastet sind. Im Berliner Flächennutzungsplan werden, aufgrund der besonderen Problematik in einer hochverdichteten Großstadt, neben der gesetzlichen Kennzeichnungspflicht für Bauflächen, auch intensiv genutzte Grünflächen mit Bodenbelastungen gekennzeichnet [24]. Aufgrund der knapp einhundertjährigen Nutzung der Rieselfelder für die Abwasserentsorgung Berlins sowie verschiedener Publikationen der Umweltbehörden Brandenburgs und Berlins sind konkrete Hinweise auf die stoffliche Belastung der

Böden gegeben. Die Beachtlichkeitsschwelle der Darstellungen im Flächennutzungsplan orientiert sich am Vorsorgeprinzip und dem Grundsatz des vorbeugenden Umweltschutzes. Maßgeblich bei der fachlichen Beurteilung und Bewertung von Rieselfeldflächen sind daher nicht Normwerte, die bereits ein konkretes Gefährdungspotential anzeigen (so beispielsweise die „Eingreifwerte“ nach EIKMANN und KLOKE, 1993 [25] oder die „Interventionswerte“ (C-Werte) der Niederländischen Listen, 1993 [26], sondern vorsorgeorientierte Normwerte, wie die Werte der Kategorie Ib „Flächen mit sensiblen Nutzungen“ der Brandenburger Liste [21]. Besitzt der Planungsträger bei der Aufstellung des Flächennutzungsplans keine ausreichend exakte Planungsgrundlage zur Ausgrenzung von Rieselfeldflächen mit erhöhten Schadstoffgehalten und sind die betroffenen Flächen weiterhin für eine bauliche Nutzung vorgesehen, ist eine entsprechende Kennzeichnung als „Warnfunktion“ für die weiteren Planungsstufen erforderlich. Eine Unterlassung der Kennzeichnung von Flächen, deren Böden erheblich mit umweltgefährdenden Stoffen belastet sind oder der Verdacht auf Bodenbelastung besteht, bei gleichzeitiger Ausweisung zur baulichen Wohnnutzung, ist mit Haftungsrisiken für den Planungsträger verbunden [27]. Um die Untersuchungskosten auf der Ebene des Flächennutzungsplans in einem angemessenen Rahmen zu halten, verweist die Fachkommission „Städtebau“ der ARGEBAU (1992) [15] auf die einzelfallbezogene Möglichkeit des Erlassens einer Veränderungssperre nach § 14 BauGB oder einer Zurückstellung von Baugesuchen nach § 15 BauGB, bis die Frage der Nutzbarkeit grundsätzlich geklärt ist.

Im Bebauungsplan sind nach § 9 Abs. 5 Nr. 3 BauGB die Flächen zu kennzeichnen, deren Böden erheblich mit umweltgefährdenden Stoffen belastet sind. Die Kennzeichnung beschränkt sich nicht wie im Flächennutzungsplan auf belastete und baulich zu nutzende Flächen, sondern erweitert die Kennzeichnungspflicht auf alle im Plangebiet vorhandenen und erheblichen Bodenbelastungen. Eine einheitliche normative Beurteilungsgrundlage zur quantitativen Präzisierung des unbestimmten Rechtsbegriffes einer „erheblichen“ Belastung ist bundesweit jedoch nicht vorgegeben.

Als Bewertungshilfe für die fachliche Beurteilung kontaminierter Rieselfeldstandorte kann auf der Ebene des Bebauungsplans die Brandenburger Liste [21] herangezogen werden. Die für Flächen mit sensibler Nutzung noch tolerierbaren Ib-Werte (Brandenburger Liste, Teil 1) überschreiten für keinen der aufgeführten Schadstoffe die Prüfwerte für Kinderspielplätze sowie die Prüfwerte für Siedlungsflächen des Landesgesundheitsamtes Baden-Württemberg (1994). Prüfwerte werden hierbei als Konzentration eines Schadstoffes im Boden definiert, die aus humantoxikologischer Sicht selbst bei der empfindlichsten Zielgruppe und empfindlichsten Nutzung nach dem wis-

senschaftlichen Kenntnisstand zu keiner gesundheitlichen Gefährdung führen [13]. Die Ib-Werte für Böden der Brandenburger Liste Teil 1 entsprechen somit den bei der Aufstellung des Bebauungsplans besonders zu beachtenden Grundsätzen des vorsorgenden Umweltschutzes. Vorbehaltlich einer juristisch abschließenden Prüfung stellt die Einhaltung der Ib-Werte auch keinerlei wertmindernden Tatbestand im privatrechtlichen Sinne dar, da der o.g. Argumentation folgend keinerlei Einschränkungen der Nutzbarkeit von Grundstücken gegeben ist. Liegen Rieselfeldflächen innerhalb des räumlichen Geltungsbereichs eines aufzustellenden Bebauungsplans mit ausgewiesenen Flächen für Wohnbebauung, ist in der Regel davon auszugehen, daß eine Überschreitung der Ib-Werte für Böden gemäß Brandenburger Liste Teil 1 insbesondere für Einleiterbereiche, Schlammbeete, Absetzbecken sowie Be- und Entwässerungsgräben gegeben ist. Für den Planungsträger besteht damit Erkundungspflicht bezüglich Art und Umfang der Bodenbelastung.

Eine Ausklammerung von kontaminierten Flächen durch eine räumlich enge Planungsbegrenzung ist unzulässig [15], da laut Fachkommission „Städtebau“ eine regelmäßige Nutzung von Freiflächen in unmittelbarer Umgebung zu Baugebieten in Betracht zu ziehen ist. Durch den Bebauungsplan ausgelöste Nutzungskonflikte dürfen hierbei nicht unberücksichtigt bleiben. Bevor der Bebauungsplan als Satzung gemäß § 10 BauGB beschlossen wird, hat der Planungsträger sicherzustellen, daß auf belasteten Rieselfeldern im Hinblick auf die geplante Nutzung die erforderlichen Sanierungsmaßnahmen ergriffen werden. Als geeignete Instrumente benennt die Fachkommission „Städtebau“ der ARGEBAU (1992) [15] verschiedene Möglichkeiten von Festsetzungen im Bebauungsplan, z.B. der Baulast oder der Auslegung im öffentlich-rechtlichen Vertrag.

3. Wasserwirtschaftliche Belange

Nach den Vorschriften des Bauplanungsrechts haben die Kommunen als Träger der Bauleitplanung die in den Zielsetzungen der Raum- und Landesplanung verankerten Bedürfnisse der Wasserwirtschaft zu berücksichtigen. Laut Landesplanungsgesetz und Vorschaltgesetz zum Landesentwicklungsprogramm vom 20.07.1995 [33] sind Rieselfelder als im Gesetz näher bezeichnete „Versickerungsflächen“ gemäß § 4 Nr. 10 „Vorbehaltsgebiete der Wasserwirtschaft“ ausgewiesen. Nach § 150 des Brandenburgischen Wassergesetzes bleiben die nach ehemaligen DDR-Rechtsvorschriften seinerzeit ergangenen Festlegungen von wasserwirtschaftlichen Vorbehaltsgebieten bestehen.

Im Flächennutzungsplan sollen nach § 5 Abs. 2 Nr. 7 BauGB die für „die Wasserwirtschaft vorgesehenen Flächen“ also auch die hier erörterten „Vorbehaltsgebiete der Wasserwirtschaft“ dargestellt werden.

Ein absoluter Schutz im Sinne einer status quo konservierenden Veränderungssperre ist mit der Ausweisung als Vorbehaltsgebiet der Wasserwirtschaft jedoch nicht erreicht und auch vom Gesetzgeber nicht gewollt. Steht eine beabsichtigte Nutzungsänderung in Übereinstimmung mit den Zielstellungen der Wasserwirtschaft, kann dieser unter Berücksichtigung weiterer Belange des Umwelt- und Gesundheitsschutzes im Einzelfall stattgegeben werden. Beispielfähig wäre im Falle eines naturschutzrechtlichen Eingriffs eine Aufforstung als Erholungswald im Geltungsbereich des Bauleitplanes als Ausgleichs- oder Ersatzmaßnahme aus Sicht der Wasserwirtschaft genehmigungsfähig.

In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, daß das gegenwärtige Schutzziel für die als wasserwirtschaftlichen Vorbehaltsgebiete ausgewiesenen Rieselfelder südlich Berlins nicht mehr der ursprünglichen Zielstellung entspricht. Auf Beschluß des Rates des Bezirks Potsdam blieben die Rieselfelder südlich Berlin als wasserwirtschaftliche Vorbehaltsgebiete erhalten. Damit sollte über eine weitere Rieselfeldbewirtschaftung eine entsprechende Anreicherung des Grundwassers gewährleistet werden, um den erhöhten Wasserbedarf des Industriestandortes Ludwigsfelde langfristig sicherzustellen. Die einstweilige Sicherstellung der Rieselfelder südlich Berlins als wasserwirtschaftliche Vorbehaltsgebiete erfolgte nach Wiederherstellung der Deutschen Einheit durch das Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg, ist jedoch zeitlich auf drei Jahre befristet und kann höchstens um ein Jahr verlängert werden.

Inhaltlich ausfüllungsbedürftig sind Nutzungsstrategien bezüglich ihrer stabilisierenden Funktion auf Rieselfeldern als Beispiel für ein stark anthropogen überprägtes System. Zu verhindern ist, laut Votum des wissenschaftlich-technischen Beirats Rieselfelder Berlin - Brandenburg (S. 99 ff.) ein weiterer Rückgang der Gehalte an organischer Substanz im Oberboden, da mit dem Humusabbau eine Mobilisierung und anschließende Auswaschung von Schadstoffen über den Sickerwasserstrom zum Grundwasser einhergeht.

An eine weitere Feuchthaltung der Rieselfelder aus Gründen des Grundwasserschutzes sind besondere Anforderungen an das zugeleitete Abwasser zu stellen. Nach § 34 Wasserhaushaltsgesetz [28] kann eine Erlaubnis für das Einleiten von Stoffen in das Grundwasser nur erteilt werden, wenn eine schädliche Verunreinigung des Grundwassers oder eine sonstige nachteilige Veränderung seiner Eigenschaften nicht auftritt. Dem wird nach DOHMANN (1992) [29] entsprochen, wenn die potentielle Nutzung des Grundwassers zur Trinkwassergewinnung den Beurteilungsmaßstab für die Qualität des aufgebrauchten Abwassers bildet. Als Orientierung für die zu erreichende Reinigungsleistung für das versickernde Abwasser könnten die Qualitätskriterien

herangezogen werden, die an die Oberflächengewässer für die Trinkwassergewinnung in den Mitgliedsstaaten der EU gestellt werden. Für die zwei zentralen Großkläranlagen Waßmannsdorf und Stahnsdorf der Berliner Wasser Betriebe südlich Berlins ist festzustellen, daß die zu erbringende Reinigungsleistung zur Einhaltung dieser Qualitätskriterien derzeit jedoch nicht eingehalten wird.

4. Belange der Landschaftspflege und des Naturschutzes

Der Landesentwicklungsplan für den engeren Verflechtungsraum [30] gibt Entwicklungs- und Freiflächenschutzziele für Berlin und Brandenburg vor. Mit seiner Verabschiedung soll er einen Beitrag zur Landschaftsentwicklung des Verflechtungsraumes Berlin-Brandenburg leisten. Den Trägern öffentlicher Verwaltung einschließlich der Kommunen bietet er zukünftig eine wichtige Orientierung für raumbedeutsame Planungen und Maßnahmen.

Für nachgeordnete Planungsebenen, insbesondere die Bauleitplanung, entfaltet der Landesentwicklungsplan insofern Bindungswirkung, als daß im Sinne des § 1 Abs. 4 BauGB Ziele in der Bauleitplanung im Grad ihrer Aussageschärfe konkretisierungsfähig sind. Sie unterliegen jedoch nicht mehr einer erneuten gemeindlichen Abwägung und können daher nicht im Rahmen der Abwägung nach § 1 Abs. 6 BauGB überwunden werden. In einer noch zu erstellenden landschaftsplanerischen Gesamtkonzeption wäre die Bedeutung der Rieselfelder als stadtnahe, große zusammenhängende, unzersiedelte Gebiete herauszuheben. Als Bestandteile im Entwicklungsraum Regionalparke [30] könnten sie eine wichtige Funktion in einem zusammenhängendem Freiraum- und Biotopverbundsystem erfüllen.

Im Rahmen der Darstellungsmöglichkeiten des Flächennutzungsplanes und der Festsetzungsmöglichkeiten des Bebauungsplanes wäre für ausgewählte Rieselfelder mit noch bestehender Tafelmorphologie eine Erhaltung als historische Kulturlandschaft eine weitere wünschenswerte Konkretisierung landschaftsplanerischer Zielvorstellungen.

Historische Kulturlandschaften sind vom Geltungsbereich des Bundesnaturschutzgesetzes grundsätzlich erfaßt (vgl. § 2 Abs. 1 Nr. 13) [32], allerdings gibt es keine eigenständige Schutzkategorie „historische Kulturlandschaft“, vergleichbar mit Naturdenkmälern, so daß ihre Praxisrelevanz von den unteren Naturschutzbehörden nicht immer gesehen wird. Rieselfelder als kulturgeschichtliches Zeugnis vermitteln ein Bild des seinerseitigen Stands der Abwassertechnologie von Wissenschaft und Technik und sind, soweit in ihrer Tafelstruktur erhalten, anschauliches Beispiel rund 100 jähriger Bemühungen zur Lösung hygienischer Abwasserprobleme urbaner Ballungsräume. Als große offene und noch unzerschnittene Landschafts-

räume kommen ihnen als stadtnahe Erholungsgebiete bei gleichzeitig geringer Empfindlichkeit des aktuellen Naturraumpotentials eine herausragende Bedeutung zu (S. 99 ff.).

Der Erfolg von Maßnahmen zum Schutz und zur Pflege von Rieselfeldern ist langfristig nur dann gegeben, wenn die betroffenen Gemeinden sich für deren Erhalt einsetzen. Nachfolgend sind drei Varianten vorgestellt, mit denen Festsetzungen für Maßnahmen und Flächen auf der Ebene der Bauleitplanung realisiert werden können. Die erforderliche Rechtsgrundlage, Rieselfelder als geschützte Landschaftsbestandteile auszuweisen, ist mit § 24 Abs. 2 Nr. 5 BbgNatSchG [31] gegeben. Die erforderliche Festsetzung erfolgt in den Fällen, in denen der Schutz von Landschaftsbestandteilen das ganze Land oder mehrere Kreise betrifft, als Rechtsverordnung, erlassen durch das Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg und im Fall eines betroffenen Kreises durch die untere Naturschutzbehörde. Die im Brandenburgischen Naturschutzgesetz darüber hinaus eröffnete Möglichkeit, den Gemeinden die Befugnis einzuräumen, Rieselfelder im Geltungsbereich der Bebauungspläne

durch kommunale Satzungen als geschützte Landschaftsbestandteile festzulegen, ist als Besonderheit hervorheben. Obwohl im Hinblick auf diese Regelung ein Zusammenhang mit der baulichen Nutzung erforderlich ist, besteht für die Gemeinde die Möglichkeit, Festsetzungen im Sinne des förmlichen Gebietsschutzes zu treffen.

Auf der örtlichen Ebene besteht des Weiteren das Planungsinstrument des Grünordnungsplans zur Sicherung erhaltenswerter Rieselfelder. Nach § 7 Abs. 2 Satz 2 BbgNatSchG kann der Träger der Bauleitplanung in den Fällen, in denen ein Aufstellen eines Bauleitplans nicht erforderlich ist, die entsprechenden Maßnahmen und Flächen zum Schutz erhaltenswerter Rieselfelder über einen selbständigen Grünordnungsplan festsetzen. Selbständige Grünordnungspläne werden vergleichbar Bebauungsplänen von der Gemeinde als Satzung beschlossen. Die Kriterien für vordringlich aufzustellende Grünordnungspläne im Sinne § 7 Abs. 4 Nr. 1 und Nr. 2 BbgNatSchG sind für Rieselfelder erfüllt, als daß im Umland von Berlin nachhaltige Landschaftsveränderungen stattfinden und zu erwarten sind sowie sie als Freilandflächen der Erholung dienen.



Bild 2: Einsetzende Verbuschung mit schwarzem Holunder (*Sambucus nigra*) offen gelassener Rieselfelder südlich Berlins, Foto M. Schmidt

Der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung kommt bei der Erhaltung der Rieselfelder besondere Bedeutung zu. Bei fortschreitender Sukzession geht durch Verbuschung, vor allem durch schwarzen Holunder (*Sambucus nigra*) und durch starke Verkrautung der sich aus den Randbereichen der Gräben rasch ausbreitenden gemeinen Brennessel (*Urtica dioica*) das für Rieselfelder charakteristische Landschaftsbild über die Jahre verloren (Bild 2). Sind im Bebauungsplan Festsetzungen zum Ausgleich, zum Gesetz oder zur Verminderung von Beeinträchtigungen an Natur und Landschaft zu treffen, hat die Gemeinde nach den Vorschriften § 8 a BNatSchG [32] die Möglichkeit, notwendige Maßnahmen zur Pflege offener gelassener Rieselfelder zu veranlassen. Dabei ist es von Vorteil, wenn bereits auf gesamtgemeindlicher Ebene

des Flächennutzungsplans grundsätzliche Raumnutzungsentscheidungen und künftige Entwicklungsvorstellungen einer Rieselfeldnachnutzung entwickelt werden. Die Berücksichtigung der Aussagen der Landschaftsrahmenplanung sichert darüber hinaus die überörtliche Verzahnung bereits förmlich festgesetzter Gebiete im Sinne der §§ 20-27 BbgNatSchG.

5. Zusammenfassung

- Infolge einer knapp einhundertjährigen Nutzung der Rieselfelder im Großraum Berlin zur Abwasserbehandlung müssen diese als Bodenbelastungsgebiete eingestuft werden.
- Aufgrund ihres Gesamtareals, der Größe einzelner Rieselfelder und ihrer Lage im engen Verflech-

- tungsraum Berlin - Brandenburg stellen sie eine Flächenreserve von herausragender Bedeutung dar.
- Die Rieselfelder südlich Berlins sind als Vorbehaltsgebiete der Wasserwirtschaft einstweilig gesichert.
 - Die Beachtlichkeitsschwelle zur Ermittlungspflicht möglicher Auswirkungen von stofflichen Belastungen auf Schutzgüter liegt bei nicht genutzten Rieselfeldern auf der Stufe der Gefährdungsmöglichkeit.
 - Die Beachtlichkeitsschwelle bei der Aufstellung von Bauleitplänen sind vorsorgeorientierte Normwerte. Die Werte der Kategorie Ib der Brandenburger Liste, Teil 1, können für Rieselfeldflächen mit sensibler Nachnutzung als Bewertungshilfe herangezogen werden.
 - Für eine extensive, landschaftsbezogene Erholung in Zuordnung zum Ballungsraum Berlin zeichnen sich Rieselfelder als wesentlicher Bestandteil des Entwicklungsraums Regionalparke im engeren Verflechtungsraum Berlin - Brandenburg aus.
 - Rieselfelder als historische Kulturlandschaften können der kommunalen Satzung als „geschützte Landschaftsbestandteile“ oder über selbständige Grünordnungspläne gesichert werden. Soweit die Gemeinde Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen im Rahmen der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung trifft, besteht die Möglichkeit, Maßnahmen zum Schutz und zur Pflege von Rieselfeldern im Bauordnungsplan festzusetzen.

Literatur

- [1] Betriebsgesellschaft Stadtgüter Berlin (1995): Entdecken Sie die Berliner Stadtgüter. (Hrsg.): Betriebsgesellschaft Stadtgüter Berlin mbH
- [2] KÖNIG, K. u. LACOUR, P. (1915): Die Reinigung städtischer Abwässer in Deutschland nach den natürlichen biologischen Verfahren. Parley Verlag Berlin: 84 S.
- [3] Bezirksamt Hohenschönhausen von Berlin (1995): von Rieselfeldern, Stadtgütern und Gemüsebauern. Begleitbroschüre zur Ausstellung des Heimatmuseums Hohenschönhausen vom 31.05.94 - 28.02.95
- [4] Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz (1993 a) Umweltatlas Berlin, Erläuterungstext zur Karte 01.10-Rieselfelder S. 1
- [5] PORTMANN, H. (1992): Die Rieselfelder südlich Berlins - Last und Chance für die Verbringung von Klarwasser in einer technogenen überprägten Landschaft. In: Berichte aus der Arbeit. Teil 1: Wasser und Abfall S. 33 - 39
- [6] Vorschaltgesetz zum Polizeigesetz des Landes Brandenburg (VG PolGBbg) vom 11. Dez. 1991. GVBl. S. 636
- [7] Gesetz über den Aufbau und Befugnisse der Ordnungsbehörden (OBG) vom 13. Dezember 1991 GVBl. S. 636
- [8] Vorschaltgesetz zum Abfallgesetz für das Land Brandenburg (Landesabfallvorschlaltgesetz - LAbfVG) vom 20. Januar 1992 GVBl. I S. 16
- [9] RUCK, A. (1990): Bodenaufnahme durch Kinder - Abschätzungen und Annahmen. In: Bodenschutz - ergänzbares Handbuch, hrsg. von ROSENKRANZ, D. Berlin: Erich Schmidt Verlag - 1988
- [10] BRÜMMER, G. (1989): Schadstoffe ; in: SCHEFFER, F. und SCHACHTZABEL, P., Lehrbuch der Bodenkunde: S. 304 - 348, Enke Verlag Stuttgart.
- [11] EIKMANN, T. und MICHELS, S. (1991): Bedeutung von nicht oder schwer-flüchtigen Schadstoffen in Hinblick auf ihre humantoxikologische Wirkung. In: Ableitung von Sanierungswerten für kontaminierte Böden. IWS - Schriftenreihe Band 13, Erich Schmidt Verlag S. 249 - 265
- [12] BLUMENSTEIN, O.; BECHMANN, W.; BUKOWSKY, H. u.a. (1994): Rieselfelder Berlin-Süd. Multivalente Beurteilung der ökologischen Relevanz von Last- und Schadstoffen - Aufbau eines Bodeninformationssystem. Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg Abschlußbericht FM/H/92-305.05 - 20, 238 S.
- [13] Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg (1994): Prüfwerte für Szenarios Kinderspielflächen, Siedlungsflächen, Gewerbeflächen. In: Bodenschutz - ergänzbares Handbuch, hrsg. von ROSENKRANZ, D. Berlin: Erich Schmidt Verlag, 1988
- [14] Berliner Wasserbetriebe (1994): Untersuchung der Bodenbelastung mit PCDD/PCDF auf den Rieselfeldern Karolinenhöhe in Seeburg, unveröffentlichter Bericht
- [15] ARGEBAU (1992): Mustererlaß „Berücksichtigung von Flächen mit Altlasten bei der Bauleitplanung und im Baugenehmigungsverfahren“ In: Bodenschutz-ergänzbares Handbuch, hrsg. von ROSENKRANZ, D., Berlin: Erich Schmidt Verlag, 1988
- [16] AUHAGEN, A.; CORNELIUS, R.; KILZ, E.; KOHL, S.; KRAUß, M.; LAKENBERG, K.; MARSCHNER, B.; SCHILLING, W.; SCHLOSSER, H.-J. und SCHMIDT, A. (1994): Sanierungs- und Gestaltungskonzeption für die ehemaligen Rieselfelder im Bereich des Forstamtes Berlin Buch. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz, Arbeitsmaterialien der Berliner Forsten Bd. 4, 137 S.
- [17] HOFFMANN, C.; SCHLENTHER, L. und RENGER (1995): Zur Schwermetallbelastung und -dynamik auf einem ehemaligen Rieselfeld. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 76, S. 293-296
- [18] KIRCHNER, M. und BAUER, H. (1995): Statusseminar zum Förderschwerpunkt „Ökotoxikologie“ des BMBF. GSF-Bericht Nr. 2/1995, 301 S.
- [19] KRATZ, W. (Hrsg.) (1996): Wissenschaftliche Tagung zum Forschungsschwerpunkt „Rieselfelder in Berlin und Brandenburg“, am 12. und 13.10.95 in Berlin. Landschaftsentwicklung und Umweltforschung. Schriftenreihe des Fachbereichs Umwelt und Gesellschaft TU Berlin. Nr. 101, 249, 301 S.
- [20] Bund / Länder - Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (1995): Hintergrund - und Referenzwerte für Böden. (Hrsg.): Bayer. Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, 149 S.
- [21] Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg (1993): Die Brandenburger Liste. In: Brandenburger Umweltjournal Nr. 10, Dez. 1993, S. 18
- [22] KRATZ, W. (1992): Analyse organischer Schadstoffe (Dioxine, Furane, PAK, PCB, AKW, Phenole, LCKW, MKW) im Bodenprofil an ausgewählten Probestellen auf den ehemaligen Rieselfeldern Berlin-Buch. Gutachten im Auftrag der Berliner Forsten. 160 S.
- [23] Baugesetzbuch (BauGB, 1986). In der Fassung der Bekanntmachung vom 08. Dez. 1986. BGB2.III 213-1
- [24] Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz (1993 b), Flächennutzungsplan Berlin, Erläuterungsbericht - Entwurf Stand November, S. 46
- [25] EIKMANN, T. und KLOKE, A. (1993): Nutzungs- und schutzgutbezogene Orientierungswerte für (Schad-) Stoffe in Böden. In: Bodenschutz - ergänzbares Handbuch, hrsg. von ROSENKRANZ, D. Berlin: Erich Schmidt Verlag, 1988
- [26] Niederländische Liste (1993): Ziel-Werte und jüngste Vorschläge für Interventionswerte (C-Werte). In: Bodenschutz - ergänzbares Handbuch, hrsg. von ROSENKRANZ, D. Berlin: Erich Schmidt Verlag, 1988
- [27] BÜCKMANN, W. (1992): Bodenschutzrecht. Carl Heymanns Verlag, Köln, Berlin, Bonn, München, 232 S.
- [28] Wasserhaushaltsgesetz (WHG) in der Fassung vom 27. Juli 1957. BGBl. I S. 1110, ber. S. 1386
- [29] DOHMANN, M. (1992): Gutachten der RWTH Aachen zur Auslegung des § 34 WHG - / Kurzfassung. In: Studien und Tagungsberichte Bd. 2 „Abwasserbeseitigung im Land Brandenburg“ S. 11/14, Landesumweltamt Brandenburg
- [30] Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg (Hrsg.) (1994): Landschaftsplanerisches Gutachten „Engerer Verflechtungsraum Brandenburg Berlin“. 92 S.
- [31] Brandenburgisches Naturschutzgesetz (BbgNatSchG) in der Fassung vom 25. Juni 1992. GVBl. I S. 208
- [32] Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) in der Fassung vom 12. März 1987. BGBl.III791-1
- [33] Landesplanungsgesetz und Vorschaltgesetz zum Landesentwicklungsprogramm für das Land Brandenburg (BbgLPIG) in der Fassung vom 20. Juli 1995, GVBl. I S. 210

*Prof. Dr. Michael Schmidt
Vorsitzender des Wissenschaftlich-technischen Beirates
Rieselfelder
Brandenburgische Technische Universität Cottbus
Lehrstuhl Umweltplanung
Karl-Marx-Straße 17
03044 Cottbus*

Ökosystemare Beschreibung von Rieselfeldern

Hans-Peter Blume, Christian-Albrechts-Universität Kiel

1. Einführung

Die Rieselfelder stellen eine ökologische Besonderheit des Berliner Raumes dar. Über teilweise mehr als ein Jahrhundert wurden landwirtschaftlich genutzte Böden mit jährlich 800 - 5.000 mm Abwasser berie-selt. Dadurch veränderten sich auf Karolinenhöhe in Berlin-Gatow ehemals trockene, nährstoffarme Mo-ränenrücken in wechselfeuchte, nährstoffreiche Standorte mit einer daran angepaßten Lebewelt, die im folgenden beschrieben werden soll. Es handelt sich um Untersuchungen des Instituts für Ökologie der TU Berlin in den 70er Jahren [1,2].

2. Rieseltechnik

Die Rieselfelder in Berlin-Gatow wurden um die Jahr-hundertwende auf einem jungpleistozänen Morä-nenrücken angelegt, der als Böden teils sandige Braunerden aus Geschiebesand, teils lehmige Pa-rabraunerden aus Geschiebemergel mit sandgefüll-ten Frostkeil-Polygonnetzen aufwies (Abb. 1). Die Böden waren vorher mehrere Jahrhunderte hindurch ackerbaulich genutzt worden. Jeweils 0,25 ha große Parzellen wurden planiert (was zu einem bergseitigen Abtrag von und talseitigem Auftrag mit humosem Oberbodenmaterial führte), erhielten eine Rohrdrä-nung und wurden mit einem Wall umgeben. Das Ab-wasser der Berliner Mischkanalisation wurde dann zunächst in ein Schlammabsatzbecken gepumpt und anschließend in offenen Gräben periodisch in Portio-nen von 100 bis 500 mm auf die Parzellen geleitet. Vor 1918 wurden auf Karolinenhöhe bis zu 7.000 mm Abwasser jährlich verrieselt, zwischen den Kriegen im Mittel jährlich 4.500 mm, seit dem Bau von Klärwer-

ken (1965) in Westberlin weniger als 2.000 mm. die Rieselparzellen wurden bis 1945 vorrangig als Grün-land genutzt (vor allem *Lolium multiflorum*), das außerhalb der Frostperioden 4 - 8mal jährlich mit je-weils 300 - 500 mm flach überstaut wurde; danach wurde unter Ackernutzung Wintergetreide einmal im Herbst, Sommergetreide und Kartoffeln zweimal im Winter, Rüben 4 - 6mal im Frühjahr mit 100 - 500 mm Abwasser beschickt. 1978 wurden auf Karolinen-höhe noch 2 Millionen m³ verrieselt (Jahresbericht der Berliner Entwässerungswerke 1978).

3. Eigenschaften des Abwassers

Auf Karolinenhöhe wurden zwischen den Kriegen überwiegend häusliche Abwässer und Straßenab-flüsse Charlottenburgs verrieselt (n. HAHN u.a. [7], z.B. 1926 nur 7,3% Industrieabwässer, davon ¼ mit vorrangig anorganischer Belastung durch Gaswerke und metallverarbeitende Industrie). Das Abwasser verließ gelbbraun gefärbt, sauerstoff (ca. 4 mg/l)- und nitratreich die Haushalte und erreichte nach 6 - 8 Stunden schwarzgefärbt, NH₄- und H₂S-reich (4 - 5 mg/l), hingegen praktisch sauerstoff- und nitratfrei die Rieselfelder. Die Zusammensetzung wechselte stark (Tab. 1). Bis zu 75% der Feststoffe verblieben dann in den vorgeschalteten Absatzbecken, anorgani-sche nahezu vollständig. Die Schlämme der Absatz-becken wurden getrocknet und deponiert; früher wurden sie z.T. auch als Dünger verwendet. Auf die Rieselparzellen gelangte Stickstoff vor allem in Ammoniumform, daneben in fester und gelöster or-ganischer Bindung. An Schwermetallen wurden u.a. relativ viel Eisen und Zink in fester organischer Bin-dung zugeführt (Tab. 1).

Tab. 1: Chemische Zusammensetzung des Abwassers von Berlin-Gatow (Mittelwerte und Extremwerte in mg/l von 16 Terminen 1978/79 nach Passieren der Absatzbecken; (n. JAYAKODY [8] und MESHREF [9])

		pH	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁻	NO ₂ ⁻	org.N.	org.C	P	Cu	Fe	Mn	Zn	Cl	CO ₃
Mittel	gelöst	8,0	0,38	50	0,02	4,7	33	7,4	0,03	0,16	0,03	0,09		
	gebunden					12	80	6,8	0,05	0,95	0,03	0,25		
11.7.78	gelöst	8,5	0	109	0,02	3,4	24	9,4	0,04	0,04	0,03	0,05	110	410
	gebunden					9,7	67	5,3	0,04	0,63	0,02	0,19		
25.7.78	gelöst	8,5	1,2	32	0,04	3,1	29	5,4	0,03	0,04	0,02	0,07	210	400
	gebunden					9,3	65	6,8	0,04	0,84	0,03	0,15		

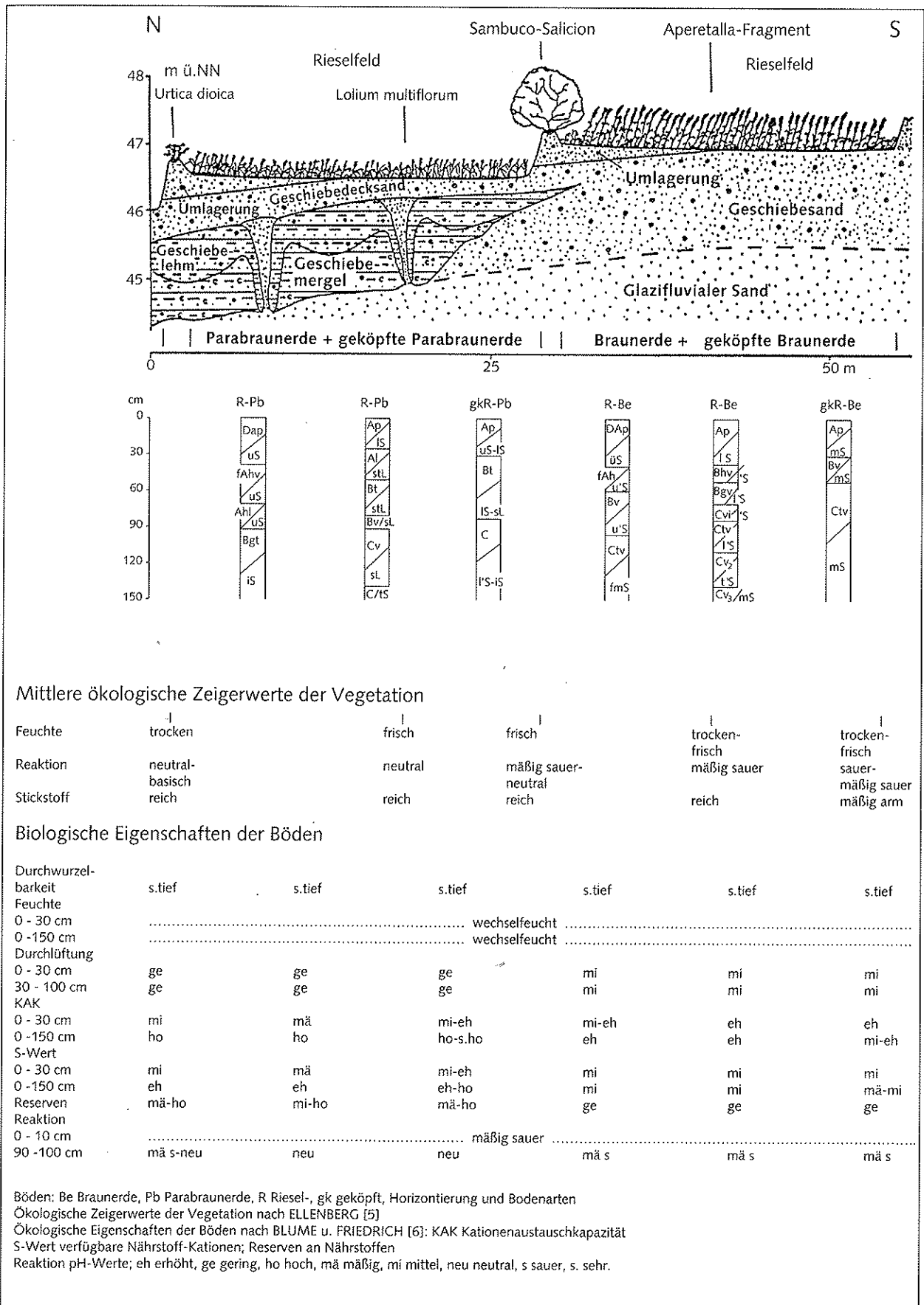


Abb. 1: Morphe und Standorteigenschaften der Rieselfelder in Berlin Gatow (n. GRENIUS [3] sowie BÖCKER et al. [4])

4. Wasser- und Stoffdynamik

In den Jahren 1978 und 1979 wurde die Wasser-, Redox- und Stoffdynamik von Böden mit und ohne Abwasserverrieselung vergleichend seitens MESHREF [9] und JAYAKODY [8] untersucht. Die regelmäßige Abwasserzufuhr führte dazu, daß die Rieselfeldböden stets frisch bis feucht und während der Berieselung kurzfristig naß waren, während benachbarte unberieselte Böden unter den Berliner Klimaverhältnissen (580 mm NS, 8,5°C) häufig austrocknen (Abb. 2). Unter Wald versickerte kaum Wasser (im hydrologischen Jahr 1978/79 nur 40 mm), unter Rieselnutzung hingegen sehr viel (1978/79 über 1.600 mm), das überwiegend mittels Gräben zur Havel gelangte.

Wald- und Ackerböden waren ganzjährig sauerstoffreich, denn ihre Redoxpotentiale lagen stets über 500 mV. Bei den Rieselböden sanken die Redoxpotentiale während des Rieselvorganges ab, trat mithin Sauerstoffmangel auf. Intensität und Dauer der Sauerstoffarmut hingen dabei von der Durchlässigkeit der Böden und der Abwassermenge ab.

Abbildung 3 ist die Wasser-, Redox- und Stickstoffdynamik einer sandigen Braunerde während der Abwasserverrieselung zu entnehmen. Das Überstauen des unter Grünland befindlichen Bodens mit 324 mm Abwasser ließ die Wasserspannungen in kurzer Zeit auf unter 5 mbar absinken, der Boden vernäste mithin vollständig. Bereits wenige Stunden nach Abschluß der Verrieselung stiegen die Wasserspannungen allerdings wieder auf Werte über 45 mbar an: Das vorher vorhandene Bodenwasser wurde vollständig aus dem Boden verdrängt. Die Abwasserzufuhr bewirkte, daß die Redoxpotentiale im Oberboden innerhalb weniger Stunden von über 500 mV auf -120 mV absanken, im Unterboden hingegen nur von 150 mV auf 80 mV. Mit dem Abwasser waren neben organischer Substanz auch 32 mg $\text{NH}_4\text{-N}$ sowie 12 mg N_{org} je Liter zugeführt worden. Die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalte der Bodenlösung stiegen aber selbst im Oberboden nicht über 12 mg/l an: der größte Teil des Abwasser- NH_4 wurde also von Bodenkolloiden absorbiert (und verdrängte dabei andere Kationen von den Austauschern). Die Nitratgehalte der Boden-

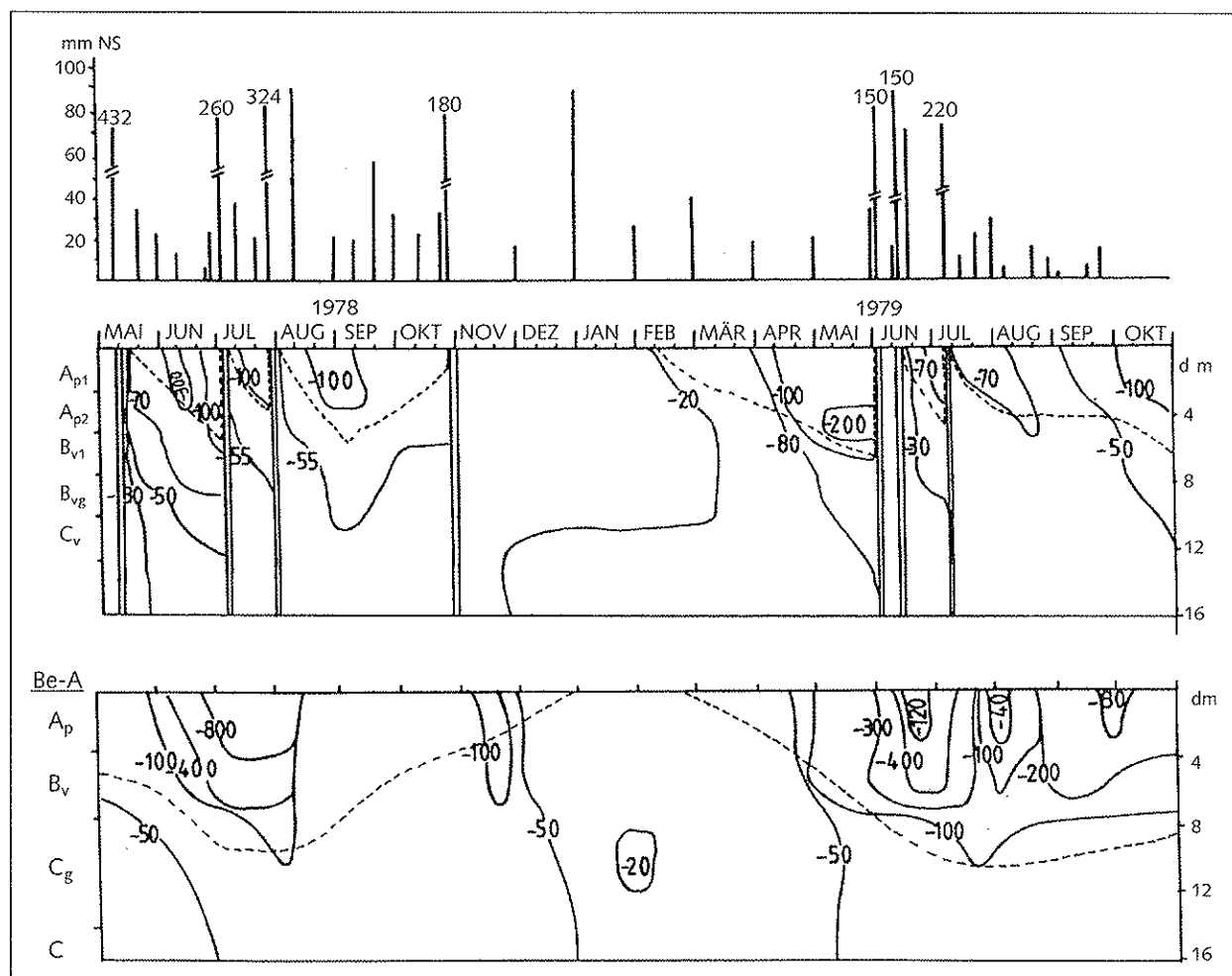


Abb. 2: Jahresgänge der Wassereinnahmen (Niederschläge als Balken, Abwässer in Ziffern und der Wasserspannungen (in mbar) einer berieselten und einer Acker-Braunerde Westberlins (---Wasserscheide; aus JAYAKODY [8])

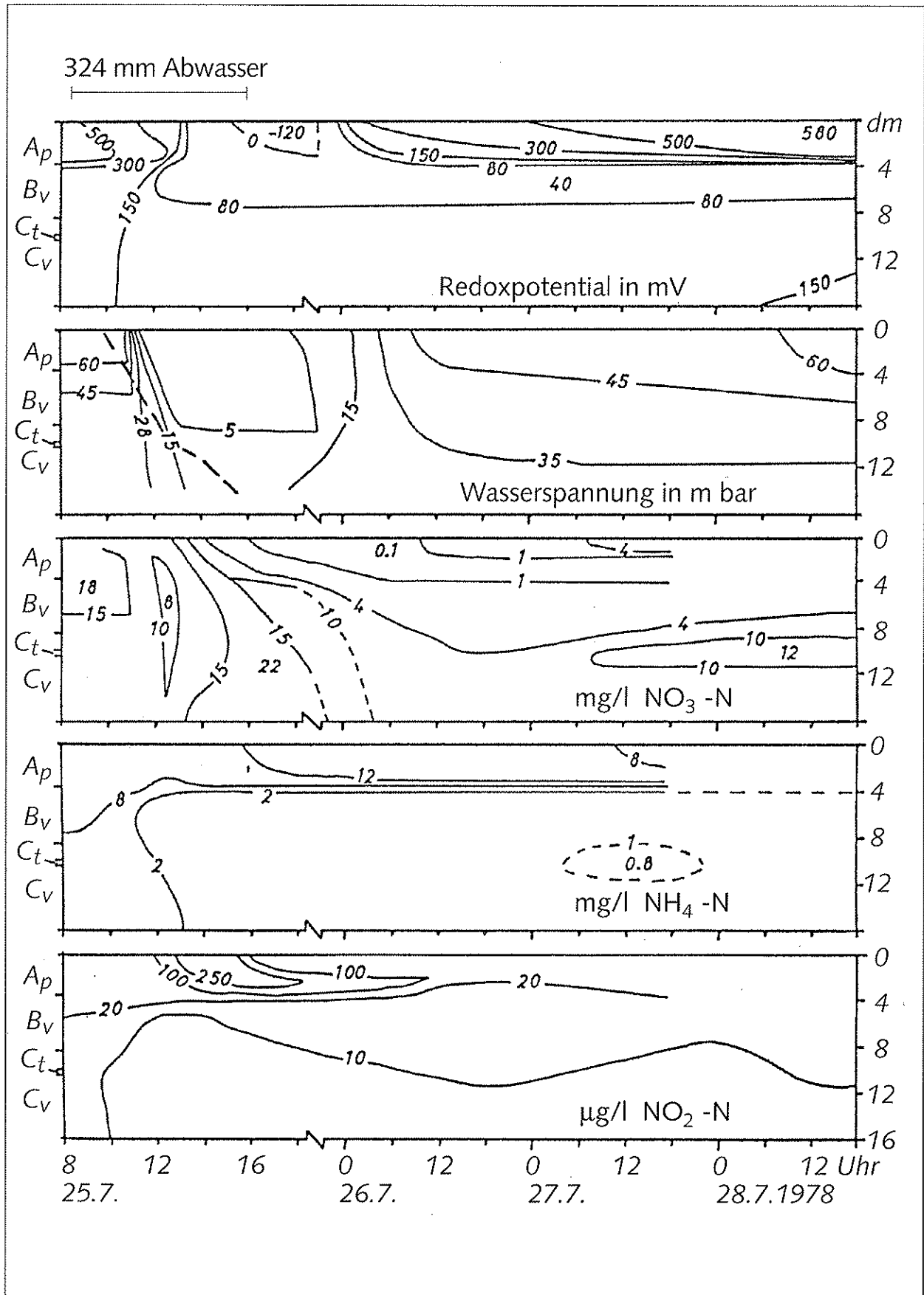


Abb. 3: Änderung der Redoxpotentiale, Wasserspannungen sowie Gehalte gelösten Stickstoffs einer sandigen Braunerde während und nach Berieselung mit Abwasser (mit $\text{mg/l } 32 \text{ NH}_4\text{-N}$, $1,2 \text{ NO}_3\text{-N}$, $0,04 \text{ NO}_2\text{-N}$, $3,1$ gelöstem und $9,1$ partikulärem N_{org} aus BLUME et al. [1])

lösung betragen vor der Berieselung im Oberboden 18 mg NO₃-N/l. Sie sanken dann während der Berieselung zeitweilig auf Werte unter 1 mg/l ab, um nach einigen Tagen wieder anzusteigen. Nitrat wurde mit dem Bodenwasser durch das Abwasser teilweise nach unten verdrängt, und teilweise ging es durch Denitrifikation verloren.

In einem Parallelversuch haben wir Abwasser mit 63 mg/l ¹⁵N-markiertem Nitrat-N (¹⁵NO₃) versetzt und dessen Verbleib ermittelt (BLUME et. al. [10]: fast 20% wurden mit dem Sickerwasser ausgetragen (überwiegend als Nitrat, teilweise aber als Ammonium), fast 80% gingen verloren, und nur wenige % verblieben im Boden, und zwar als Nitrat, als Ammonium und auch in organischer Bindung. Die starken Verluste sind auf Denitrifikation und gasförmiges Entweichen von gebildetem N₂ und N₂O zurückzuführen. Ein Teil des ¹⁵NO₃ wurde aber (durch Mikroorganismen) in organischen Stickstoff überführt und ein Teil sogar bis zum Ammonium reduziert. Bei Abwasserverrieselung findet also neben starken Verlusten durch Denitrifikation auch eine Nitratammonifikation statt.

In dem mit Abbildung 3 dargestellten Versuch stieg zeitweilig die Nitritkonzentration relativ stark an. Der spätere erneute Anstieg der NO₃-Konzentration in der Bodenlösung ist nur damit zu erklären, daß NH₄ (und org. Stickstoff) nitrifiziert wurde. Das ist mit einer Versauerung des Bodens verbunden.

5. Bodenveränderungen durch Abwasserverrieselung

Sandige Braunerden und lehmige Parabraunerden wurden nach 100jähriger Abwasserverrieselung näher analysiert und mit den Eigenschaften entsprechender Böden unter Wald und unter Acker verglichen (BLUME und HORN [11], BLUME et al. [12]). Die untersuchten Geschiebesand-Braunerden und Geschiebemergel-Parabraunerden wurden vor der Berieselung extensiv landwirtschaftlich genutzt. Braunerden vergleichbarer Körnung besitzen unter Forst eine geringmächtige Humusaufgabe, sind schwach podsoliert und enthalten im zweiten Meter dünne Tonbänder, über denen infolge Wasserstaus schwache Rostflecken ausgebildet sind. Die Parabraunerden sind durch braune Tonbeläge im B-Horizont und Kalkanflüge der Aggregatoberfläche im C-Horizont charakterisiert. Die Rieselfelder wurden bei der Anlage horizontal planiert, womit unterschiedliche Ap-Mächtigkeiten innerhalb einer Parzelle entstanden, die bis heute erhalten blieben. Im Oberboden hat die langjährige Abwasserverrieselung zu schwacher Rostfleckigkeit und Bildung schwarzer Konkretionen geführt. Dunkle Schlieren im oberen B-Horizont deuten auf Infiltration humoser Stoffe (Munsell-Farbe des Rieselfeld-Bv 10 YR 5/4 gegenüber 10 YR 5/8 unter Wald). Dränrohrbezogene Tonbänder deuten darauf hin, daß durch Abwasserverrieselung die Ton-

Tab. 2: Eigenschaften Berliner Böden (Angaben je m², aus BLUME und HORN [11])

		0 - 2 dm					2 - 10 dm				
		Körnung	l nFK ¹⁾	% LK ²⁾	pH (CaCl ₂)	kg C _{org}	Körnung	l nFK ¹⁾	% LK ²⁾	pH CaCl ₂	kg C _{org}
Braunerde	Wald	x''mS	15	30	3,5	16	x''mS	38	26	4,2	13
	Rieself.	x' 1S	21	26	5,5	7,6	x'1'S	58	20	5,6	5,8
Para-braunerde	Acker	x' 1S	35	10	6,3	5,3	x'Sl	110	8	6,2	8,4
	Rieself.	x' 1S	25	20	5,5	3,7	x'Sl	78	10	6,5	3,4
		g N _t	g NH ₄ -N	g NO ₃ -N	g P _t	g P _{la}	g N _t	g NH ₄ -N	g NO ₃ -N	g P _t	g P _{la}
Braunerde	Wald	170	6,6	2,6	94	2,5	71	9,2	5,3	180	7,0
	Rieself.	800	21	87	640	27	600	34	25	830	110
Para-braunerde	Acker	290	16	1,7		59	480	48	12		
	Rieself.	390	5,2	8,7	220	20	450	35	15	850	
		g Ca _a	g Mg _a	g K _{la}	g Na _a		g Ca _a	g Mg _a	g K _{la}	g Na _a	
Braunerde	Wald	8,6	0,77	10	1,1		10	2,0	7,0	2,5	
	Rieself.	330	7,2	21	16		440	8,7	14	39	
Para-braunerde	Acker	200	17	28	0,8		1020	110		32	
	Rieself.	77	13	20	14		700	78		180	

¹⁾ pF 2,5 - pF 4,2

²⁾ pF < 1,8

t: Gesamt-,

a: austauschbar

la: laktatlöslich

verlagerung intensiviert wurde. Den Rieselfeld-Parabraunerden fehlt das Kalkmycel im C-Horizont, und schwache Rostfleckigkeit deutet auf zeitweilig reduzierende Bedingungen in Unterboden. Insgesamt sind trotz langer intensiver Abwasserverrieselung die eingetretenen morphologischen Veränderungen aber gering.

Trotz beachtlicher Zufuhr an organischer Substanz enthielten die untersuchten Rieselstandorte weniger Bodenhumus als die Vergleichsböden (Tab. 2): besonders im Vergleich zum Forst, bei dem durch Zersetzungshemmung vor allem Streu angereichert wurde, wird die eiweißreiche organische Substanz des Abwassers im Boden rasch abgebaut. Stickstoff wurde demgegenüber stark angereichert, selbst im Vergleich zu intensiv gedüngten Ackerböden. Das gilt besonders für verfügbaren Stickstoff, dessen Gehalt allerdings nicht nur im Jahreslauf, sondern bereits während eines Rieselvorganges stark schwankt, wie oben erläutert wurde. Die pH-Werte sind gegenüber Waldböden erhöht; sie liegen bei starker Streuung im Jahreslauf bei 5 - 6, obwohl alkalische Abwässer zugeführt werden: Freisetzung von Kohlensäure und Bildung (nach Belüftung) von Salpetersäure sowie wohl auch Schwefelsäure sind die Ursache dafür. An Kationen ist Natrium relativ angereichert. Schwermetalle zeigen ein differenziertes Verhalten: Zink, Blei und Cadmium wurden im Ober- und Unterboden stark angereichert (Tab. 3), Kupfer ebenfalls im Vergleich zur Wald-Braunerde, während hohe Werte der Acker-Parabraunerde mit dem Einsatz Cu-haltiger Spritzmittel zu erklären sind. Demgegenüber sind die Eisengehalte der Oberböden relativ niedrig, und auch Mangan ist in der Parabraunerde unter Rieselnutzung im Vergleich zum Ackerstandort trotz jährlicher Zufuhr mit dem Abwasser weniger stark vertreten. Die besonders niedrigen

Mangengehalte der Wald-Braunerde wurden demgegenüber vermutlich durch sauren Regen verursacht.

Die aufgetretenen Veränderungen wurden zu quantifizieren versucht (s. Tab. 4). Da die Ausgangsgesteine der Böden inhomogen waren, wurde die ursprüngliche Zusammensetzung der einzelnen Horizonte der Böden aus der heutigen Zusammensetzung der unteren C-Horizonte der Wald- und Ackerböden sowie der Ton-Feinschluff-Gehalte ($< 10 \mu\text{m } \varnothing$) unter der Annahme abgeleitet, daß die gröberen Kornfraktionen (infolge hoher Quarzgehalte) die entsprechenden Elemente nur in vernachlässigbar geringen Mengen enthalten. Für die Rieselstandorte ergaben sich beträchtliche Gewinne an Stickstoff, Phosphor, Zink und Kupfer (s. Tab. 4). Die Gewinne an Zn und Cu entsprechen dabei in etwa dem, was nach 100 Jahren Verrieselung erwartet werden kann, sofern 2.400 mm Abwasser jährlich mit einer Konzentration, die im Mittel der Jahre derjenigen von 1978/79 bzw. von Tabelle 1 entspricht, verrieselt worden wären. Entsprechende P-Gewinne sind wesentlich niedriger, da offenbar die P-Konzentration vor 1950 geringer war, als P-haltige Waschmittel noch keine Rolle spielten. Außerdem wurde sicher ein nennenswerter Teil der zugeführten Phosphate mit dem Sickerwasser ausgetragen. Verluste sind an Eisen und Mangan aufgetreten: anoerobe Verhältnisse während der Berieselung (s. Bild 3) haben wohl sogar Verluste der Bodenvorräte verursacht. Die Schwermetallgehalte des Ackerstandortes sind durchweg gestiegen, wahrscheinlich auch durch langjährige Düngung mit Thomasphosphat sowie durch den Eisenabrieb beim Pflügen. Böden mit Abwasserverrieselung sind mithin nährstoffreiche, wechselfeuchte und periodisch luftarme Standorte (Abb. 1).

Tab. 3: Schwermetalle in Berliner Böden (Angaben je m^2 , aus BLUME und HORN [11])

	0 - 2 dm						2 - 10 dm					
	kg Fe_t	g Fe_a	g Mn_t	g Mn_a	g Cu_t	g Cu_a	kg Fe_t	g Fe_a	g Mn_t	g Mn_a	g Cu_t	g Cu_a
Be W	1,2	9,3	25	2,2	2,5	0,10	3,8	3,5	94	2,8	3,7	0,12
R	1,7	1,2	53	7,5	11	0,20	5,3	4,4	160	23	17	0,48
Pb A	2,8	3,2	160	34	6,8	0,24	19,9	2,7	560	28	17	0,34
R	1,7	1,1	29	2,9	3,6	0,17	16,7	8,6	210	13	19	0,43
	g Zn_t	g Zn_a	g Pb_t	g Pb_a	g Cd_t	g Cd_a	g Zn_t	g Zn_a	g Pb_t	g Pb_a	g Cd_t	g Cd_a
Be W	9,0	0,45	13	1,3	0,075	0,015	21	0,64	26	1,7	0,21	0,03
R	100	3,1	230	6,8	3,3	0,20	120	5,3	210	17	4,8	0,46
Pb A	27	0,56	22	1,3	0,10	0,022	79	0,76	0,39	2,0	0,30	0,05
R	41	0,93					110	1,5				

Be: Braunerde Pb: Parabraunerde W: Wald A: Acker R: Rieselfeld
t: Gesamtgehalte a: wasserlöslich und austauschbar

Tab. 4: Mögliche Elementbilanzen Berliner Böden unterschiedlicher Nutzung (aus BLUME und HORN [11]) (in g/m²)

Ort		N	P	Fe	Mn	Zn	Cu
Braunerde Wald 0 - 130 cm	ursprünglich	<1	360	6300	220	52	5,3
	heute	340	320	6100	150	34	6,7
	Verlust/Gewinn	+340	-40	-200	-70	-18	+1,4
Parabraunerde Acker 0 - 130 cm	ursprünglich			30300	610	110	25
	heute			30800	910	130	30
	Verlust/Gewinn			+500	+300	+20	+5
Braunerde Rieselfeld 0 - 130 cm	ursprünglich	<1	550	9600	330	80	8,2
	heute	1500	1450	8400	210	270	31
	Verlust/Gewinn	+1500	+900	-1200	-120	+190	+23
Parabraunerde Rieselfeld 0 - 130 cm	ursprünglich	<1	570	26100	530	97	21
	heute	500	1082	22400	310	175	30
	Verlust/Gewinn	+500	+512	-3700	-220	+78	+9
Rieselfelder	theoret. Gewinn*)		3400	270	15	81	14

*) Annahme einer Abwasserzufuhr von 240.000 l/m² in 100 Jahren der mittleren Zusammensetzung von 1978/79 (s. Tab. 1)

6. Veränderungen der Biozöosen (nach SUKOPP [2])

Die **Vegetation** wurde durch die Berieselung wesentlich beeinflusst, wobei Bodenform und Kulturart weitere Differenzierungen bewirkten (Abb. 4). Bei Grünlandnutzung entstanden artenarme Reinbestände von Quecke (*Agropyron repens*) und Welschem Weidelgras (*Lolium multiflorum*). Auf Hackfruchtäckern und Gemüsefeldern dominierten Franzosenkraut (*Galinsoga parviflora*), Weißer Gänsefuß (*Chenopodium album*), Vogelmiere (*Stellaria media*), Hirtentäschel (*Capsella bursa-pastoris*) und rote Taubnessel (*Lamium purpureum*). Auf Maisfeldern wuchsen Zweizahn (*Bidens frondosa*), Hühnerhirse (*Echinochloa crus-galli*), Spießmelde (*Atriplex latifolia*) und Roter Gänsefuß (*Chenopodium rubrum*). Auf den Wällen waren Brennessel (*Urtica dioica*) und Holunder (*Sambucus nigra*) stark vertreten, während Arten nährstoffärmerer, trockener Standorte weitgehend fehlten.

Auf den berieselten Flächen war die Vielfalt an Arten durch ein Überangebot an Wasser und Nährsalzen zurückgedrängt. Im Gesamtsystem Rieselfeld mit den Wällen, Wegrändern, Hecken und Waldstreifen war hingegen die gleiche Zahl an Arten (309 Farn- und Blütenpflanzen) vertreten wie im Bereich der benachbarten Gatower Ackerflur (296 Arten). Üppiger Wuchs war kennzeichnend für Kultur- und Wildpflanzen. Insbesondere bei Mais traten teilweise Chlorosen auf, die durch Zinküberschuß verursacht wurden.

Mit 25 Arten wurden fast die Hälfte der in Westberlin vertretenen **Säugetierarten** nachgewiesen. Stark

vertreten und charakteristisch waren dabei die Brand-, Rötel-, Gelbhals- und Waldspitzmaus, die allerdings vorrangig in den Wällen an Wegrändern und in den Gehölzstreifen lebten (ELVERS und ELVERS [13]).

In keinem Gebiet Westberlins wurden mehr **Vogelarten** festgestellt als im Gatower Rieselfeld. Neben Feldsperling und Amsel waren vor allem die Dorngrasmücke und Sumpfrohrsänger stark vertreten. Von großer Bedeutung waren die Rieselfelder für durchziehende Watvögel (Limikolen) mit 29 Arten wie Regenpfeifer, Bekassine, Austernfischer, Uferläufer und Wasserläufer. Deren Zahl war in den letzten Jahrzehnten mit abnehmender Rieselhäufigkeit rückläufig.

Die Arten- und Individuenzahlen an Kleinsäugetern, Brutvögeln und durchziehenden Watvögeln ist auf dem Rieselfeldgürtel rings um die Stadt noch deutlich höher als in Gatow, wobei auch viele seltene Arten der Roten Listen vertreten sind.

Auch **Kleinarthropoden** waren in einer sandigen Riesel-Braunerde in ähnlicher Größenordnung vertreten wie unter benachbartem Kiefernforst, allerdings mit einem relativ hohen Anteil an Jungtieren (Tab. 5).

Rieselfelder mit ihren Wällen, Wegrändern und Gehölzstreifen sind insgesamt durch eine typische, an die feuchten, nährstoffreichen Standortbedingungen angepaßte Biozönose mit großer Artenvielfalt und vielen gefährdeten Pflanzen- und Tierarten charakterisiert, die sich nur durch die Fortdauer einer Berieselung erhalten ließe.

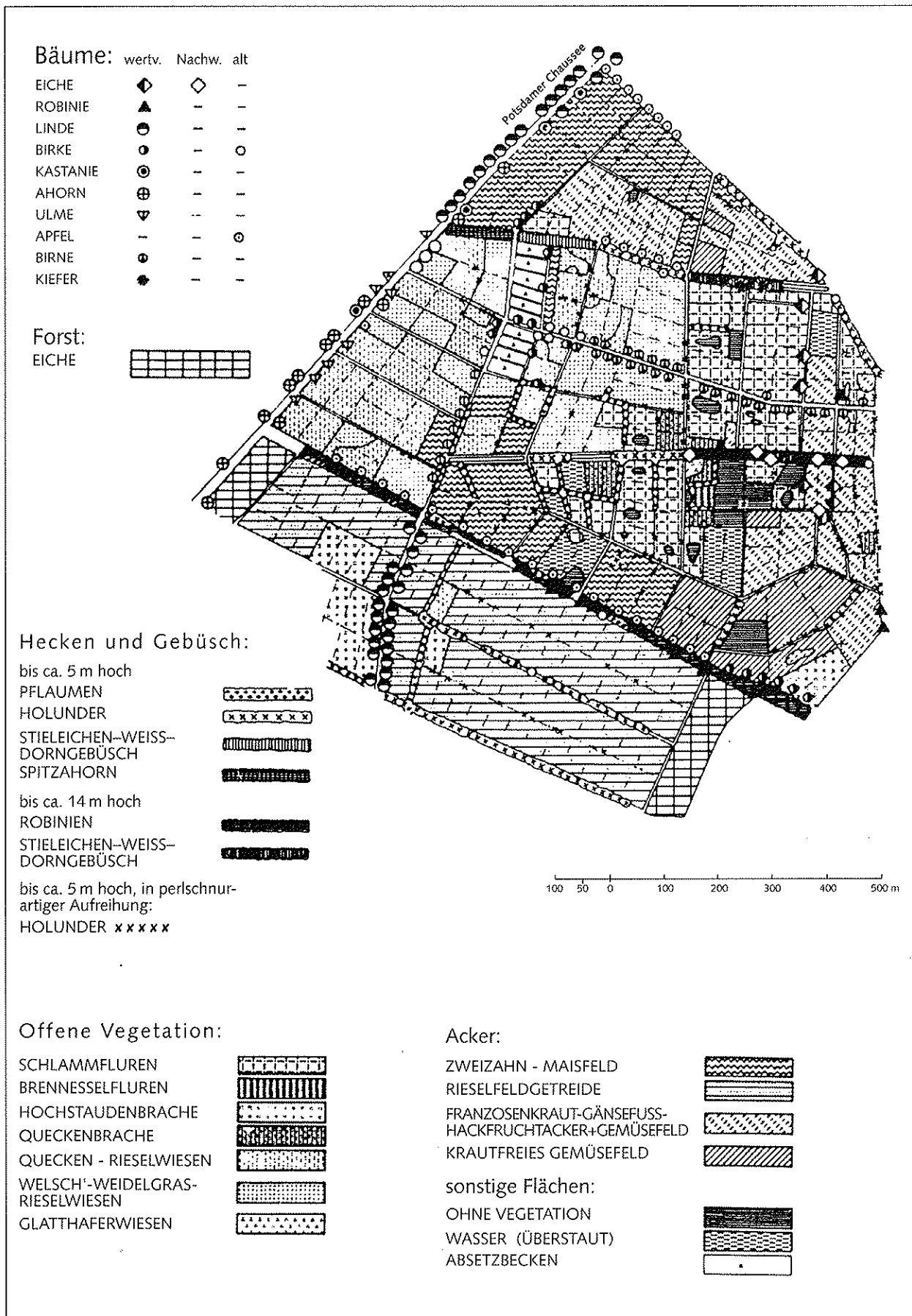


Abb. 4: Vegetationskarte der Rieselfelder in Karolienhöhe (Berlin-Gatow) 1974 (aus SUKOPP et al. [10])

Tab. 5: Tiefenverteilung und Anzahl der Kleinarthropoden zweier sandiger Braunerden in Berlin-Gatow (aus WEIGMANN et. al. [15])

Anzahl	Forst			pro m ²	Rieselwiese			pro m ²
	pro I Boden	4-8	8-12 cm		pro I Boden	4-8	8-12 cm	
Tiefe	0-4	4-8	8-12 cm		0-4	4-8	8-12 cm	
ACARI:								
Oribatida	513	2		20540	313	73	19	16200
Gamasides	45			1800	53			2120
Prostigmata	286	10	2	11900	16	10		1040
Astigmata	9			330	63			2520
div. Jungtiere					273	7	3	11320
INSECTA:								
Collembola	68	4		2780	147	3	16	6640
Protura	8			320				
Coleoptera-Larven	3			120	6			240
Diptera-Larven	5			200				
Thysaroptera	56	3		1660	7			280
Wurzelläuse	3			120				
Summe	996	16	5	39770	878	93	38	40360

Literatur

- [1] BLUME, H.-P.; HORN, R.; ALAILY, F.; JAYAKODY, A.; MECHREF, H. (1980): Sandy Cambisol functioning as a filter through long-term irrigation with wastewater. *Soil Science* 130, 186-192
- [2] SUKOPP, H. (Hrsg. 1990): *Stadtökologie - Das Beispiel Berlin*. D. Reimer, Berlin
- [3] GRENIUS, R. (1987): Die Böden Berlins (West); mit Karte der Bodengesellschaften. Diss. Techn. Univ. Berlin
- [4] BÖCKER, R.; GRENIUS, R.; BLUME, H.-P.; SUKOPP, H. (Red.): *Stadtökologische Raumeinheiten von Berlin (West)*; Inst. f. Ökologie, Techn. Univ. Berlin; in Vorbereitung
- [5] ELLENBERG, H. (1979): *Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas*. E. Goltze, Göttingen
- [6] BLUME, H.-P.; FRIEDRICH, F. (1979): *Bodenkartierung, Standortbewertung und Ökoplanung*. Verhandl. Ges. Ökologie 7, 145-152
- [7] HAHN, H.; LANGBEIN, F. (1928): *50 Jahre Berliner Stadtentwässerung 1878 - 1926*. A. Metzner, Berlin
- [8] JAYAKODY, A. (1981): *Stickstoffdynamik Berliner Böden unter Wald-, Acker- und Rieselwiesennutzung*. Diss. Techn. Univ. Berlin
- [9] MESHREF, H. (1981): *Schwermetallodynamik Berliner Böden unter Wald-, Acker- und Rieselnutzung*. Diss. TU Berlin
- [10] BLUME, H.-P.; JAYAKODY, A.N.; BECKER K.W.; MEYER, B. (1984): Nitratammonifizierung im Boden mit Abwasserverrieselung. *Z. Pflanzennähr. Bodenk.* 147, 309-315
- [11] BLUME, H.-P.; HORN, R. (1982): Belastung und Belastbarkeit Berliner Rieselwiesen nach einem Jahrhundert Abwasserverrieselung. *Z. f. Kulturtech. u. Flurbereinigung* 23, 236-248
- [12] BLUME, H.-P. (Hrsg. 1981): *Typische Böden Berlins*. Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges. 31, 1-350
- [13] ELVERS, H.; ELVERS, K. (1985): Die Kleinsänger der Gatower Rieselwiesen. *Berliner Naturschutzbl.* 29, 39-46
- [14] SUKOPP, H.; BLUME, H.-P.; ELVERS, H.; HORBERT, M. (Red., 1980): *Beiträge zur Stadtökologie von Berlin (West)*. Landschaftsentw. u. Umweltforsch. 3, Univ. Berlin
- [15] WEIGMANN, G.; BLUME, H.-P.; SUKOPP, H. (1978): *Ökologisches Großpraktikum als interdisziplinäre Lehrveranstaltung Berliner Hochschulen*. Verhandl. Ges. Ökologie 6, 487-494

Prof. Dr. Hans-Peter Blume
Christian-Albrechts-Universität
Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde
24098 Kiel

Anorganische Schadstoffe – Zustand und Dynamik

Oswald Blumenstein, Universität Potsdam

1. „Zustand“ und „Dynamik“ von Geosystemen - ein kurzer Exkurs

Ein Automobil kann seinen Systemzweck, der Fortbewegung zu dienen, nur erfüllen, wenn es aus seiner Umgebung mit dem Treibstoff eine energiereiche Substanz erhält. Der Prozeß der Ortsveränderung

wird dann durch einen Energie- und Stoffdurchfluß realisiert, der vom Tank bis hin zum Auspuff stattfindet, verbunden mit vielfältigen Energieumsatzprozessen. Ein bestimmter Anteil energiereicher Substanzen muß jedoch im System gespeichert und damit potentiell verfügbar bleiben (Tank, Kraftstoffleitungen, Vergaser und, in anderer Form, auch der Batterie).

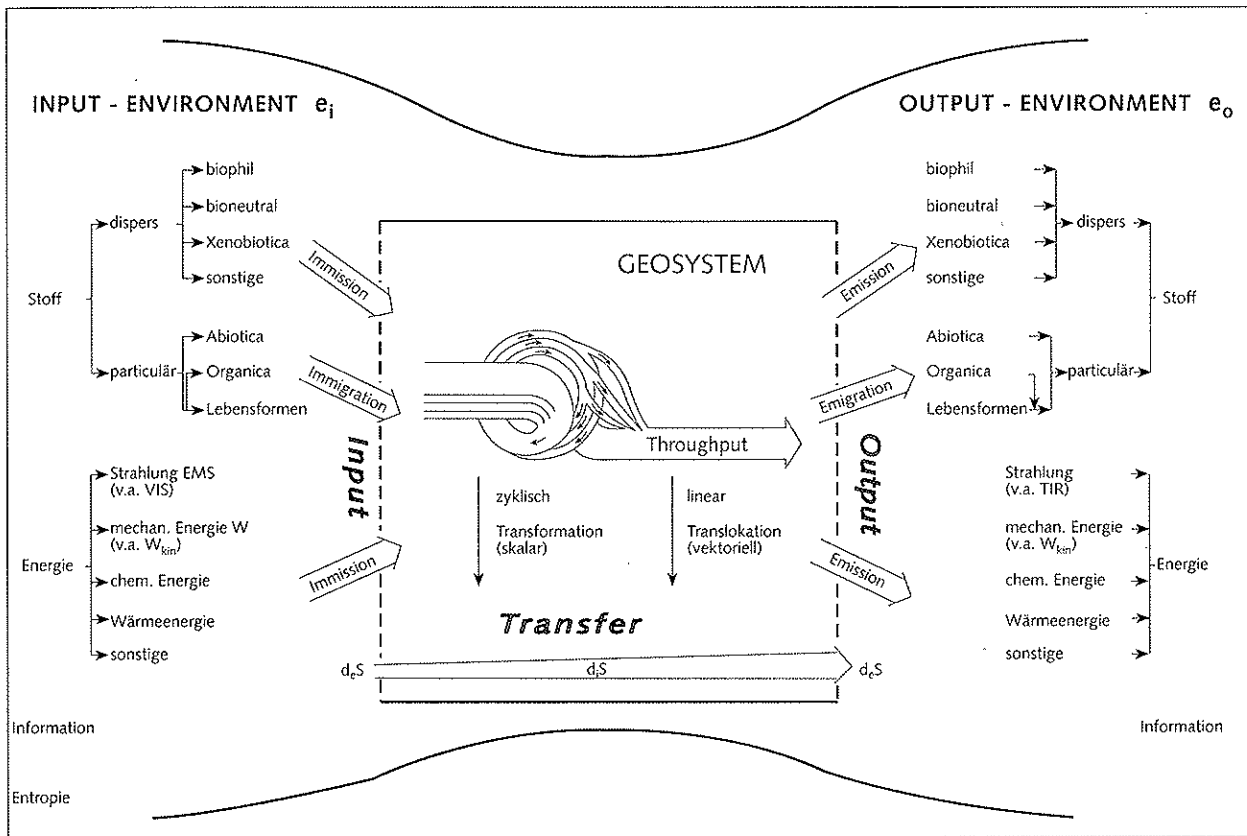


Abb. 1: Das Geosystem als offenes System (Entwurf: O. Blumenstein)

Geoökologische Prozesse folgen diesem Grundprinzip: sie sind stets mit Energieumsetzung oder/und -übertragung verbunden. So hat deshalb das Geosystem „Rieselfeld“ die Eigenschaft, Energie und Stoff in bestimmten Formen auszutauschen. Da ständig Stoff-, Energie- und Informationsflüsse über den Grenzraum hinweg in die Umgebung der Rieselfelder stattfinden, sind diese, wie auch die Automobile, als offene Systeme aufzufassen (vgl. Abb. 1).

Sie existieren als raum-zeitliche Strukturen weit ab von einem thermodynamischen Gleichgewicht, das Prozeßverhalten ist aus diesem Grund nicht mehr mit linearen Gleichungen zu beschreiben.

Wird in unserem Beispiel das Fahrzeug mit Standgas betrieben, so resultiert aus dem kontinuierlichen Durchfluß eine gleichbleibende Bewegung, welche für den Nutzer nach einiger Zeit kaum noch wahrnehmbar ist, obwohl in diesem „Fließgleichgewichtszustand“ innerhalb des Systems und gegenüber seiner Umgebung vielfältige Vorgänge ablaufen.

Demzufolge tritt ein Fließgleichgewicht (stationärer Zustand, steady state), bei dem die interne Struktur stabil und makroskopisch unveränderlich bleibt, in Geosystemen ein, wenn zwischen den Trends zur Speicherung bzw. zum Durchfluß von Stoff und Energie annähernde Gleichförmigkeit herrscht. Unter seinen Bedingungen kann eine weitgehende „Unveränderlichkeit“ aufrecht erhalten werden. Aus

diesem „stationären Zustand“, der das „Durchschnittsverhalten“ darstellt, resultiert Stabilität: das Geosystem verläßt ihn nicht spontan.

Hingegen können markante Ungleichförmigkeiten im Stoff- und Energiedurchfluß Systemänderungen bewirken. Der rasche Übergang von einem Fließgleichgewichtszustand in einen anderen erzeugt Instabilität. Hierdurch ist in vielen Fällen auch die Prognostizierbarkeit des Systemverhaltens verringert.

Um bei dem gewählten Beispiel zu bleiben: bei Verstärkung des Kraftstoffdurchflusses infolge Durchtreten des Gaspedals oder Verringerung der Intensität durch Wegnahme des Fußes werden, auf Grund der Beschleunigung bzw. Verlangsamung, die Zustandsänderungen wahrnehmbar. Treten andere Energieformen irrelevanten Beträgen (z.B. mechanische Bremskraft) oder/und besondere Randbedingungen (z.B. Glätte) auf, dann ist die Anwendung des erlernten Steuerungsalgorithmus' oft nicht mehr möglich.

Art und Umfang der stofflich-energetischen Einflüsse der Systemumgebung werden durch einen oder mehrere „äußere“ Parameter, welche den makroskopischen Zustand des Systems kontrollieren, repräsentiert. Sie erhalten deshalb die Bezeichnung Kontrollparameter. Im Fall des gewählten Beispiels aus dem Alltagsleben wären dies u.a. die Menge und der Energiegehalt des Kraftstoffes.

Die Kontinuität einer Kontrollparameteränderung über eine kritische Größe hinaus kann zu diskontinuierlichen Veränderungen im System führen, welche durch Instabilität zwischen zwei relativ stabilen Dynamiken gekennzeichnet sind. Während im Regelfall die meisten Variablen des komplexen Systems stabil bleiben, werden einige andere instabil und beeinflussen die übrigen in ihrer Dynamik soweit, daß man von „Versklavung“ (slaving) spricht. Sie werden deshalb als Ordnungsparameter bezeichnet, denn ihnen kommt in der Systemdynamik eine entscheidende Bedeutung zu. Man erhält eine drastische Reduzierung der Freiheitsgrade, wodurch ein metrischer bzw. mathematischer Ansatz der Darstellung einer komplexen Dynamik ermöglicht werden kann.

Versucht man am Ende dieses Abschnittes noch einmal eine Parallele zum Automobil herzustellen, dann könnte die Motordrehzahl als Ordnungsparameter gelten. Weil sie sofort auf die Änderung des Kontrollparameters, sprich die zur Verbrennung gelangende Kraftstoffmenge reagiert, ist sie recht instabil. Andererseits versklavt sie den Zustand aller anderen sich bewegenden Teile. Ihre Kenntnis verbessert wesentlich die Beschreibung des Fahrverhaltens des Automobils.

2. Die Zustandsänderung des Landschaftsraumes durch die Abwasserbodenbehandlung

Das Rieselfeldgebiet Berlin-Süd befindet sich auf einem Grundmoränenareal, welches als Teltower Platte bezeichnet wird. Seit 1874 werden in diesem Raum die Flächen für die Abwasserbodenbehandlung genutzt. Bis zu diesem Zeitpunkt wurde er weitgehend extensiv bewirtschaftet, zum Teil waren Waldflächen vorhanden. Die genaue Beaufschlagungsmenge je Flächeneinheit ist für den Gesamtzeitraum nicht exakt feststellbar, aber noch bis vor einigen Jahrzehnten wurden zu Teil bis zu 3.000 mm pro Jahr verrieselt.

Mit der Verringerung der „Natürlichkeit“ des Systems erfolgte eine Zunahme des „Hemerobiegrades“, d.h. die Bedeutung des natürlichen Materiedurchflusses ist zugunsten eines anthropogenen (durch den Menschen verursachten) vermindert worden. Es entstand ein irreversibler Trend der Entwicklung (vgl. hierzu [1]).

Die Dissipation (Streuung) der Nettoflüsse wurde durch den enormen fluiden und partikulären Stoffinput ausgelöst. Er hatte Struktur- und Milieuveränderungen zur Folge, woraus eine Neuartigkeit der Systemdynamik resultierte.

Theoretisch läßt sich diese durch die Änderungen der Kontrollparameter Konzentration c bzw. Masse m je Raumeinheit V , realisiert durch

- "Porenwasserfüllung" ($c \text{ H}_2\text{O}$),
- "Redoxpotential" ($c e^-$) und
- "Bodenacidität" ($c \text{ H}^+$) sowie
- allochthoner (raumfremder) Ionen und Moleküle in Form von
 - * biogenen Organica (Fette, Eiweiße, Kohlenhydrate),
 - * organischen Xenobiotica (PAK, PCB, DDT und Analoga),
 - * anorganischen Stoffspecies wie Nährstoffe (vor allem N- und P- Komponenten), Schwermetalle und inerte Stoffe,

begründen.

Im Ergebnis sind im Bodenkompartment eine

- Anreicherung der organischen Bodensubstanz (OBS) und Änderungen ihrer Mikrostruktur,
- Akkumulation von N- und P-Komponenten, organischen Schadstoffen und Schwermetallen (insbesondere Cd, Cu, Hg, Pb und Zn); punktuell auch der Elemente As und Ba,
- Veränderung der Dynamik geogener Elemente (Fe, Mn, Al, Ca etc.)

nachweisbar.

Die Beaufschlagungsintensität nahm allerdings mit zunehmendem Gehalt an bindigem Material in oberflächennahen Bereichen der Areale ab; genutzt wurden vorwiegend die Substrate mit günstigen bodenhydraulischen Eigenschaften. So haben sich insbesondere auf der Bodenart Sand typische „Hydrodepodsole“ entwickelt. Die Fixierung des benannten Stoffpools erfolgte vor allem in und an der OBS. Doch nicht nur der gesamte Bodenchemismus, sondern auch die pedophysikalischen Eigenschaften werden von ihr bestimmt. Sie ist deshalb als der wichtigste Ordnungsparameter des Geosystems „Rieselfeld“ anzusehen. Aus der Entstehung der neuen Strukturelemente resultieren neue Raumbeziehungen, welche sich in spezifischen Anordnungsmustern ausdrücken.

Mit der Inbetriebnahme der Abwasserentsorgungsanlagen wurde der Raum überdies durch Artefakte (künstliche Landschaftselemente) überprägt. Da das technologische Prinzip der Grabeneinstaubewässerung realisiert worden ist, erhielt der Raum im makroskaligen Dimensionsbereich eine mosaikartige Gliederung durch regelhaft angeordnete technogene Elemente.

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% Flächenanteil besitzen und
 - separiert berieselt werden können;
- (2) vom Abwasser direkt beeinflusste

- Zuführungsgräben und deren Randbereich mit ca. 4% Flächenanteil, welche regelmäßig geräumt werden mußten, ihre Gesamtbreite beträgt 4-5 m;
- Zwischenabsetzbecken mit etwa 0,3% Flächenanteil, in welchen bis 75% der Feststoffe sedimentiert und danach wieder ausgebaggert, deponiert oder in Schlamm-trockenbeeten zwischengelagert wurden; ihre Größe beträgt 50 -2.000 m²;

(3) vom Abwasser nicht beeinflusste Raumelemente mit etwa 10% Flächenanteil wie

- die als Vorflut wirksamen Entwässerungsgräben,
- Wirtschaftswege,
- Randstreifen mit Flurgehölzen sowie

(4) Bauten und Rohrsysteme.

Man kann deshalb von einer typischen Rieselfeldlandschaft sprechen, welche sich wesentlich von den Nachbararealen unterscheidet. Diese anthropogen geprägte Raumgliederung muß bei einer umfassenden Darstellung des Zustandes und der Dynamik des Systems sowie bei der Ableitung planungsrelevanter Aussagen bzw. der Simulation prognostischer Szenarien Berücksichtigung finden. Im Folgenden sollen die genannten Aspekte in Hinblick auf den fixierten anorganischen Schadstoffpool, vor allem der Schwermetalle, eine weitere Unterlegung erfahren.

3. Der Belastungszustand - die Dynamik im Fließgleichgewicht

3.1. Das Horizontalmuster der Schad- und Laststoffverteilung

Infolge seiner strukturellen (stereometrische Filterwirkung), milieubedingten (pH/Eh-Stabilitätsfelder) und reaktiven (Sorption, Komplexbildung, Metabolisierung) Eigenschaften entwickelte sich der Boden zur wichtigsten Senke für die eingetragenen Stoffkomponenten. Neben den Schlamm-trockenbeeten, Intensivfilterflächen und Zwischenabsetzbecken stellen die Einleiterbereiche der Tafeln und die Zuleitersysteme hochkontaminierte Areale dar.

In den Oberbodenbereichen (0-35 cm unter Flur) treten relevante Grenzwertüberschreitungen der Schwermetalle auf. Als typische Gehalte können in diesem Zusammenhang gelten:

Cadmium	5 - 20 ppm
Zink	500 - 2.000 ppm
Kupfer	100 - 150 ppm
Blei	200 - 250 ppm.

Die Nickel- und Chromkonzentrationen erreichen kaum die Grenzwertbereiche, eine Ausnahme bilden die Areale um die im Raum vorhandenen Deponiestandorte, wo geoökologisch bedenkliche Akkumulationen auftreten (Cr bis 2.000 ppm, Ni bis 1.000 ppm).

Als Ergänzung sollen auch die Maximalkonzentrationen der anderen Schwermetallspecies genannt werden. Sie liegen für

Cadmium	etwa bei	70 ppm
Zink	etwa bei	3.000 ppm
Blei	etwa bei	750 ppm
Kupfer	etwa bei	540 ppm.

Die Raumstruktur im mesoskaligen Dimensionsbereich wird durch das Verteilungsmuster der organischen Bodensubstanz (OBS) geprägt. Deren Akkumulation ist sowohl auf das zeitweilig herrschende anaerobe Milieu als auch den direkten Input partikulärer sowie gelöster Organica zurückzuführen. Die quantitativen Charakteristika zeigen eine deutliche Abhängigkeit von Raumelement und -lage. Untersuchungen von GRUNEWALD [2] belegen, daß hohe Akkumulationsraten möglich sind.

Tab. 1: Raumtypische Gehalte an organischer Bodensubstanz OBS (% Glühverlust)

Raumelement	Probenanzahl	arith. Mittel	Min.	Max.
Rieseltafel aktiv	447	4,6	1,9	17,4
Rieseltafel < 10a umgestaltet	51	2,8	1,5	6,9
Absetzbecken	36	35,5	0,9	68,5
Zuleiter	29	10,4	0,5	41,1
Vergleichsfläche	5	2,3	1,0	4,5

Im Ergebnis ihrer strukturanalytischen Untersuchungen der organischen Bodensubstanz schlußfolgerten LEINWEBER bzw. BECHMANN, KLINNERT und FRIEDRICH (in [3]), daß das Probenmaterial deutlich gerichtete Veränderungen (Rieselfeld > ehemaliges Rieselfeld) erkennen läßt. So treten bei ersterem höhere Gehalte an OCH₃ und CO- bzw. CN-C und an aliphatischem C auf, relativ wenige Kohlenhydrate, Ligninbausteine und Alkylaromaten, jedoch mehr aliphatische Verbindungen (Lipide, Sterole und Fettsäuren). Überdies wurden in den Oberbodenproben aus einer aktiv beaufschlagten Fläche überdurchschnittlich viele Peptide angereichert. Die ermittelten Spektren zeigen gewisse Ähnlichkeiten mit denen von unter Luftabschluß gebildeten Substraten. Im Vergleich mit Bodenproben aus einem aktiven Rieselfeld weisen Substrate einer Vergleichsfläche verringerte C- und N-Gehalte sowie der flüchtigen Anteile dieser Komponenten auf. Dieses Ergebnis stimmt mit dem C/N-Verhältnis überein.

Die thermogravimetrischen Untersuchungen von FRIEDRICH, BECHMANN & GRUNEWALD (in [3]) konnten im Bodensubstrat eines Absetzbeckens einen hohen Anteil leichtflüchtiger und schwach an mineralische Trägersubstanzen gebundener Organica feststellen. Auch in der OBS der Substrate aus dem Einleiterbereich ist dieser Anteil an Organica bemerkenswert hoch.

Im Prozeß der Humifizierung erfolgt einerseits ein Abbau makromolekularer Strukturen, andererseits aber auch der Einbau kleiner Moleküle in das Huminstoffgerüst.

Weitere Einzelheiten der strukturchemischen Charakteristica werden in [3] diskutiert.

Es bestehen also erhebliche Unterschiede sowohl in der molekularen Zusammensetzung als auch der Stabilität der OBS zwischen naturnahen Böden und Rieselfeldsubstraten.

Deren Dominanz als

- Austauscher,
- Komplexbildner,
- integrierende Molekularstruktur biophiler Elemente,
- Nährsubstrat für das Mikroedaphon sowie
- bodenhydraulisch aktives bzw. aggregatstabilisierendes Element

bewirkt eine Raumidentität mit den Anordnungsmustern der Nähr-, Last- und Schadstoffe, überdies auch der Mikrobionta und der Vegetation. Eindeutig kann deshalb um den Einleiterbereich herum ein konzentrisches Anordnungsmuster nachgewiesen werden, zurückzuführen auf die mit dem Divergenzeffekt einhergehende Verringerung der kinetischen Energie des Beaufschlagungswassers. Positiv rückkoppelnd wirken die erhöhte Feldkapazität, Porendestabilisierung, Kolmationseffekte sowie eine technologisch bedingte, unzureichende Abdichtung, die eine längere Porenwasserfüllung während des Beaufschlagungsprozesses benachbarter Areale ermöglicht. Dieses Dränagewasser ist auch Ursache für die höheren Gehalte an organischer Bodensubstanz, welche sich auf den Tafeln bandförmig, parallel den Zuleitergräben entwickeln. Auf dieser Basis konnten mittels Rasterbeprobung in verschiedenen Maßstabsbereichen die Gesetzmäßigkeiten der räumlichen Verteilung von Last- und Schadstoffen herausgearbeitet werden. Einen optischen Eindruck vermittelt Abbildung 2.

Prinzipiell ist die Erfassung dieser Anordnungsmuster auch mittels des Methodenspektrums der Geofernerkundung sowie geophysikalischer Methoden möglich [4]. Infolge der Existenz negativer Rückkopplungseffekte bleibt 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 im gesamten Bodenbereich relativ stabil. Gleiches läßt sich über die Bodenreaktion aussagen. Erwähnt werden soll noch, daß im subtropischen Maßstab Aggregationen von organischer Bodensubstanz auftreten können, welche erhebliche Last- und Schadstoffkonzentrationen aufweisen. Dieses Phänomen ist hinsichtlich seiner

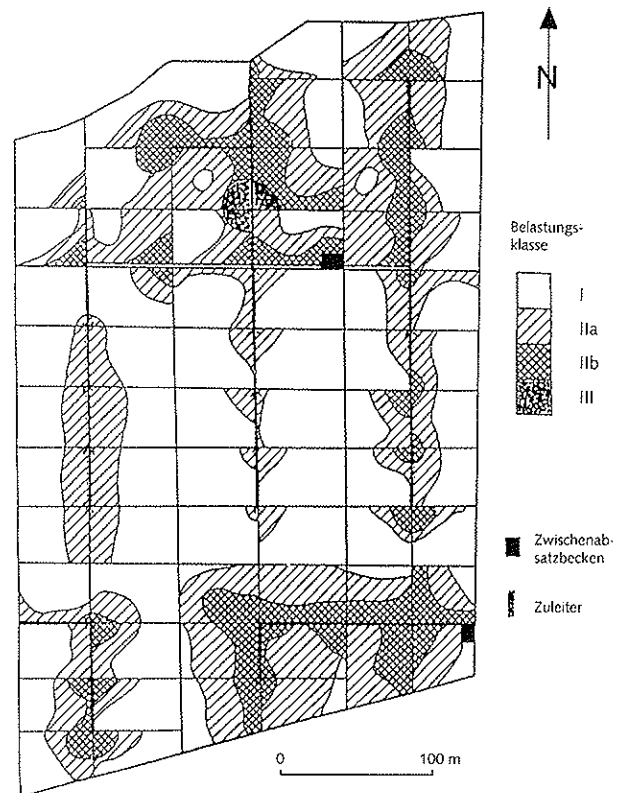


Abb. 2: Typische Rastermuster der Verteilung der organischen Bodensubstanz sowie der Last- und Schadstoffe (Entwurf: K. Grunewald)

Genese und Regelmäßigkeit nicht weiter untersucht worden. Es existieren bei den Rastermustern der Schadstoffe keine überregionale Gradienten, vielmehr ist deren Verteilung Ausdruck lokaler und topischer Spezifika, in enger Verknüpfung mit den in situ vorhandenen technogenen Bedingungen.

Die Sedimente der Ableitergräben sind sowohl Indikatoren für deren Funktion als auch für ihre Wirksamkeit als potentielle Quelle. Sie weisen relevante Kontaminationen durch Quecksilber und Cadmium auf. In Richtung des Hauptvorfluters ist bisher keine signifikante Abnahme der Konzentrationen festgestellt worden.

3.2 Das Vertikalmuster der Schad- und Laststoffverteilung

Die vertikale Verteilung der Last- und Schadstoffgehalte ist infolge der agrotechnischen Bearbeitung im Oberboden relativ homogen, nur hier treten in der Regel die benannten Grenzwertüberschreitungen auf. Bei fehlender Bearbeitung können sich typische Auflagenhorizonte mit hohen Schadstoffkonzentrationen ausbilden, so durch die Beaufschlagung (YA- bzw. yYa-Horizonte) oder die abgestorbenen Biomasse (L- bzw. Of- Horizonte). Durch Lysimeterversuche konnte nachgewiesen werden, daß die Schadstoffgehalte bei „normaler“ Abwasserbeaufschlagung weitgehend stabil bleiben. Die die oberste Raum-

ebene prägenden Inhomogenitäten nehmen mit der Tiefe ab. Im Unterboden ist weder ein regelhaftes Verteilungsmuster noch eine Beziehung zu den Last- und Schadstoffkonzentrationen im überlagernden Substrat nachweisbar. Diese zeigen an der Untergrenze des humosen Ap-Horizontes (etwa 30 cm u.F.) eine deutliche Verringerung und liegen normalerweise im Bereich geogener Gehalte [5].

4. Systemänderung durch Nutzungsumwidmung - Dynamik unter Veränderung der Fließgleichgewichtsbedingungen

In Abschnitt 1 wurde erläutert, daß relevante Kontrollparameteränderungen eine Instabilität des Ordnungsparameters bewirken. Folglich können nach einem gewissen Zeitraum gravierende Abweichungen in der Beaufschlagungsmenge oder -intensität bzw. die völlige Einstellung des Abwasserinputs von mehreren Jahren ein Verlassen des Fließgleichgewichtszustandes zwischen Genese und Abbau der organischen Bodensubstanz des Rieselfeldsubstrates bewirken. Infolge der vergrößerten Strukturstabilität der OBS (vgl. Abschnitt 3.1) treten diese Veränderungen mit einer Zeitverzögerung ein, welche auch nutzungsabhängig ist. Entscheidend hierfür scheint der Systeminput an kinetischer Energie zu sein.

So ist auf Rieselflächen, welche umgestaltet wurden und einer ackerbaulichen Nutzung unterliegen, eine relevante Zunahme der Acidität bei rückläufigen OBS-Gehalten zu verzeichnen. Der Prozeßablauf ist auch durch SCHNEIDER mittels Vergleich der Bodenatmung berieselter und aufgelassener Flächen nachgewiesen worden [3]. Mit diesem „Systemalterungsprozeß“ gehen die beschriebenen Strukturveränderungen in der molekularen Dimension einher.

Für die Beurteilung der ökologischen Relevanz der beschriebenen Aciditätsveränderungen im Teilsystem Boden ist die Darstellung der Säure (ANC)- bzw. Basenneutralisationskapazität (BNC) von Relevanz. Vergleichende Untersuchungen durch STEIN (in [3]) belegen, daß im Verhältnis zu vergleichbaren Naturböden das Rieselfeldsubstrat höhere Pufferkapazitäten gegenüber Aciditäts-/Alkalinitätsveränderungen besitzt. Demzufolge vollziehen sich Abweichungen des pH-Wertes bei gleicher Intensität externer Fluktuationen langsamer. Mit der Zunahme der Acidität des Bodens durch Oxidation der Sulfide und Metallionen niedriger Wertigkeit sowie der organischen Substanz tritt, in Abhängigkeit von dem Zeitraum der Auflasung der Abwasserbeaufschlagung, eine Remobilisierung der Schwermetallspecies auf. Diesen bekannten Sachverhalt konnte STEIN schon mittels kurzzeitiger Laborversuche nachweisen. Die Schwermetallkonzentrationen in Eluaten belasteter Böden waren bei pH 5 am geringsten und korrelierten mit einer Zunahme der Acidität. Die Konzentrationen können

sich aber auch bei einer neutralen Bodenreaktion (pH 7) elementspezifisch wieder leicht erhöhen, wodurch die Möglichkeit einer Verstärkung der Schwermetallmobilität bei Aufkalkung und Nutzungsumwidmung begründet wird.

Im Ergebnis dessen läßt sich nachweisen, daß auf aktiv beaufschlagten Rieselfeldern die Metallgehalte in den Pflanzenwurzeln von *Dactylis glomerata* (Knaulgras), dessen weite Verbreitung einen räumlichen Vergleich ermöglichte, in den Bereichen der höchsten Bodenbelastung deutlich vermindert ist. Die mit dem höheren Gehalt an organischer Bodensubstanz der hochbelasteten Areale einhergehende Verstärkung der Fixierungsmechanismen (Sorption, Komplexbildung) vermindert in Verbindung mit einer größeren Feldkapazität, der Redoxpotentialsenkung sowie der Aciditätsverringern die Mobilität der Schwermetalle. Da nicht die Gesamtbelastung für die Aufnahme durch die Pflanzen sondern der pflanzenverfügbare (wasserlösliche und leicht mobilisierbare) Anteil entscheidend ist, stimmen die ermittelten Akkumulationskoeffizienten elementspezifisch in ihrer Relation mit den Ergebnissen der in der sequentiellen Extraktion ermittelten wasserlöslichen und austauschbaren Fraktionen in den Substraten überein [3]. Der Translokationsprozeß ist dabei eng mit der physiologischen Aktivität verknüpft. Die Netto-Akkumulation der Schwermetalle in Pflanzen, welche im unbelasteten Zustand auf belasteten Flächen ausgebracht wurden, nimmt nach den ersten drei Monaten der Vegetationszeit ab.

Dagegen ist auf Arealen, welche einige Jahre nicht mehr berieselt, oder zu Kulturflächen umgestaltet wurden, der Gehalt in den Pflanzenwurzeln deutlich höher. Hieran werden wiederum die aus der Einstellung der Abwasserbeaufschlagung resultierenden Veränderungen der Systemdynamik, welche eine Remobilisierung des Schwermetallpools zur Folge haben, deutlich.

Einige Realwerte, welche die unterschiedliche Intensität des Transfers belegen, sind in Tabelle 2 zusammengestellt worden.

Tab. 2: Vergleich der Akkumulationskoeffizienten *A* von *Dactylis glomerata* einer aktiv beaufschlagten mit einer aufgelassenen Fläche (nach KNÖSCHE [3])

Fläche	pH	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
beaufschlagt (n = 14)	5,6	8,6	0,5	2,2	1,4	0,4	1,7
nicht beaufschlagt (n = 20)	4,4	27,8	0,6	2,2	3,0	0,7	2,7

Auch im Dränwasser lassen sich in der Phase der höchsten Spende unter Bedingungen der Nutzungsumwidmung im Vergleich zu beaufschlagten Flächen höhere Konzentrationen nachweisen (vgl. hierzu [6]).

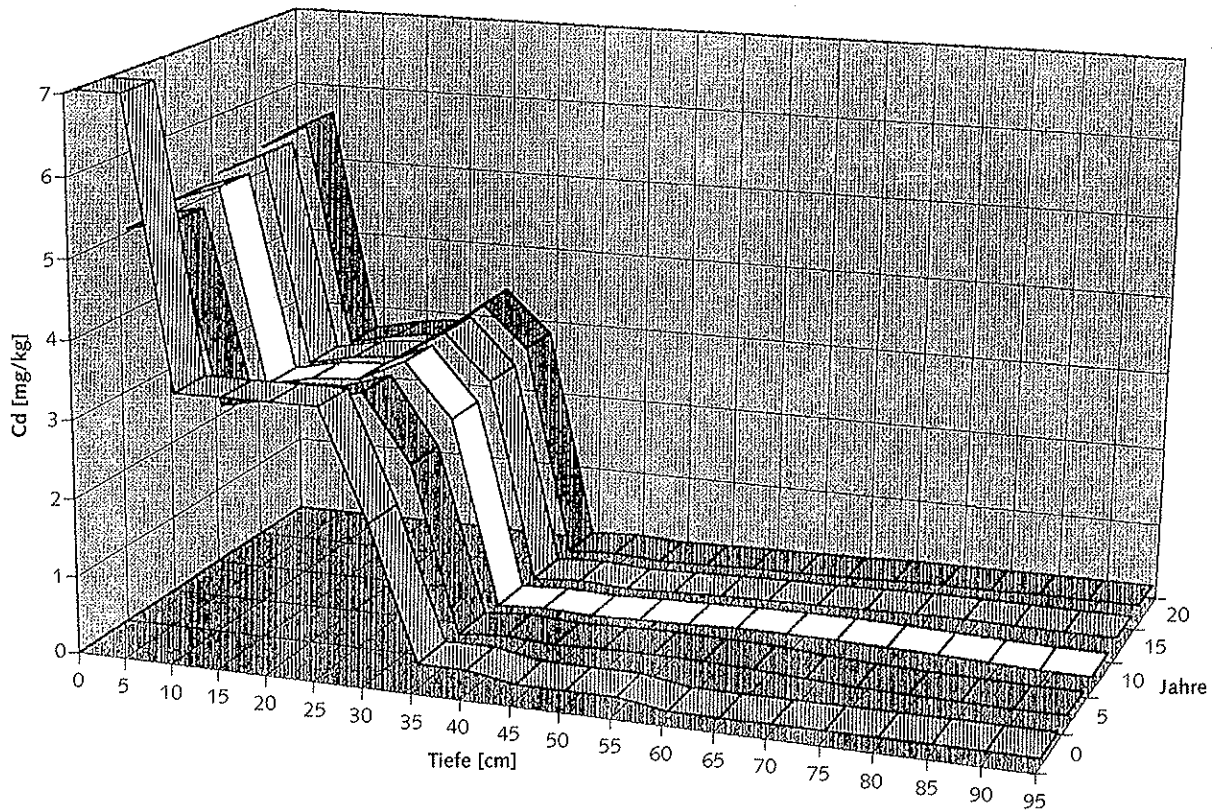


Abb. 3: Prognose der Cadmiumdynamik ohne Einbeziehung der Systemalterung (Entwurf: H. SCHACHTZABEL)

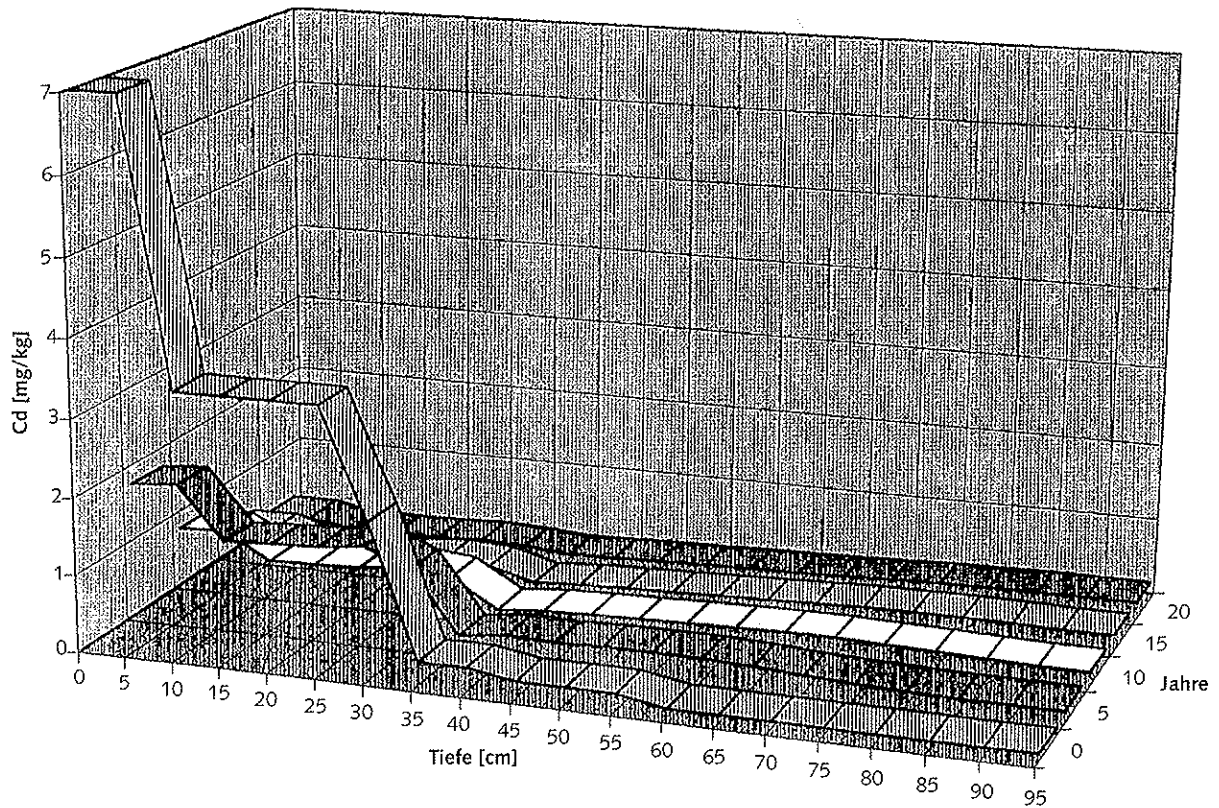


Abb. 4: Prognose der Cadmiumdynamik mit Einbeziehung der Systemalterung (Entwurf: H. SCHACHTZABEL)

5. Prognoseszenarien – die Dynamik unter zukünftigen Fließgleichgewichtsbedingungen

Die Wirkung von Schadstoffen ist in einem Geosystem an deren Verfügbarkeit gebunden. Während der vorhandene Pool eine potentielle Gefährdung benachbarter Kompartimente/Schutzgüter darstellt, welcher unter den „Normalbedingungen“ nicht öko-toxikologisch wirksam werden kann, resultiert eine aktuelle Gefährdung aus den Verfügbarkeiten der einzelnen Species. Wie gezeigt wurde, nehmen diese bei relevanten Veränderungen der Kontrollparameter zu. Eine Beschreibung stoffdynamischer Aspekte ist ohne die Verwendung mathematischer Modelle nur schwer möglich, jedoch beinhalten die meisten Algorithmen nur zeitinvariante Modellparameter, d.h. es wird ihre Unveränderlichkeit vorausgesetzt. Die Parameter hemerober Systeme besitzen jedoch eine Eigen-dynamik. Da die organische Bodensubstanz als ver-sklavender Ordnungsparameter anzusehen ist, wel-cher fast alle bodenphysikalische und -chemische Prozesse beeinflußt, unterscheiden sich die Prognoseszenarien wesentlich (vgl. Abb. 3 und 4).

Durch Simulationsrechnungen konnte SCHACHTZABEL (in [3]) belegen, daß ohne die Einbeziehung der Systemalterung die Verlagerungsprozesse relativ langsam ablaufen. Wird sie in die Prognoseszenarien eingerechnet, dann verringern sich die Festphasen-gehalte im Boden wesentlich, es kommt zu einem intensiven Schwermetallaustrag (vgl. Abb. 3 und 4).

6. Schlußfolgerung

In oligohemerober Geosystemen, also „naturnahen Landschaften“, befinden sich deren Ordnungsparameter mit den stofflich-energetischen Kontrollparametern des umgebenden Raumes in Übereinstimmung. Die Strukturstabilität ist Resultat eines Fließgleichgewichtes, bei dem die Fluktuationen der Kontrollparameter unterhalb kritischer Größen bleiben. Ein wichtiger Ordnungsparameter ist die organische Bodensubstanz. Diese Übereinstimmung ist in meta-/polyhemerober Geosystemen nicht mehr vorhanden. Es kommt zu einer Selbstorganisation neuer Strukturen, deren Existenz an den von dem Menschen verursachten Materiedurchfluß gekoppelt ist.

In diesen Räumen stellen Nutzungsumwidmungen eine gravierende Änderung vieler Kontrollparameter dar, welche sich wiederum auf die metastabilen Ordnungsparameter auswirken.

Die damit verbundenen Verschiebungen im Fließgleichgewicht der Dynamik der anorganischen Schadstoffe ist mit Instabilitätsphasen verbunden, wobei es im Falle einer vorherigen Akkumulation zu einer Verstärkung ihrer Remobilisierung kommen kann. Da durch die mögliche Steuerung jeglicher

zukünftiger Entwicklung keine Beseitigung von Gefährdungen und Risiken erreicht werden kann, sondern nur deren Minimierung, ist eine problemlose Wiederherstellung des „Ausgangszustandes“ nicht möglich.

Eine Beibehaltung der Systemstabilität ist durch die Aufrechterhaltung

1. von Kontrollparametern, welche der ursprünglichen Nutzungsform entsprechen - es findet damit keine einschneidende Umwidmung statt;
2. des Stabilitätsfeldes der Ordnungsparameter bei veränderten Kontrollparametern, verbunden mit einem hohen Stabilisierungsaufwand oder einer erhöhten Verlagerungsintensität von anorganischen Schadstoffen in andere Kompartimente und/oder durch
3. ein „Zurückfahren“ der Ordnungsparameter unter die kritischen Werte möglich.

Unter dieser Sicht erscheint eine Minderung der Intensität des Mineralisierungsprozesses durch Feuchthaltung ratsam, denn der Fließgleichgewichtszustand wird noch durch das bisherige Stabilitätsfeld beschrieben. Eine weitergehende Darstellung dieser Fragen ist jedoch nicht Gegenstand dieses Aufsatzes.

Literatur

- [1] BLUMENSTEIN, O. 1995: Geoökologische Aspekte des Evolutionsprozesses hemerober Geosysteme im jungpleistozänen Raum.- Habilitationsschrift (unveröff.); Potsdam: 230 S.
- [2] GRUNEWALD, K. 1993: Bodenzustand und -belastung aktueller und ehemaliger Rieselfelder südlich Berlins.- Potsdamer Geographische Forschungen, Band 5; Potsdam: 133 S.
- [3] Arbeitsgruppe Stoffdynamik in Geosystemen 1994: Rieselfelder Berlin-Süd - Multivalente Beurteilung der ökologischen Relevanz von Last- und Schadstoffen - Aufbau eines Bodeninformationssystems.- Forschungsbericht (unveröff.); Potsdam: 238 S.
- [4] KAPP, I. et al. 1995: Geophysikalische Untersuchungen zur Klärung der Schadstoffverteilung und -dynamik auf den Berliner Rieselfeldern.- Posterbeitrag zur LUA-Tagung „Rieselfelder Brandenburg-Berlin - Zustandserfassung und Nutzungskonzepte“; Potsdam
- [5] Arbeitsgruppe Stoffdynamik in Geosystemen 1994: Rieselfelder südlich Berlin - Altlast, Grundwasser, Oberflächengewässer; Zustands- und Gefährdungsanalyse der Bodenzone.- Forschungsbericht (unveröff.); Potsdam: 28 S.
- [6] GRUNEWALD, K.; BLUMENSTEIN, O. & SCHUBERT, R. 1995: Zur Stoffdynamik Abwasser-Boden-Dränwasser im Rieselfeldgebiet südlich Berlin.- Wasser und Boden 47 (3): 33-48

Die Forschungsarbeiten über Zustand und Dynamik von Stoffen in Rieselfeldsystemen erhielten großzügige finanzielle Förderung seitens des Landesumweltamtes Brandenburg und des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung Brandenburg. Hierfür sei diesen Landesbehörden ein aufrichtiger Dank ausgesprochen.

Dr. O. Blumenstein
Universität Potsdam
Institut für Geographie und Geoökologie
Arbeitsgruppe Stoffdynamik in Geosystemen
PF. 601553
14415 Potsdam

Untersuchungen zu organisch-chemischen Bodenbelastungen in den ehemaligen Rieselfeldern in Berlin-Buch

Werner Kratz, Freie Universität Berlin

1. Einleitung

Bodennutzungen, die über Jahrzehnte und Jahrhunderte hinweg einen flächenhaften und intensiven Stoffeintrag in Boden und Untergrund bewirken, können zu nutzungsspezifisch ausgeprägten Bodenverunreinigungen führen. Hierfür sind die Rieselfelder der historischen Abwasserlandbehandlung ein klassisches Beispiel. Deren Umfang betrug in Deutschland seit dem vorigen Jahrhundert mehr als 30.000 ha, wobei die Berliner Rieselfeldfläche allein mehr als 22.000 ha umfaßte [1]. Die Besonderheit dieser wasserwirtschaftlichen Bodennutzung liegt im intensiven Prägen und Beanspruchen der Filter-, Speicher- und Entsorgungsfunktion des Bodens, des Untergrundes und des Grundwassers und in der damit einhergehenden Schadstoffanreicherung im Boden, der Eutrophierung von angrenzenden Oberflächengewässern und in der Kontamination des Grundwassers [2]. Die Berliner Rieselfeldflächen akkumulierten somit ein breites Spektrum anthropogener Schadstoffe, die sowohl aus kommunalen als auch industriellen Aktivitäten stammten und stellen damit ein großes human- und ökotoxikologisches Gefährdungspotential dar [3].

Die nachfolgend zu diskutierenden organischen Schadstoffgruppen werden im Boden bevorzugt an der organischen Substanz gebunden [3], zumal auf den Untersuchungsflächen der ehemaligen Rieselfelder im Bereich des Forstamtes Berlin-Buch Ton als weiterer möglicher Sorbent im Oberboden praktisch nicht vorhanden ist [4].

Urbane Rieselfelder repräsentieren nach ihrer Stilllegung bei immer knapper werdenden Flächen eine potentielle Flächenreserve für stadttypische Nutzungen. Bei Folgenutzungen sind allerdings die jeweiligen human- und ökotoxikologischen Gefahrenpotentiale abzuschätzen. So sollen die Bucher Rieselfelder nach den Plänen der Berliner Forsten zu einer waldgeprägten Erholungslandschaft umgestaltet werden.

Die hier vorgestellten Daten wurden im Rahmen eines umfangreichen Untersuchungsprogramms zur Erkundung der Belastung dieser Flächen erhoben und sollen neben bodenkundlichen, pflanzensoziologischen, bioklimatischen, forstlichen und faunistischen Daten Entscheidungsgrundlagen für Sanierungsmaßnahmen und Nutzungsmöglichkeiten darstellen.

2. Material und Methoden

2.1. Untersuchungsgebiet

Die an der nördlichen Stadtgrenze gelegenen Rieselfelder im Bereich des Forstamtes Berlin-Buch (ca. 1.370 ha) waren von ca. 1875 bis 1984 in Betrieb, ehe das Abwasser über die Kläranlage Schönerlinde geleitet wurde. Während bis ca. 1970 eine sogenannte Doppelnutzung mit Acker- und Gemüsebau bei mäßiger Berieselung (100-4.000 mm/a) praktiziert wurde, fand in der Folgezeit eine zunehmende Beaufschlagung mit Abwasser - ohne vorherige Einleitung der Abwässer in Absetzbecken - statt, bis die Flächen seit Ende der 70er Jahre dauerüberstaut waren (Intensivfilterbetrieb). 1985 wurden die Flächen unter starker Bodenstörung weitgehend eingeebnet und mit verschiedenen Gehölzen (ca. 50 Baum- und Straucharten) mehr oder weniger erfolgreich aufgeforstet. Heute sind ca. 40% der Fläche mit Baumarten wie diversen Pappelarten, Eschenahorn, Kiefern etc. bestockt.

2.2. Entnahme der Bodenproben

Die Entnahme der Bodenproben erfolgte an 13 Standorten, die gemäß Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz [4] als repräsentativ für das Rieselfeld Forstamt Buch bezüglich ihrer Vornutzung und Einstellung des Rieselbetriebs ausgewählt worden waren. Die Probenentnahmen erfolgten im Juni 1992. Zur Probenentnahme an den regionalen Rasterpunkten wurden pro Standort (Rasterpunkte 1-10, 12-13) je zwei Rammkernsondierungen (Durchmesser 60 mm) bis zu einer Tiefe von zwei Metern abgeteuft. Die Bodenentnahme erfolgte aus Tiefen von 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm, 90-120 cm, 120-150 cm und 150-200 cm; je Tiefenstufe wurde eine Probenmenge von ca. einem Kilogramm gewonnen. Zusätzlich wurden auf einer Intensivbeprobungsfläche im Bereich einer repräsentativ umgestalteten Rieselfeldgalerie westlich von Hobrechtsfelde an den dort installierten Transekten (T I) 15 Proben und (T II) 10 Proben aus einer Tiefe von 0-20 cm im Abstand von je 10,0 m gewonnen. Somit können Aussagen zur regionalen und zur kleinräumigen Schadstoffbelastung gemacht werden.

2.3. Chemische Analysen

Die Proben wurden nach der Beprobung sofort einem von der Bundesanstalt für Materialforschung akkreditierten chemischen Labor zur Analyse zugeführt,

wodurch ein Höchstmaß an Analysegenauigkeit und die Beachtung der jeweiligen DIN-Normen, die in der Berliner Liste von 1990 [5] vorgegeben sind, gewährleistet wurde.

Im folgenden werden kurz die angewandten Meßverfahren genannt:

Die 6 PAK-Komponenten wurden nach der Trinkwasserverordnung (TVO von 1975) in Anlehnung an DIN 38 409-H 13-1 jedoch mit HPLC-UV-Fluoreszenz-Detektion bestimmt. Die Bestimmungsgrenze für die Summe der 6 PAK-Komponenten (TVO) betrug 27,0 µg/kg TS. Die Nachweisgrenze lag bei 9,0 µg/kg TS. Bei der Addition der PAK-Komponenten-Konzentrationen zum Summenwert nach der TVO von 1975 für die Bewertung nach der Berliner Liste wurden nur solche Meßwerte einbezogen, die oberhalb der PAK-Komponenten-spezifischen Nachweisgrenze lagen.

Die 6 PCB-Komponenten nach BALLSCHMITER & ZELL (1987) [6] wurden in Anlehnung an DIN 51 527 T 1 mit HRGC-ECD bestimmt. Die Bestimmungsgrenze für die 6 PCB betrug 180,0 µg/kg TS. Die Nachweisgrenze lag bei 60,0 µg/kg TS. Bei der Berechnung der Summe der 6 PCB-Konzentration wurden nur solche Meßwerte berücksichtigt, die oberhalb der PCB-spezifischen Nachweisgrenze lagen.

2.4. Bodenverhältnisse

Im Verlauf des ungefähr einhundertjährigen Rieselbetriebs und der Umgestaltungen in den Jahren nach 1984 wurden die Böden vielfältig überprägt und/oder gekappt. An der Oberfläche lagerten sich organische Rückstände der Verrieselung ab und bildeten stark humose Schichten, die z.T. durch die maschinellen Bodenbewegungen mit mineralischem Material des Unterbodens vermischt sind. Die im Profilaufbau folgenden mineralischen Horizonte sind teilweise durch eine Verbraunung (Bv oder Bsv-Horizonte) gekennzeichnet. Häufig fehlen diese Horizonte jedoch, da sie im Zuge der Umgestaltungen abgetragen worden sind, so daß das Ausgangsmaterial (Sand) unmittelbar unter dem Auftragshorizont ansteht. Anhand von Bodenansprachen können folgende Bodentypen im Untersuchungsgebiet unterschieden werden: Auftragsboden-Regosol, Auftragsboden-Braunerde, Auftragsboden-Rostbraunerde.

Trotz der erst 8 Jahre zurückliegenden letzten Beaufschlagung mit den eher basischen Abwässern liegen die pH-Werte heute im yAh-Horizont vorwiegend im Bereich von 3,8 - 5,8, oft mit geringen Werten im Unterboden [4]. Hierfür können aber auch HNO₃- und H₂CO₃-Bildungen durch mikrobielle Aktivitäten verantwortlich sein (BLUME, mdl. Mitteilung). Die Humusgehalte reichen im Oberboden von 1,0 bis 24,5%, mit den höchsten Werten meist im Bereich der ehemaligen Abwassereinleitungsstellen und Wälle. Die C/N-Verhältnisse im Oberboden um 10 weisen auf den Stickstoffreichtum der Standorte hin [4].

3. Ergebnisse

3.1. Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Regionale PAK-Belastung der Böden

Der höchste PAK-Summenwert wurde mit 7.475,5 µg/kg TS im Profil 6 (Bogenseekette) in einer Tiefe von 0-30 cm gefunden. Die niedrigste PAK-Konzentration auf den ehemaligen Rieselfeldflächen wurde im Profil RB 8 (Schönerlinde) mit 87,8 µg/kg TS Summe-PAK in 0-30 cm Bodentiefe gefunden. Gering, der Hintergrundbelastung entsprechend, ist der Bodenkörper am RB 5 (Forst Buch = W) mit 9,3 µg/kg TS Summe PAK in 0-30 cm Bodentiefe belastet, der als Kontrollpunkt für ein Landschaftssegment dient, das nicht berieselt wurde (Abb. 1).

Bei einem Vergleich der gefundenen PAK-Konzentrationen in den Profilen mit den Gehalten an organischer Substanz wird deutlich, daß es zu einer starken Konzentrationsgradientenbildung in Anlehnung an den Gehalt an organischer Bodensubstanz kommt. Es läßt sich für die untersuchten Rasterpunkte eine hochsignifikante korrelative Beziehung zwischen der organischen Substanz im Oberboden und den PAK-Konzentrationen herstellen ($R^2 = 0,74$; $n = 85$ [4]).

Die obersten Bödenhorizonte bilden somit in Anlehnung an den Gehalt an organischer Substanz die Hauptanreicherungsorte, im ökotoxikologischen Sprachgebrauch als Senken bezeichnet.

Die Ergebnisse der Profilanalysen zu den PAK-Belastungen zeigen, daß es zu einer aktuellen Tiefenverlagerung (tiefer als 0,90 cm) der PAK im Bodenprofil selbst nicht kommt (Abb. 2).

Das schließt aber nicht aus, daß in den Jahren während der Rieselfeldaktivitäten bzw. in den Jahren nach Einstellung der Verrieselung PAK-Verlagerungen mittels gelöstem organischem Kohlenstoff (DOM) in relevanten Mengen zum Grundwasserkörper bzw. Unterboden stattgefunden haben, weil Fein- und Mittelsande von ihrer Adsorptionskapazität und ihrer Wasserleitfähigkeit her nicht in der Lage sind, PAK anzureichern.

Als PAK-Komponenten-Summenwert gibt die Berliner Liste einen Prüfwert für sensible Nutzungen von 1.000 µg/kg TS an. Als Flächen mit sensiblen Nutzungen (Kategorie Ib) gelten z.B. Kinderspielplätze oder Kleingärten. PAK-Konzentrationen oberhalb des Eingreifwertes für eine sensible Nutzung (Ib) nach der Berliner Liste [5] liegen bei 50% (6 von 12) der untersuchten Rieselfeldprofile vor.

Kleinräumige Variabilität der PAK-Belastung der Böden

Die auf der ehemaligen Rieselgalerie in der westlich der Ortschaft Hobrechtsfelde gelegenen Abt. 709 des Forstamtes Berlin-Buch mit einem Abstand von je

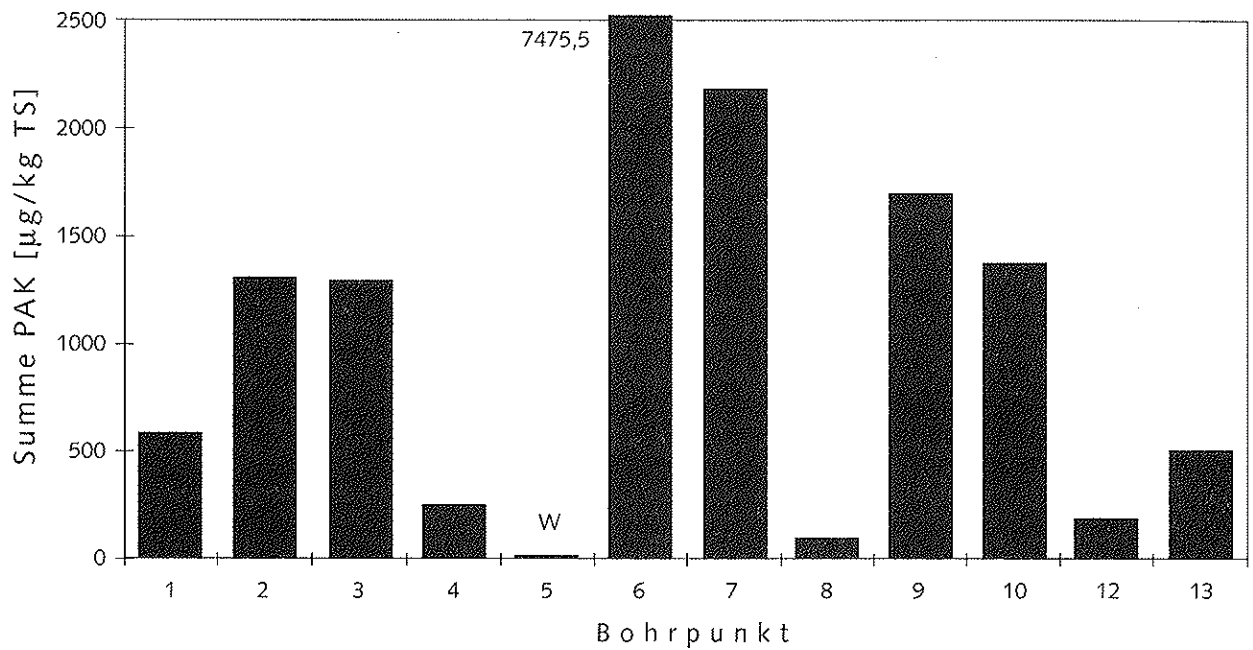


Abb. 1: PAK-Konzentrationen (Σ PAK nach TVO) in Rieselfeldböden (0 - 30 cm) an 13 Rasterpunkten im Bereich Forstamt Berlin-Buch

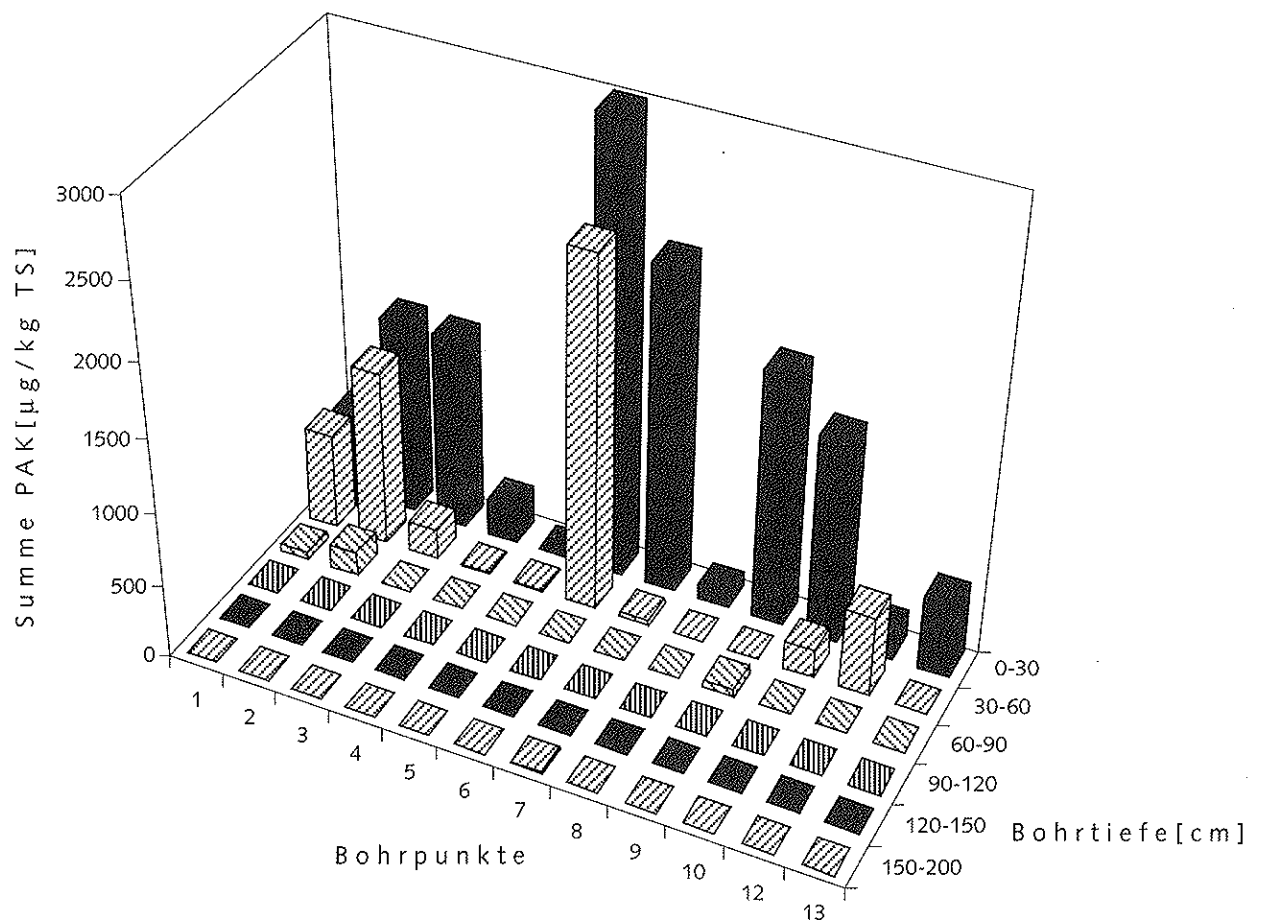


Abb. 2: Tiefenverteilung der PAK-Belastung (Σ PAK nach TVO) in Rieselfeldböden (0 - 200 cm) an 13 Rasterpunkten im Bereich Forstamt Buch

10 Metern genommenen Transektproben (alle 0-20 cm) weisen eine starke Variabilität der PAK-Belastung auf (Abb. 3).

Dabei traten die höchsten PAK-Konzentrationen (Transektpunkt 7: 5.625 µg/kg TS; Transektpunkt 8: 4.500 µg/kg TS) im Bereich des ehemaligen Damms zwischen den Rieselbecken auf, was auf die periodische Entfernung des Schlammes aus den Becken und die Ablagerung an den Beckenrändern im Dammbereich zurückzuführen ist.

3.2. Polychlorierte Biphenyle (PCB)

Regionale PCB-Belastung der Böden

Bei der Durchsicht der im Oberboden von 12 Leitprofilen ehemaliger Rieselfelder gefundenen PCB-Konzentrationen wird deutlich, daß die PCB in 4 Leitprofilen (= 30%) nur in ganz geringen Konzentrationen, die alle unter der Bestimmungsgrenze des Analyseverfahrens liegen, angereichert sind (Abb. 4).

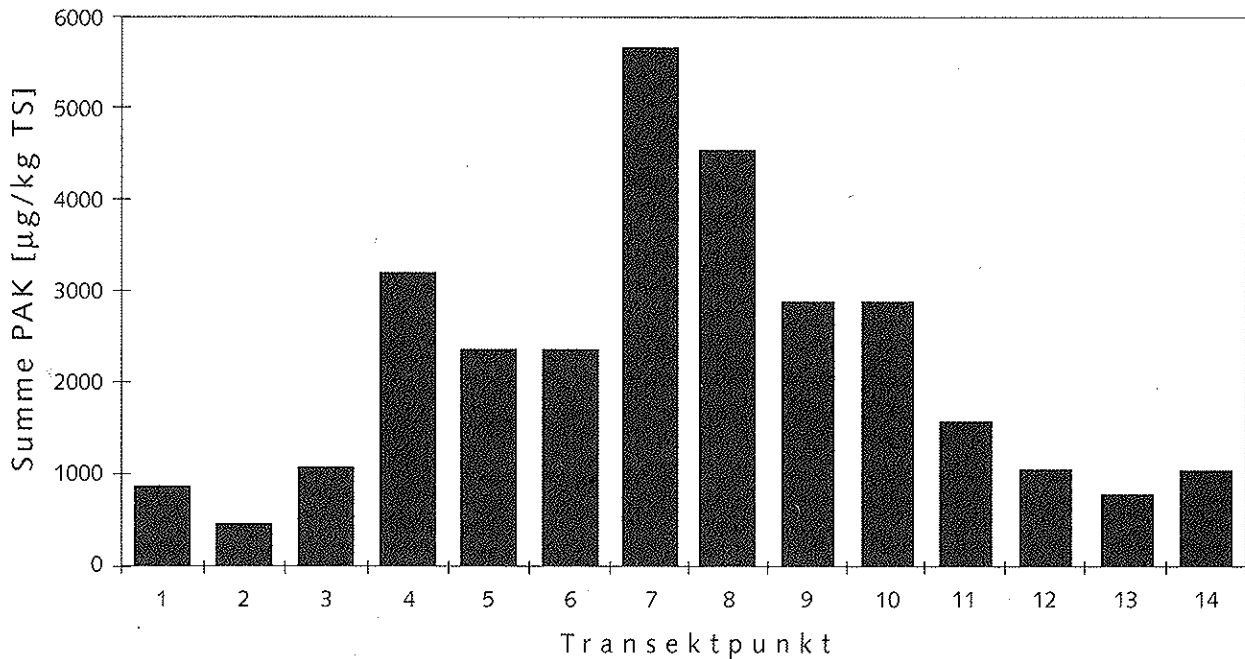


Abb. 3: PAK-Konzentrationen (Σ PAK nach TVO) im Oberboden (0 -20 cm) auf einem Rieselfeldtransekt (Länge 150 m) im Bereich der Abt. 709 des Forstamtes Berlin-Buch

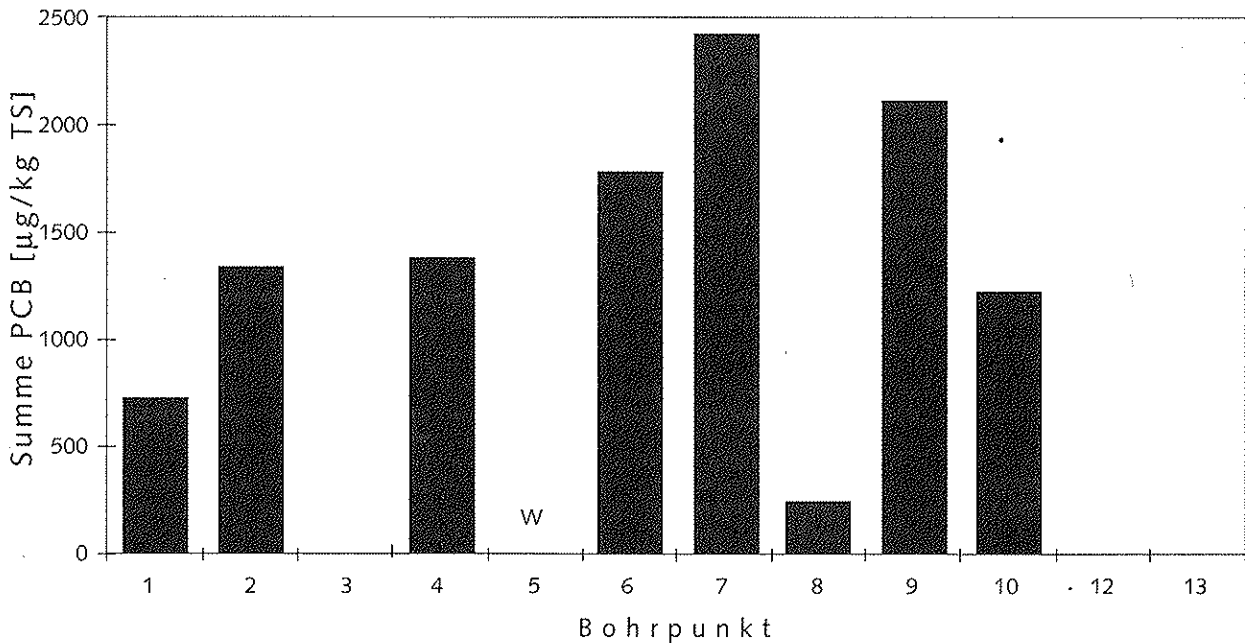


Abb. 4: PCB-Konzentrationen (nach BALLSCHMITER & ZELL 1987) in Rieselfeldböden (0 - 30 cm) an 12 Rasterpunkten im Bereich Forstamt Berlin-Buch

Dies sind die Beprobungspunkte 3 (Ö Hobrechtsfelde), 5 (Forst Buch, Kontrollfläche = W), 12 (Karower Teiche) und 13 (Blankenfelde). In den anderen Untersuchungsflächen zeigen die PCB, in ähnlicher Weise wie die PAK, eine starke regionale Variabilität.

Der PCB-Summenprüfwert nach der Berliner Liste [5] liegt für Flächen mit sensibler Nutzung bei 1.000 µg/kg TS. Es kommt an keinem Bohrpunkt zu einer Überschreitung des Ib-Wertes der Berliner Liste.

Kleinräumige Variabilität der PCB-Belastung der Böden

7 von 14 Bodenproben aus dem die kleinräumige Variabilität widerspiegelnden Transekt I können als belastet (> 1000 µg/kg TS) nach der Berliner Liste eingestuft werden (Abb. 5).

Auch bei den PCB trat innerhalb des Transekts die höchste Belastung im ehemaligen Dammbereich auf, wo der Oberboden wiederum die höchsten Gehalte an organischer Substanz aufweist.

Bei den PCB ist, ähnlich wie bei den PAK, eine starke Adsorptionsneigung an die organische Bodensubstanz zu konstatieren ($R^2=0,6$; $n=82$ [4]).

4. Diskussion

Die in den Rieselfeldböden von Berlin-Buch ermittelten Schadstoffkonzentrationen liegen bei den PAK in den gleichen Größenordnungen, wie z.B. auf Rieselfeldern in Münster [7] oder in unmittelbarer Nähe von stark befahrenen Straßen [8] gefunden und

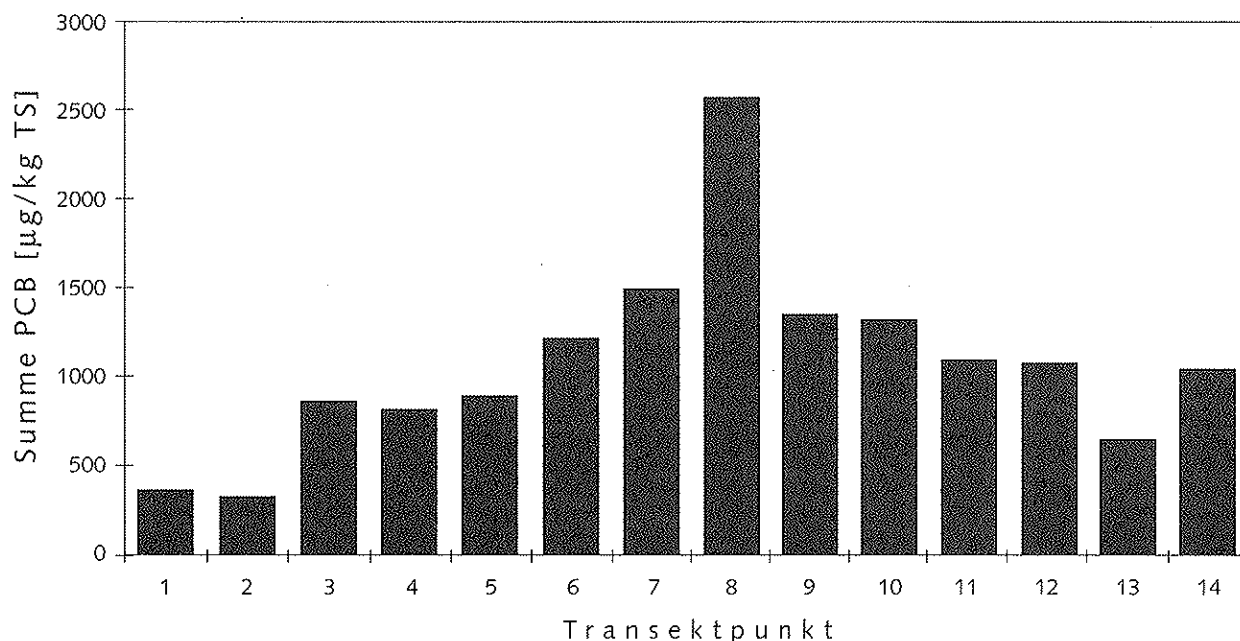


Abb. 5: PCB-Konzentrationen (nach BALLSCHMITER & ZELL 1987) im Oberboden (0 -20 cm) auf einem Rieselfeldtransekt (Länge 150 m) im Bereich der Abt. 709 des Forstamtes Berlin-Buch

damit noch deutlich unter altlasttypischen Belastungen von z.B. Gaswerksböden, wo PAK-Gehalte im Substrat von bis zu 20.000 mg/kg TS auftreten können [9]. Polychlorierte Biphenyle treten in ähnlichen Konzentrationen, wie in Berlin gefunden, nur selten in Böden auf, auch intensiv mit Klärschlamm behandelte Böden wiesen in NW-England nur Maximalgehalte von 550 µg/kg TS auf [10]. Höhere Belastungen als auf den ehemaligen Rieselfeldern finden sich flächenhaft dagegen eher in Fluß- und Seesedimenten [11].

Aufgrund der starken Adsorption dieser Schadstoffe an die organische Bodensubstanz ist im Gegensatz zu den Schwermetallen [4] eine Verlagerung mit dem Sickerwasser unwahrscheinlich, wie dies FELIX-HENNINGSEN & al. [4] für niedermolekulare PAK nach-

weisen konnten. Allerdings handelt es sich sowohl bei der organischen Substanz als auch bei den Schadstoffen aufgrund von bodenmikrobiologischen Ab- und Umbauprozessen nicht um stabile Matrices, sondern um qualitativ und quantitativ dynamische Systeme, in denen Konzentrationsniveaus und Sorptionskoeffizienten keine stabilen Größen darstellen. Dies ist auf dem Rieselfeldgelände im Bereich des Forstamtes Berlin-Buch sicher besonders ausgeprägt, da durch die Einstellung der Abwasserverrieselung (1984), durch Bodenbearbeitung und durch die Etablierung neuer Pflanzenbestände bzw. die Versuche dazu große Veränderungen im Bestand der bodenmikrobiologischen Biozönose sowie im Bodenwasser- und auch im Stoffhaushalt eingetreten sind und noch anhalten (u.a. Grundwasserabsenkung, Bodenver-

sauerung, Humusabbau). Hinzu kommt, daß zur Immobilisierung der Schwermetalle pH-stabilisierende Maßnahmen wie Kalkungen z.Z. diskutiert werden, die wiederum einen starken Einfluß auf die Zusammensetzung und Aktivität der Bodenbiozönose haben können.

Eine ökotoxikologische Bewertung der vorliegenden PAK- und PCB-Belastungen, die sich nicht an den eher humantoxikologisch begründeten Grenz- und Prüfwerten der Berliner Liste orientiert, fällt z.Z. schwer, da solche Untersuchungen für Bodenprozesse und Bodenorganismen bisher nicht vorliegen. Auch eine Einschätzung einer möglichen Grundwassergefährdung, wie sie in den sorptionsschwachen und gut wasserleitenden Sanden vorstellbar wäre, kann aufgrund fehlender Untersuchungen bisher nicht vorgenommen werden. Auf diesen Gebieten besteht daher noch großer Forschungsbedarf.

Literatur

- [1] KÖNIG, K. & LACOUR, P. 1915: Die Reinigung städtischer Abwässer in Deutschland nach den natürlichen biologischen Verfahren. - Parey Verlag, Berlin: 84 S.
- [2] SOWA, E., 1992: Schutzgutbezogene Folgenutzung von Rieselfeldern. - In: ROSENKRANZ, D.; BACHMANN, G.; EINSELE, G.; HARRESS, H.M. (Hrsg.): Bodenschutz. - E. Schmidt Verlag, Berlin, ergänz. Handbuch.
- [3] BLUME, H.-P., 1992: Handbuch des Bodenschutzes. - ecomed-Verlag, Landsberg/Lech: 794 S.
- [4] Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz, 1994: Sanierungs- und Gestaltungskonzeption für die ehemaligen Rieselfelder im Bereich des Forstamtes Buch. - Kulturbuch-Verlag, Berlin. 237 S.
- [5] Senatsverwaltung für Inneres, 1990: Bewertungskriterien für die Beurteilung kontaminierter Standorte in Berlin (Berliner Liste). - Amtsblatt Berlin, 40. Jahrgang, Nr. 65: 2464-2469.
- [6] BALLSCHMITER, K. & ZELL, M. 1987: Analysis of PCBs by glass capillary gas chromatography; composition of technical Aroclor and Clophen-B mixtures. - Fres. Z. Anal. Chemie 302: 84-94.
- [7] FELIX-HENNINGSSEN, P.; WILBERS, A. & CRÖSSMANN, G. 1993: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAKs) in den Böden der Rieselfelder der Stadt Münster (Westfalen). - Z. Pflanzenernähr. Bodenkde. 156: 115-121.
- [8] FLEISCHMANN S. & WILKE, B.-M. 1991: PAK's in Straßenböden. - Mitt. Deutsch. Bodenkundl. Ges. 63: 99-102.
- [9] Anonym, 1994: Bakterieller Abbau von PAK. - Labor Praxis 1: 50-51.
- [10] ALCOCK, R.E.; JOHNSTON, A.E.; MCGRATH, S.P.; BERROW, M.L. & JONES, K.C. 1993: Long-term changes in the polychlorinated biphenyl content of United Kingdom soils. - Environ. Sci. Technol. 27: 1918-1923.
- [11] BERGEN, B.J.; NELSON, W.G. & PRUELL, R.J. 1993: Partitioning of polychlorinated biphenyl congeners in the sea water of New Bedford Harbor, Massachusetts. - Environ. Sci. Technol. 27: 938-942.

*PD Dr. habil. Werner Kratz,
Freie Universität Berlin, Fachbereich Biologie WE 5,
Grunewaldstr. 34
12165 Berlin*

Bindung, Mobilität und Transport von Schadstoffen in Rieselfeldflächen

M. Renger, C. Hoffmann und L. Schlenther
TU Berlin, Institut für Ökologie

1. Einführung

Durch jahrzehntelange Abwasserversickerung auf Flächen von über 20.000 ha in Berlin und seinem Umland wurden neben organischer Substanz und Nährstoffen auch eine Vielzahl organischer und anorganischer Schadstoffe in den Oberboden eingetragen. Diese Schadstoffbelastung der Berliner Rieselfeldflächen wurde in den letzten Jahren im Rahmen verschiedener Forschungsvorhaben eingehend untersucht (BLUME et. al. 1980, BLUMENSTEIN et. al. 1991, RENGER et. al. 1991, SCHLENTHER et. al. 1992, SWARTJES et. al. 1991, METZ et. al. 1992, Senatsverwaltung 1994) [1-7].

In unserem Beitrag sollen einige wichtige Ergebnisse zur räumlichen Verteilung, Bindung, Mobilität und zum Transport von Schadstoffen dargestellt werden. Außerdem werden die sich daraus ergebenden Forschungsdefizite kurz aufgezeigt.

2. Räumliche Verteilung von Bodeneigenschaften und Schadstoffen (Schwermetalle)

Vergleicht man die drei verschiedenen Berliner Rieselfeldgebiete hinsichtlich der Hydrologie, der Versickerungsintensität und der Belastung so lassen sich deutlich Unterschiede, wie Abbildung 1 zeigt, feststellen. Aufgrund der sehr hohen Berieselung treten die höchsten Belastungen in Berlin-Nord auf. Dies trifft sowohl für die Schwermetalle (insbesondere Chrom) als auch für organische Schadstoffe zu.

Innerhalb der einzelnen Rieselfeldgebiete treten auf engstem Raum große Unterschiede in den Bodeneigenschaften (z.B. Humusgehalt, Mächtigkeit der Ah-Horizonte) und der Schwermetallbelastung auf. Durch eine Kombination aus Raster- und Transektbe-
probung konnten räumliche Belastungsstrukturen er-

	<u>Berlin-Nord</u>	<u>Berlin-Süd</u>	<u>Gatow</u>
Geologie:	Barnim-Platte Sander-Ablagerungen <10 m	Teltower-Platte Sander-Ablagerungen >20 m	Nauener-Platte Sander-Ablagerungen <3m
Hydrologie:	GW-Flurabstand 1,5-4 m geschlossener 1. GW-Leiter ist unbedeckt	GW-Flurabstand 3->10 m 3. GW-Leiter bedeckt und gespannt	GW-Flurabstand >10-17m 1. GW-Leiter unbedeckt
Wassergewinnung:	Wasserwerk Buch	3 Wasserwerke mit höherer Förderungsleistung als GW-Neubildung	
Berieselung:	intensivflächen >10.000 mm/a	ca. 300 mm/Termin, bis zu 3.000 mm/a	2-3.000 mm/a
Zustand der Flächen	Bis auf wenige Ausnahmen umgestellt, seit 1986 keine Verrieselung, seit 1986 Aufforstungsversuche	ca. 50% der Fläche im Klarwasser-Rieselbetrieb (Stand 1992), teilweise umgestaltet	Zeitweise Verrieselung von Klarwasser
Bodenchemischer Zustand:	Seit der Umgestaltung: pH-Absenkung, NO ₃ + SO ₄ -Freisetzung, Remobilisierung von Schwermetallen, hohe Schadstoffgehalte durch großen Anteil an Industrieabwässern. Sehr hohe Chromgehalte, Anteil an niedrig chlorierten „modernen“ PCB, PAK mit breitem Kow-Spektrum	Auf umgestellten Flächen vergleichbar zu Berlin-Nord, teilweise geringere Schwermetallbelastung, stellenweise hohe Dioxinkontamination (Klärschlamm)	Geringere Schwermetall- und Organikabelastung, überwiegend höherchlorierte „alte“ PCB, PAK mit breitem Kow-Spektrum

Abb.: 1 Vergleichsdaten von drei Berliner Rieselfeldgebieten

stellt werden (Abb. 2). Dabei zeigte sich, daß die Belastung durch Schwermetalle ganz entscheidend von der Menge an organischer Substanz beeinflußt wird. Mit zunehmendem Humusgehalt nehmen daher auch die Schwermetalle zu. Die Ursache für diese Beziehung liegt darin, daß bei den sandigen Rieselfeldböden als Sorptionsträger in der Regel nur Humus in Frage kommt. Die hohen Korrelationskoeffizienten in Tabelle 1 zeigen enge Korrelationen zwischen dem Gehalt an organischer Substanz und einzelnen Schwermetallen sowie Phosphor.

Auch untereinander korrelieren die Schwermetallgehalt sehr eng.

Die Ergebnisse der Transektuntersuchungen sind an Beispiel von Cadmium in der Abbildung 3 dargestellt.

Die höchsten Cd-Konzentrationen treten beim Transekt 1 auf. In der Tiefe 0-20 cm werden Werte von 0,10 bis 44,3 mg/kg erreicht, in der Tiefe 20-40 cm 0,09 bis 55,6 mg/kg und in der Tiefe 40-60 cm 0,04 bis 12,4 mg/kg. Die Konzentrationserhöhungen von Cd in den Tiefen 2 und 3 stehen im engen Zusammenhang mit der Mächtigkeit der YAh-Horizontes (Abb. 3).

Die räumliche Verteilung der Schwermetallbelastung der überwiegend sandigen Böden ist sowohl auf die Betriebsweise der Abwasserversickerung als auch auf die Umgestaltungsmaßnahme nach der Stilllegung zurückzuführen. Die höchsten Belastungen finden sich im Bereich der ehemaligen Einleitungsbecken, insbesondere in der Umgehung der planierten Dämme. Dort erreichen die Cadmium-, Chrom-, Kupfer- und Zinkgehalte im Oberboden Werte, die deutlich über den Richtwerten der Berliner Liste liegen und eine

Tab. 1: Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen Gehalt an organischer Substanz, Phosphat und Schwermetallen

	org. Subst.	P	Pb	Cd	Cu
P	,90				
Pd	,91	,92			
Cd	,87	,85	,82		
Cu	,94	,95	,94	,91	
Zn	,88	,91	,88	,86	,92

potentielle Gefahr für Pflanzenwachstum und Grundwasser darstellen. Ein Beispiel für die räumliche Verteilung der Zn-Konzentration ist in Abbildung 4 zu finden. Die Bioverfügbarkeit und Mobilität der Schwermetalle ist z.Z. in der Regel durch die relativ hohen pH-Werte (>5) noch gering.

Ähnliche Verteilungsmuster wie sie beim Zink in Abbildung 4 dargestellt sind, weisen auch die organischen Schadstoffe auf (s. Beitrag Kratz S. 26 ff).

3. Bindung der Schwermetalle

Für die Abschätzung des toxikologischen Risikopotentials ist es wichtig, die Bindungsformen der Schwermetalle zu kennen. Sie lassen sich nach ZEIEN und BRÜMMER (1989) [8] durch Extraktion mit verschiedenen Lösungsmitteln bestimmen.

In Anlehnung an ZEIEN und BRÜMMER [8] wurden folgende Fraktionen an 5 Bodenprofilen ermittelt:

Fraktion I (mobile Fraktion)

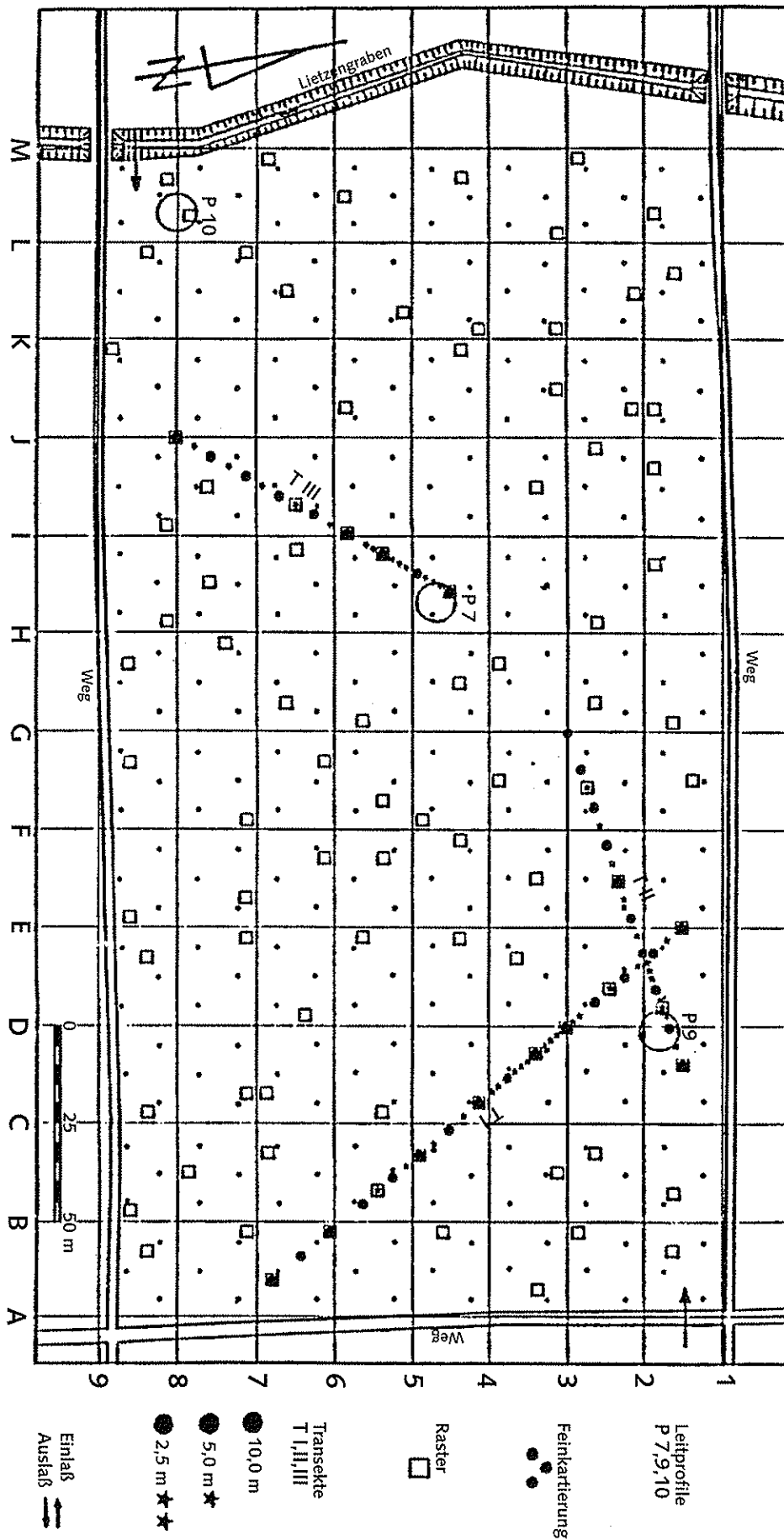


Abb. 2: Probenahme- und Feinkartierungspunkte innerhalb der Intensivuntersuchungsfläche Berlin-Buch

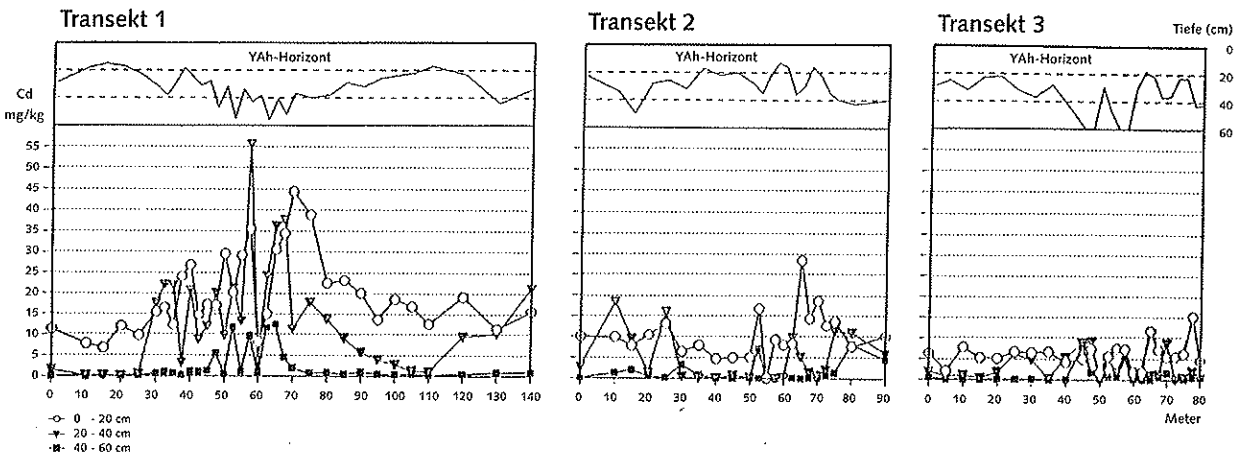


Abb. 3: Räumliche Verteilung des Gesamt-Cadmiumgehalte (mg/kg) in Transekt 1 bis 3

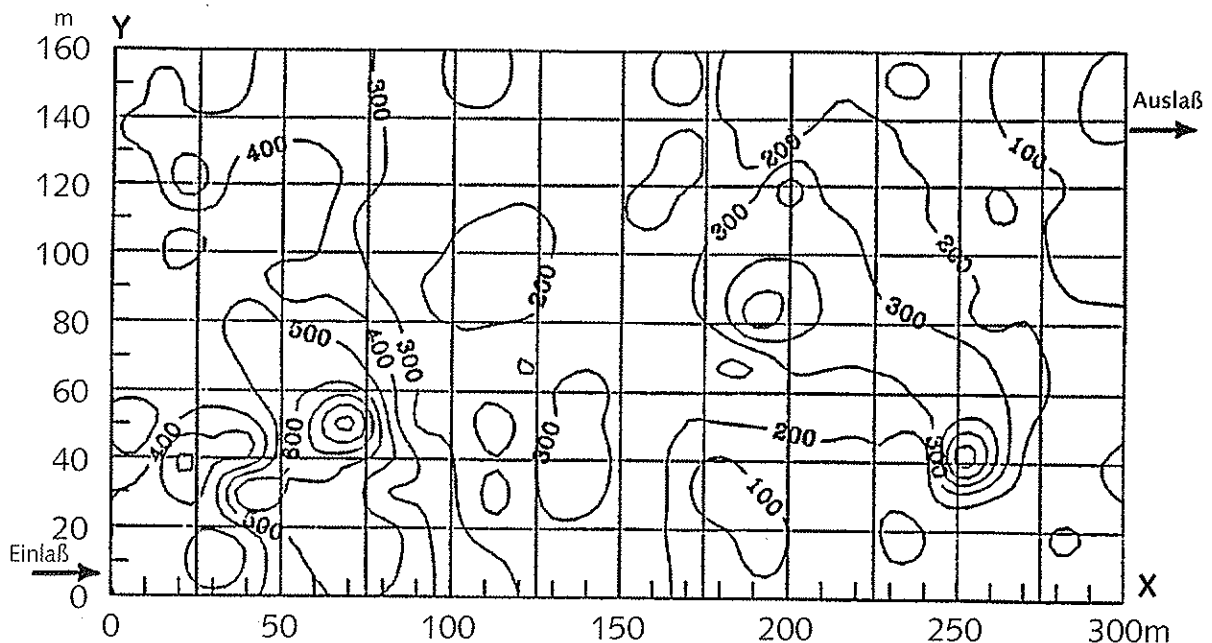


Abb. 4: Räumliche Verteilung der Zinkkonzentration (ppm) in 0-20 cm Tiefe

Fraktion II (leicht nachlieferbare Fraktion)
 Fraktion III (an Mn-Oxide und organisch gebundene Fraktion)
 Fraktion IV (an Fe-Oxide gebundene Fraktion).

Am Beispiel des Profils 10 sind in Abbildung 5 die Anteile der vier verschiedenen Bindungsformen für Cadmium dargestellt. Bei der Interpretation ist zu beachten, daß es sich bei den dargestellten Ergebnissen um relative Werte handelt. Deshalb sind auch die absoluten Cd-Gesamtgehalte angegeben, mit denen eine Umrechnung der relativen Werte möglich ist. In den Ah-Horizonten überwiegt, wie aufgrund der hohen Humusgehalte erwartet, der Anteil an organisch gebundenem Cadmium. Für das Mobilitätsverhalten der Schwermetalle ist vor allem der mobile und leichtverfügbare Anteil von Bedeutung. Der Anteil dieser beiden Fraktionen liegt bei dem dargestellten Profil in den oberen 4 Horizonten bei > 30%.

Dies zeigt, daß ein beträchtlicher Anteil des Cadmiums verlagert bzw. von den Pflanzen aufgenommen werden kann.

4. Mobilität und Verlagerung von Schwermetallen

Eine Beurteilung der Mobilität und Verlagerung von Schwermetallen ist mit Hilfe von mathematischen Simulationsmodellen möglich [3, 5].

Dabei sind im wesentlichen folgende Transportmechanismen zu berücksichtigen:

1. die Flüsse (Konvektion, hydrodynamische Dispersion, molekulare Diffusion) und
2. die Interaktionen zwischen Lösungs-, Fest- und Gasphase.

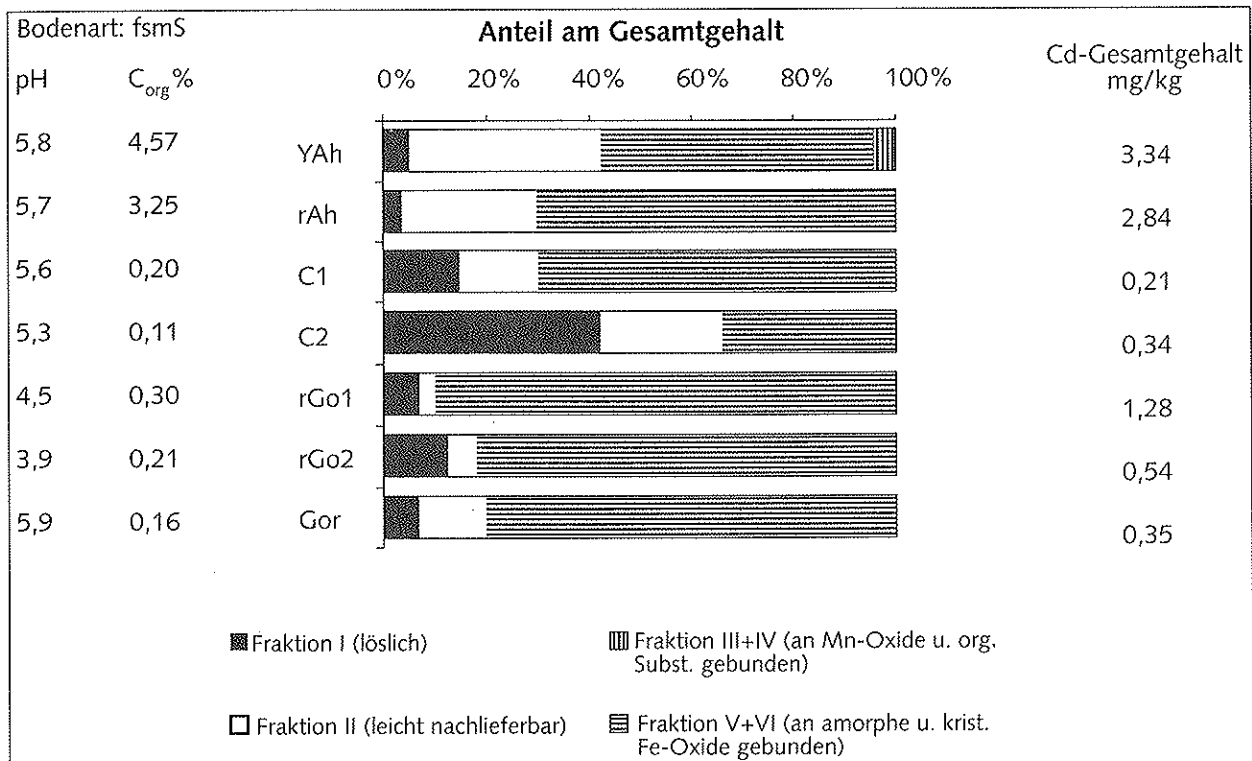


Abb. 5: Bindungsformen von Cadmium im Profil 10

Sie umfassen folgende Prozesse:

- Adsorption und Desorption,
- Lösungs- und Fällungsreaktionen,
- Komplexbildung,
- biologischer Abbau,
- Redoxreaktionen,
- Austauschprozesse mit der Gasphase,
- Diffusion zwischen den Porenbereichen mit mobilem und immobilem Bodenwasser sowie
- Quellen und Senken.

Bei den Schwermetallen sind vor allem die drei erstgenannten Prozesse (Adsorption und Desorption, Fällung und Lösung, Komplexbildung) von größerer Bedeutung. Eine quantitative Beschreibung dieser Prozesse ist mit Hilfe sogenannter Sorptionsisothermen möglich, die die Beziehung zwischen den Schwermetallgehalten in der Festphase und der Schwermetallkonzentration in der Bodenlösung beinhalten [5, 4].

In den Abbildungen 6 bis 8 sind Sorptionsisothermen für verschiedene Böden dargestellt. Bei Profil 10 handelt es sich um einen sandigen Boden mit Tongehalten von < 5%. Aus dem Verlauf der Sorptionsisothermen ist deutlich zu erkennen, daß im Ah-Horizont auch bei hohen Cadmiumgehalten in der Festphase nur geringe Schwermetallkonzentrationen in der Bodenlösung auftreten. Sobald der Humusgehalt aber abnimmt (z.B. C₁- und rGO₁-Horizont), treten schon bei geringen Schwermetallgehalten in der Festphase hohe Lösungskonzentrationen auf, d.h., unterhalb der Ah-Horizonte können beim Profil 10

nur noch geringe Schwermetallmengen festgehalten werden. Bei Profil 13 (Abb. 7) können dagegen die unterhalb des Ah-Horizontes liegenden Horizonte aufgrund höherer Tongehalte größere Mengen an Schwermetallen festhalten und damit die Verlagerungsgefahr verringern.

Neben dem Gehalt an organischer Substanz und Ton spielt für den Verlauf der Sorptionsisotherme der pH-Wert des Bodens eine entscheidende Rolle, wie aus Abbildung 8 klar hervorgeht. Bei den dargestellten Sorptionsisothermen handelt es sich um den gleichen Boden, der sich nur im pH-Wert unterscheidet. Die Lösungskonzentration ist bei gleichem Schwermetall-Festphasengehalt um so höher, je niedriger der pH-Wert ist. Mit abnehmendem pH-Wert nimmt damit auch die Verlagerungsgefahr an Schwermetallen zu.

Die hier kurz erläuterten Sorptionsisothermen wurden bei der Simulation der Schwermetallverlagerung verwendet.

Ergebnisse des von uns entwickelten und angewandten Schwermetallverlagerungsmodells sind in Abbildung 9 und 10 zu finden. In Abbildung 9 ist der Verlauf der Schwermetallgehalte in der Festphase und Lösungsphase für den Ausgangszustand (0 Jahre) und nach 20, 40 und 80 Jahren ohne Beriesung dargestellt. Man erkennt, daß das Cadmium nur sehr langsam verlagert wird. Wenn man die Konzentrationsmaxima der einzelnen Zeitabschnitte vergleicht, so beträgt die Verlagerungstiefe im Mittel weniger als 1 cm/Jahr. Bei Elementen wie Cl und

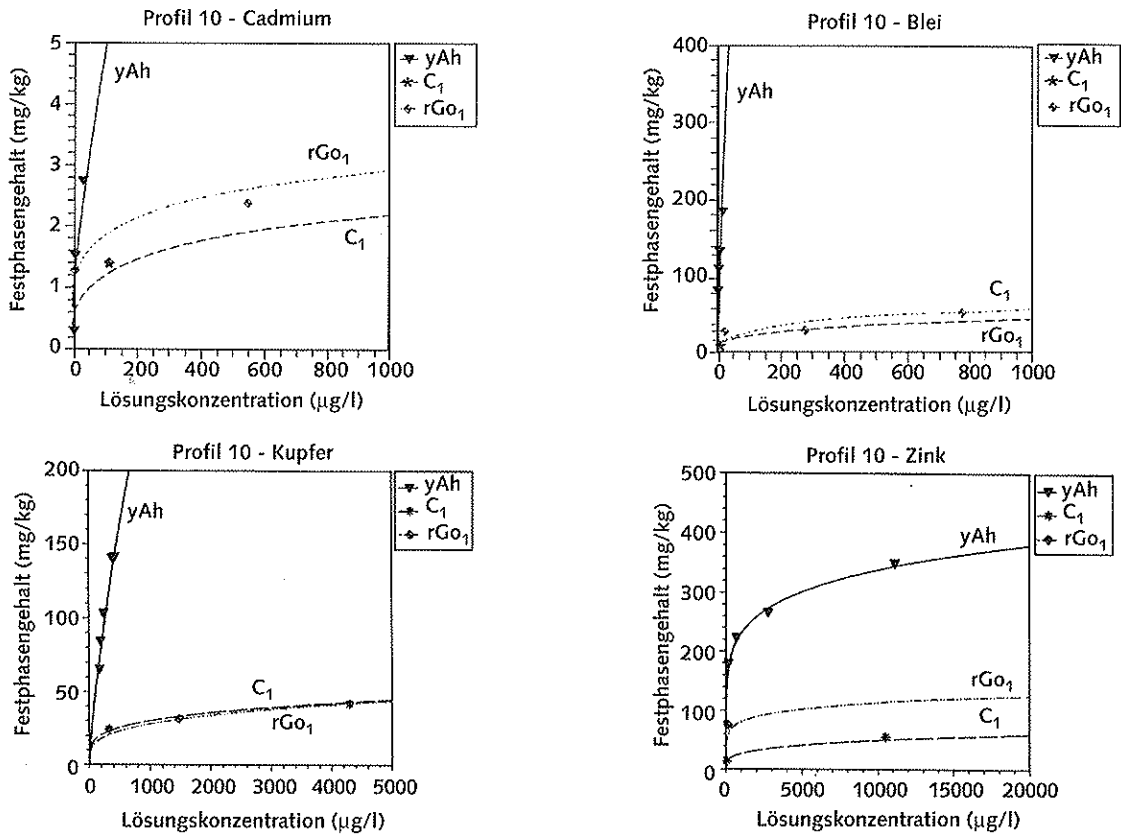


Abb. 6: Adsorptionsisothermen für Blei, Cadmium, Kupfer und Zink, Profil 10

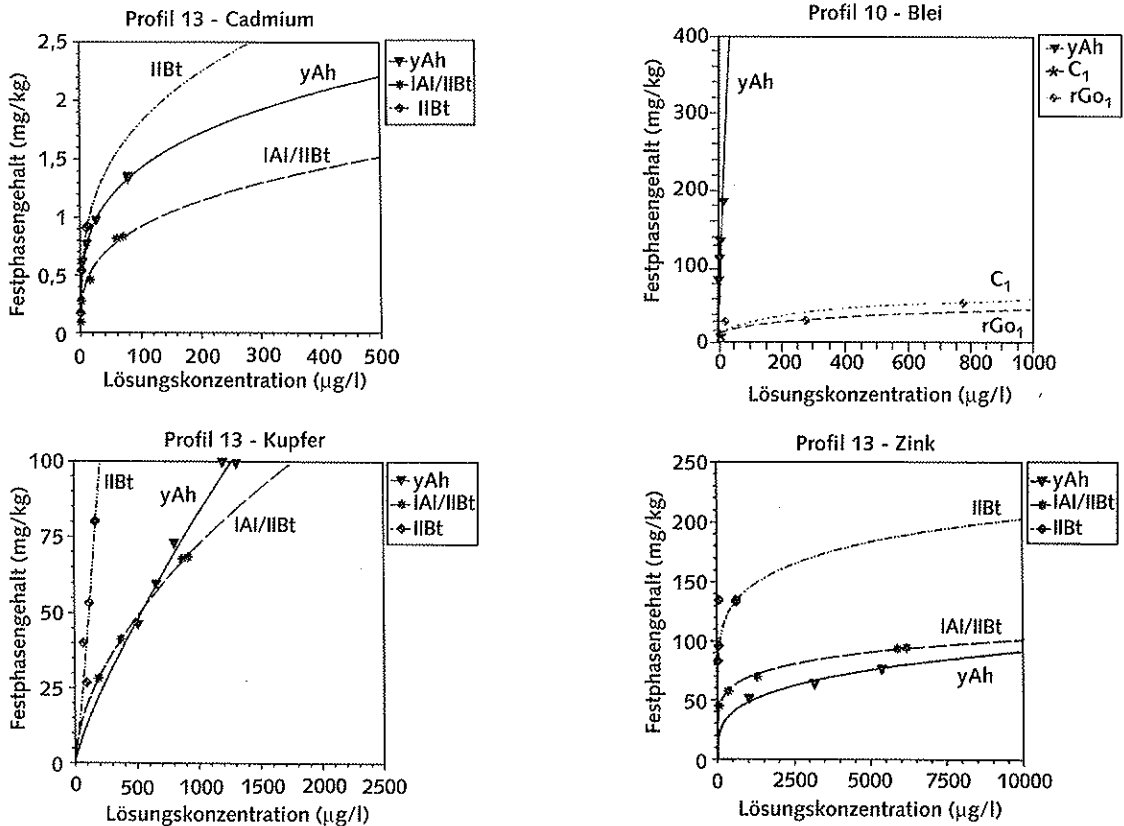


Abb. 7: Adsorptionsisothermen für Blei, Cadmium, Kupfer und Zink, Profil 13

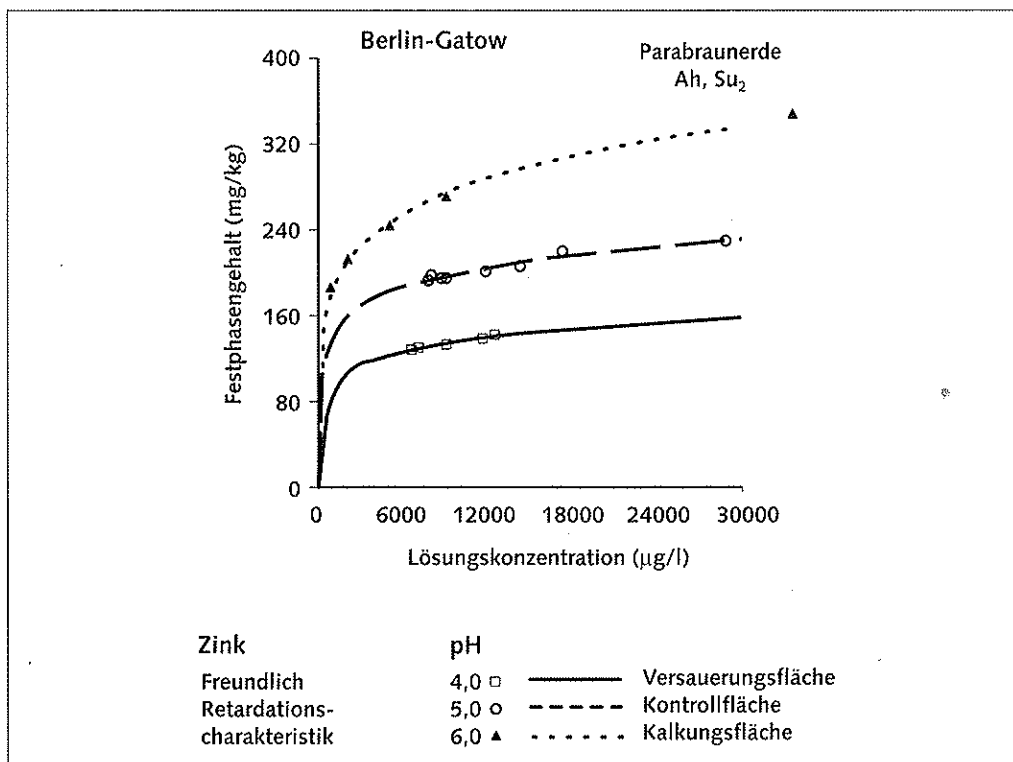


Abb. 8: Freundlich-Retardationscharakteristica des Ap-Horizontes einer Versauerungs-, Kontroll- und Kalkungsfläche für das Element Zink

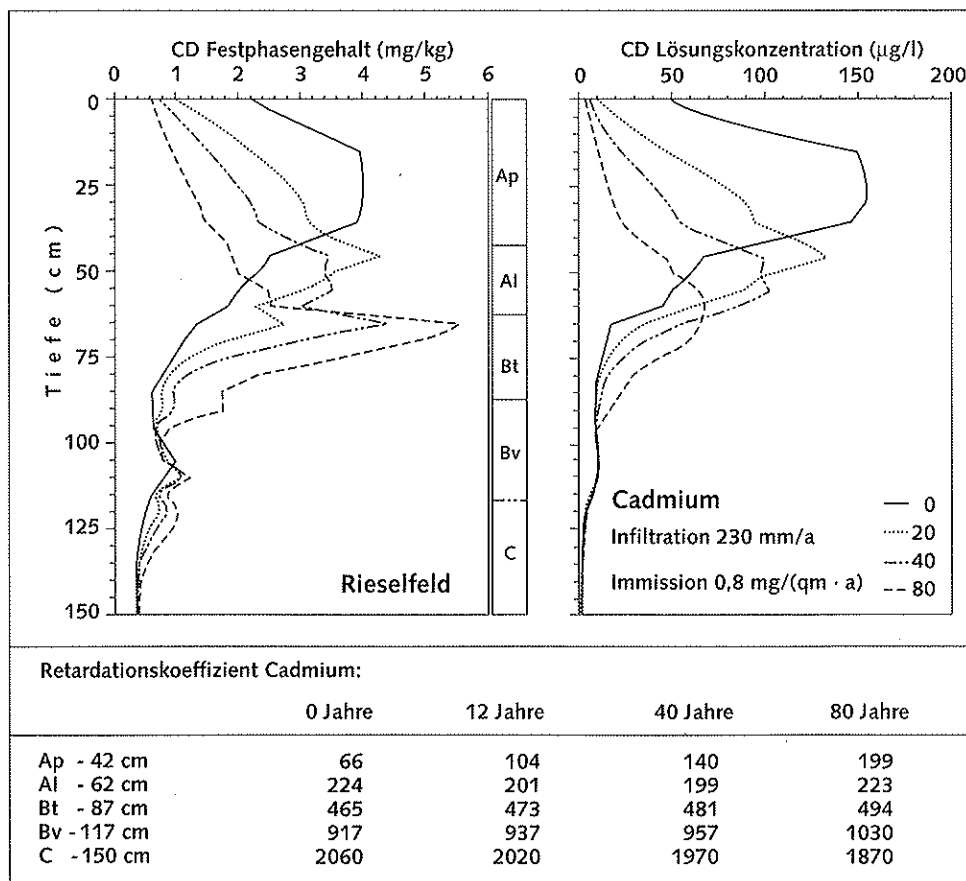


Abb. 9: Langfristig berechnete Cadmiumgehalte der Festphase und löslichen Phase in der Parabraunerde (Rieselfelder Karolinenhöhe) als Funktion der Tiefe sowie entsprechende Retardationseigenschaften

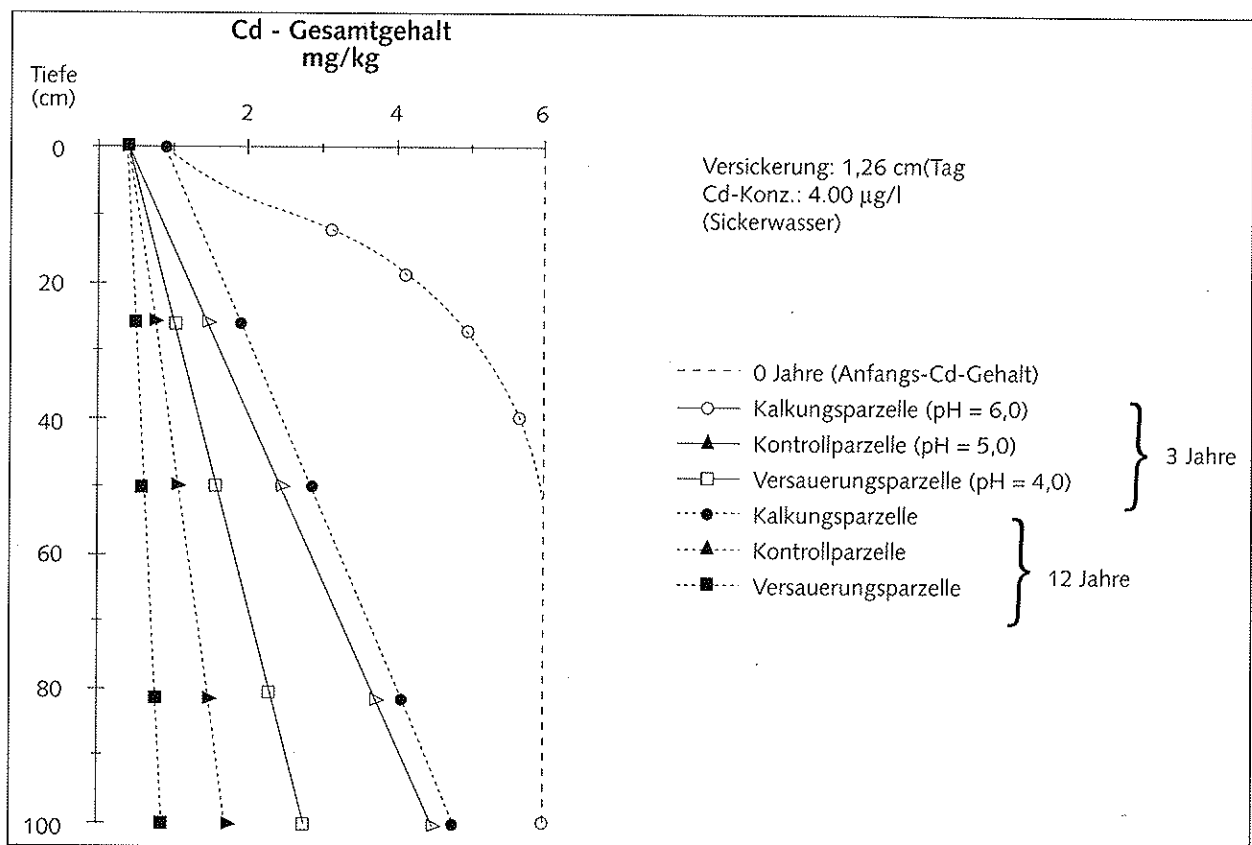


Abb. 10: Einfluß des pH-Wertes auf die Verlagerung von Cadmium

NO_3 , die nicht der Sorption unterliegen, beträgt dagegen die Verlagerungstiefe bei gleichen Böden und den hier angenommenen Versickerungsbedingungen > 1 m/Jahr.

Aus Abbildung 9 sind die Auswirkungen unterschiedlicher pH-Werte des Bodens auf die Verlagerung von Cadmium zu erkennen. Unter den angenommenen Bedingungen einer wesentlich erhöhten Versickerung (1,26 cm/Tag) können schon nach 3 Jahren bei den Parzellen mit niedrigen pH-Werten erhebliche Cadmium-Verlagerungen auftreten. Die bisherigen Ergebnisse von Fallstudien hinsichtlich der Schwermetallverlagerung lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- die Verlagerung von Schwermetallen wird in erster Linie durch den Verlauf der Sorptionsisotherme bestimmt,
- die Verlagerung und Retardation wird in erheblichem Maß durch den pH-Wert beeinflusst; pH-Einfluß: $\text{Cd} \approx \text{Zn} \gg \text{Cu} > \text{Pb}$ und
- die Verlagerungsgeschwindigkeit nimmt in der Reihenfolge $\text{Cd} > \text{Zn} \gg \text{Cu} > \text{Pb}$ ab.
- Änderungen des Istzustandes (z.B. Humusgehalt, pH-Wert, Kalkgehalt und Feuchteregime) können zu einer Mobilisierung und Verlagerung von Schadstoffen führen.

5. Schlußfolgerungen und Forschungsdefizite aus der Sicht der Bodenkunde

Um die Mobilisierung und den Austrag der akkumulierten Schadstoffe möglichst gering zu halten, werden im Rahmen der Diskussion zukünftiger Nutzungs- und Gestaltungskonzepte der Rieselfeldflächen u.a. folgende Forderungen bzw. Ziele erhoben:

- Aufrechterhaltung der hohen Humusgehalte in den Oberböden,
- Verhinderung von pH-Absenkungen,
- Feuchthaltung der Flächen ohne größere Durchströmung.

Das sich daraus ergebende Problem liegt darin, daß die genannten Ziele sich zum Teil widersprechen. So erreicht man z.B. bei einer gleichmäßigen, ständigen Durchfeuchtung des Bodens (ohne größere Versickerungsraten) bei sandigen Rieselfeldflächen Durchlüftungsverhältnisse, die zu einer sehr hohen Mineralisierung der organischen Substanz und damit auch hohen Freisetzung von H^+ -Ionen führen. Eine Aufrechterhaltung des Humusgehaltes läßt sich unter den vorliegenden Bedingungen nur durch eine ständige Zufuhr von organischen Stoffen oder durch eine intensive Feuchthaltung durch Klarwasserverrieselung (Verminderung des Redoxpotentials) erreichen. Welcher Weg dabei zu empfehlen ist, hängt von

- der Intensität und Art der Schadstoffbelastungen und
- den bodenökologischen Standortverhältnissen ab.

Auch bei der Frage der Kalkung zur Aufrechterhaltung des pH-Wertes ist zu berücksichtigen, daß durch eine Kalkung die Mineralisierung erhöht und Schadstoffe freigesetzt werden können. Dies ist besonders bei einer hohen Belastung von organischen Schadstoffen ein Problem, da die Verlagerung der freigesetzten organischen Schadstoffe im Gegensatz zu den Schwermetallen durch eine pH-Erhöhung kaum vermindert wird.

Auch wenn es gelingt, durch Zufuhr von organischer Substanz den Humusspiegel auf den ehemaligen Rieselfeldflächen konstant zu halten, ist in Zukunft nach Einstellung der Berieselung mit einer erhöhten Stickstoffbelastung im Sicker- und Grundwasser zu rechnen. Die angeführten Beispiele und Lösungsmöglichkeiten zeigen, daß für eine optimale Entscheidung bezüglich der zukünftigen Rieselfeldnutzung insbesondere im Hinblick auf eine Minimierung der Gewässergefährdung (Grund- und Oberflächenwasser) noch erhebliche Forschungsdefizite bestehen. Sie umfassen, in Verbindung mit dem verstärkten Abbau der organischen Substanz und den damit zunehmenden pH-Absenkungen nach Einstellung der Abwasserberieselung, vor allem folgende Bereiche:

- Freisetzung und Verlagerung der organischen Schadstoffe in Abhängigkeit der Kohlenstoffdynamik (Einfluß der wasserlöslichen Kohlenstoffe DOC),
- Stickstoff- und Phosphatbelastung in Abhängigkeit von den Standorteigenschaften und Versickerungsbedingungen,
- Schwermetallverlagerung bei hoher Belastung, starker Versauerung und kalkfreiem Untergrund.

Zur Lösung der aufgezeigten Probleme ist auf den Rieselfeldflächen auch in den kommenden Jahren ein

Boden- und Grundwassermonitoring notwendig, bei dem die Veränderungen wichtiger schadstoffrelevanter Bodeneigenschaften zu verfolgen sind (z.B. Dynamik der C- und N-Gehalte, pH-Werte, Schadstoffgehalte in der Fest- und Lösungsphase, Wasserhaushaltskennwerte).

Literatur

- [1] BLUME, H.-P.; HORN, R.; ALAILY, F.; JAYAKODY, A.; MESCHREF, H. (1980): Sandy Cambisol functioning as a filter through long-term irrigation with waste water. *Soil Sci.* 130, 186-192
- [2] BLUMENSTEIN, O.; GRÜNEWALD, K. und SCHUBERT, R. (1991): Das Altlastengebiet Rieselfelder Berlin-Süd, Potsdamer Geographische Forschungen, Bd. 1 Uni Potsdam
- [3] RENGER, M.; FAHRENHORST, C. und WESSOLEK, G. (1991): Simulation der Schwermetallverlagerung in Böden unter verschiedenen Standortbedingungen, *Mitteil. der Dtsch. Bodenkundl. Ges.*, 66, 1 389-392.
- [4] SCHLENTHER, L.; EGGERT, T. und HOFFMANN, C., (1992): Bodenökologische Untersuchungen auf den Rieselfeldflächen Buch. Abschlußbericht. Im Auftrag der Berliner Forsten. Berlin 215 S.
- [5] SWARTJES, F.-A.; FAHRENHORST, C. und RENGER, M. (1991): Entwicklung und Erprobung eines Simulationsmodells für die Verlagerung von Schwermetallen in wasserungesättigten Böden, UBA-FB 107 01 009, Forschungsbericht
- [6] METZ, R. et. al. (1990): Umgestaltung der Berliner Rieselfelder - altlastbedingte Entscheidungsvarianten für Nutzungskonzeptionen. VD-LUFA-Kongreßband, S. 755-762
- [7] Senatsverwaltung für Stadtentwicklung u. Umweltschutz Berlin (1994): Sanierungs- und Gestaltungskonzeption für die ehemaligen Rieselfelder im Bereich des Forstamtes Buch: Phase 1 (1991-93), Berlin 237 S.
- [8] ZELEN, H. und BRÜMMER, W. (1989): Chemische Extraktion zur Bestimmung von Schwermetallbindungsformen in Böden, *Mitt. Deut. Bodenkundl. Ges.*, 59/1, S. 505-510
- [9] HOFFMANN, C.; SCHLENTHER, L. u. BOWO, C. (1994): Untersuchungsergebnisse der bodenökologischen Meßstation in Berlin-Buch: 1993. Abschlußbericht. Im Auftrag der Berliner Forsten. Berlin 41 S.

*Prof. Dr. Manfred Renger
Technische Universität Berlin,
Institut für Ökologie, FG Bodenkunde
Salzufer 11-12
10587 Berlin*

Humantoxikologisches Gefährdungspotential von belasteten Rieselfeldböden

Thomas Eikmann, Institut für Hygiene und Umweltmedizin der Justus-Liebig-Universität Giessen

1. Einleitung

Das starke Wachstum der Städte Mitte bis Ende des vorigen Jahrhunderts verursachte neuartige infrastrukturelle und vor allem hygienische Probleme, die in Deutschland bisher nicht in diesem Ausmaß aufgetreten waren. Vor allem die Versorgung einer Großstadt mit Trinkwasser und die Beseitigung von häusli-

chen Abfällen und Abwässern mußte auf einer neuen technologischen Basis gelöst werden. Im Bereich der Abwasserentsorgung wurde nach der Einführung der unterirdischen Schwemmkanalisation eine Lösung zur Abwasserbehandlung gesucht, da das bisher übliche Einleiten in Oberflächengewässer die „Selbstreinigung der Flüsse“ häufig bei weitem überforderte.

Neben dem Reinigen der Abwässer durch Absetzenlassen der suspendierten Bestandteile und weitergehender Abwasserklärmaßnahmen wurde die Filtration des Abwassers durch Bodenschichten als günstige Alternative angesehen. Zur Verbesserung dieses Verfahrens wurden dann spezielle sog. Rieselfelder zur Reinigung der Abwässer angelegt. Vorbildcharakter für diese Form der Abwasserbehandlung hatte in Deutschland das System der Stadt Berlin (in Betrieb seit 1884). Es gab insgesamt zwölf Bezirke mit einem abgeschlossenen Kanalsystem, dessen sämtliche Kanäle jeweils in einer Pumpstation zusammengeführt wurden. Von da aus wurden die Abwässer durch ein Druckrohr zu dem zugehörigen Rieselfeld gepumpt (PRAUSNITZ 1897) [1].

Aus hygienischer Sicht gab es beim Betrieb der Rieselfelder vor allem Probleme durch die Kontamination von dort angebautem Gemüse mit Infektionserregern (Salmonellen, insbesondere Typhus und Paratyphus) und Wurmeiern aus dem Abwasser. Zur Vermeidung von Infektionsübertragungen durch die potentiell kontaminierten Feldfrüchte wurden Empfehlungen zur Ausbringung des Abwassers in Hinsicht auf die Verwertung ausgesprochen (PRAUSNITZ 1897) [1]; weitergehende Bedenken in Richtung auf den Eintrag und Akkumulation von Schadstoffen in den Rieselfeldern wurden lange Zeit nicht gesehen.

2. Aktuelle Problematik

Nach der Übernahme der Abwasserreinigung durch moderne Kläranlagen unterliegen die nicht mehr genutzten Rieselfelder heutzutage einer Reihe neuer Nutzungsansprüche. Der Großraum Berlin-Potsdam ist aufgrund seines hohen Bestandes an ehemaligen Rieselfeldern von der Problematik einer sinnvollen Folgenutzung dieser Standorte besonders betroffen. Hier stehen derzeit Entscheidungen zur zukünftigen Nutzung von mehreren tausend Hektar Rieselfeldern an (SOWA et al. 1992) [2].

Problematisch für die Wiedernutzung ist aus umweltmedizinisch-humantoxikologischer Sicht besonders die Kontamination von Rieselfeldböden mit Schwermetallen und organischen Schadstoffen einzustufen. Bei den Metallen können hohe Konzentrationen vor allem von Cadmium, Zink, Nickel, Kupfer und Blei nachgewiesen werden. Insbesondere bei Cadmium und Blei konnte teilweise ein Übergang in Nutzpflanzen gefunden werden, der dann die Aufgabe des Anbaus von Nahrungsmitteln zur Folge hatte (SALT 1988 [3]; SOWA et al. 1992 [2]). Bei den organischen Schadstoffen stehen Kontaminationen mit Polychlorierten Biphenylen (PCB), Polycyclischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und Bioziden (z.B. DDT) im Vordergrund [4].

Die Verteilung der Schadstoffe unterliegt einer großen Variabilität. Als Schwerpunkte der Kontamination sind dabei Absetzbecken, Zuleitergräben,

Dämme und Schlamm-trockenbeete anzusehen. Üblicherweise sind in der oberen Bodenschicht (bis zu 5 cm Tiefe) höhere Schadstoffkonzentrationen im Vergleich zu tieferen Bodenbereichen nachzuweisen.

Da die Verwertung landwirtschaftlicher Produkte von Rieselfeldern heutzutage meist nur noch als Futtermittel oder Industrierohstoff erfolgen kann, sind andere Arten der Nutzung - auch direkt durch den Menschen - in den Vordergrund des öffentlichen Interesses getreten. So wird planerisch die Wohnungs- und Gewerbeansiedelung auf nur wenig belasteten Rieselfeldböden erwogen; denkbar erscheint aber auch die Nutzung dieser Flächen zu Freizeit- und Erholungszwecken.

3. Umweltmedizinisch-humantoxikologische Beurteilungskriterien

Die Beurteilung der Kontamination der Rieselfelder durch Schadstoffe unterliegt aus umweltmedizinischer Sicht hinsichtlich einer späteren direkten Nutzung durch den Menschen denselben Kriterien wie bei anderen kontaminierten Böden bzw. Altlasten.

Zur umfassenden Gefährdungsabschätzung bei Altlasten gehören neben der toxikologischen Beurteilung der nachgewiesenen Schadstoffe vor allem auch die Abschätzung der Exposition der betroffenen Personen bzw. Personengruppen. Die Zufuhr von Schadstoffen aus kontaminierten Böden zum Menschen hängt aber im wesentlichen von der Art und Intensität der Nutzung bzw. des Kontaktes zum Boden ab. Erkenntnisse aus epidemiologischen Untersuchungen haben es ermöglicht, die kaum überschaubare Zahl möglicher Nutzungen des Bodens auf eine kleine Anzahl von umweltmedizinisch relevanten Nutzungsarten (Nutzungsszenarios) zu reduzieren. Ansatzpunkte für die Festlegung derartiger Szenarios waren dabei zum einen bestimmte (sensible) Nutzergruppen, zum anderen die Konstellation der Zufuhrpfade von nicht- oder schwerflüchtigen Substanzen (überwiegend orale Aufnahme, gemischte inhalative und orale Aufnahme usw.). Diese von EIKMANN & KLOKE [5] entwickelte Methodik der Ableitung von umschriebenen Nutzungsszenarios bildet eine unabdingbare Voraussetzung für eine quantitative Expositionsabschätzung bei kontaminierten Böden [5]. Die Sinnhaftigkeit dieser Beurteilungsmethodik wird auch vom Sachverständigenrat für Umweltfragen in seinem Sondergutachten „Altlasten II“ nochmals bestätigt (RSU 1995) [6].

Für das Schutzgut Mensch sind (entsprechend dieser Methodik) folgende Nutzungsszenarios als beurteilungsrelevant einzustufen: Kinderspielplätze, Haus- und Kleingärten, Sport- und Golfplätze, Park- und Freizeitanlagen, Industrie- und Gewerbeflächen. Für diese ausgewählten Nutzungsszenarios muß dann in

Hinsicht auf die jeweilig relevante Nutzergruppe (z.B. Kleinkinder beim Nutzungsszenario „Kinderspielplätze“) eine Quantifizierung der Exposition vorgenommen werden, um letztendlich auf der Basis toxikologischer Kriterien für die menschliche Gesundheit tolerable Stoffkonzentrationen im Boden ableiten zu können.

Wegen der hier nicht weiter zu vertiefenden Problematik der Expositionsquantifizierung soll nur darauf hingewiesen werden; daß errechnete tolerable Schadstoff-Konzentrationen im Boden im wesentlichen durch die gewählten Konventionen (z.B. Quantifizierung der oralen Zufuhr) bestimmt werden. Tolerable Bodenwerte können so im streng wissenschaftlichen Sinne nicht begründet werden, sie können lediglich von wissenschaftlichen Grunddaten abgeleitet werden [6].

Zur Gefährdungsabschätzung bei Altlasten stehen in Deutschland zur Zeit ca. 40 verschiedene Listen und eine Reihe von Modellen sowohl zur orientierenden als auch zur Detailbewertung zur Verfügung. Bei der Beurteilung der Kontamination der Rieselfelder - bezogen auf eine spätere Nutzung durch den Menschen - sollte eine derjenigen Listen herangezogen werden, die sowohl entsprechend den Forderungen des Sachverständigenrates einen Bezug zu Nutzung und Schutzgut als auch Prüf- und Maßnahmenwerte aufweist. Diese Beurteilungsmethodik wird von der EIKMANN-KLOKE-LISTE voll erfüllt. Gleichwohl wäre die Festlegung allgemein akzeptierter, bundeseinheitlicher Prüf- und Maßnahmenwerte (entsprechend auch den Forderungen des Sachverständigenrates) sehr wünschenswert, weil bei Detailuntersuchungen von kontaminierten Böden die Einstufung des Ergebnisses bezogen auf den Prüfwert erst entscheidet, ob (nutzungsabhängig) eine altlastenverdächtige Fläche eine Altlast ist oder nicht.

Bei der Festlegung von Sanierungs- bzw. Sicherungsmaßnahmen sollte aber demgegenüber immer der Vorsorgeaspekt im Vordergrund stehen, d.h. die Exposition gegenüber der Kontamination im Boden sollte möglichst ganz unterbrochen oder doch so weit wie möglich minimiert werden. Derartige Maßnahmen sind immer Nutzungseinschränkungen (z.B. Verbot des Anbaus bestimmter Nutzpflanzen im Kleingarten vorzuziehen). Gleichwohl sind - insbesondere bei bewohnten Altlasten (ohne die Freisetzung von flüchtigen Substanzen) - derartige Einschränkungen auch als Dauermaßnahme nicht immer zu vermeiden bzw. müssen toleriert werden.

4. Umweltmedizinische Anforderung an die Wiedernutzung von Rieselfeldern

Durch das Fehlen einer relevanten Freisetzung von flüchtigen Substanzen aus den Rieselfeldern können

sich die umweltmedizinischen Anforderungen weitgehend an den o.a. Kriterien für nicht- oder schwerflüchtige Substanzen orientieren. Unter dieser Voraussetzung hängen die Anforderungen an die Wiedernutzung von vorhandenen Rieselfeldern immer von den Rahmenbedingungen der verschiedenen Nutzungsszenarios ab.

Diese Rahmenbedingungen sind immer an den jeweiligen Schutzgütern und dem nutzungsabhängigen, spezifischen Kontakt zum Boden bestimmt. So werden besonders hohe Anforderungen dann gestellt werden, wenn z.B. eine Nutzung einer kontaminierten Fläche als Kinderspielplatz angestrebt würde. Die Nutzung derselben Fläche als Industrie- und Gewerbegebiet würde erheblich geringere Anforderungen mit sich bringen. So sollte beispielsweise der Boden im Bereich eines Kinderspielplatzes bis zu einer Bodentiefe von 35 cm keinerlei relevante Kontaminationen (unterhalb des Prüfwertes) durch Schadstoffe aufweisen; bei einem Industrie- und Gewerbegebiet müßten nur die obersten 10 cm diese Anforderung erfüllen. Weitergehend liegen die tolerablen Bodenwerte (Prüfwerte, Sanierungszielwerte) in der Regel für Kinderspielplätze in einem deutlich niedrigeren Konzentrationsbereich als die für Industrie- und Gewerbeflächen (aufgrund unterschiedlicher Schutzgüter und Nutzungsintensitäten).

Bei der Nutzung eines kontaminierten Rieselfeldes im Rahmen der Forstwirtschaft oder als Parkanlage kann u.U. - bezogen auf das Schutzgut Mensch - auf jegliche Sanierungs- bzw. Sicherungsmaßnahmen verzichtet werden, wenn der Kontakt zum Boden z.B. durch eine feste Vegetationsdecke oder anderweitig auf Dauer unterbunden ist.

Adäquate, umweltmedizinisch begründete Handlungs- und Nutzungsempfehlungen für die Nutzer von kontaminierten Böden sowie sachgerechte Sanierungs- bzw. Sicherungsmaßnahmen liegen inzwischen in der Literatur vor und sollen hier nicht im Einzelnen vorgestellt werden; sie können auch im Rahmen der Rieselfeld-Problematik unter Berücksichtigung der spezifischen Rahmenbedingungen hier Anwendung finden (HUDEC et al. 1993 [7]; EIKMANN et al. 1993 [8]).

5. Zusammenfassende Bewertung

Unter Berücksichtigung der jeweilig erforderlichen Rahmenbedingungen (die für die einzelnen Nutzungsszenarios festzulegen sind) und den davon abhängigen Sanierungs- bzw. Sicherungsmaßnahmen sind Einschränkungen der zukünftigen Nutzung von Rieselfeldern direkt durch den Menschen nicht gegeben. Je sensibler die angestrebte zukünftige Nutzung einzustufen ist, desto höher muß im allgemeinen allerdings auch der erforderliche (auch finanzielle) Aufwand für Maßnahmen eingeschätzt werden.

Neben dem Schutzgut Mensch müssen aber auch andere Schutzgüter - insbesondere das Grundwasser - bei derartigen Beurteilungen Berücksichtigung finden. Die angestrebten Nutzungen sollten deshalb nie allein unter anthropozentrischen Aspekten vorgenommen werden, sondern vielmehr allgemeine ökologische Anforderungen so weit wie möglich mit einbeziehen. Nur so kann eine sinnvolle Risikominimierung durch die großflächig vorhandenen Kontaminationen der Rieselfelder auch auf Dauer ohne aufwendige Sanierungsmaßnahmen erreicht werden.

Literatur

- [1] PRAUSNITZ, W.: Grundzüge der Hygiene. Verlag von J.F. Lehmann, München 1897
- [2] SOWA, E.; NESTLER, W.; LEIBENATH, C. & UHLMANN, W.: Schutzgutbezogene Folgenutzung von Rieselfeldern. In ROSENKRANZ, D.; BACHMANN, G.; EINSELE, G. & HARREß, H.-M. (Hrsg.): Bodenschutz. 7150, S. 1-38, 10. Lfg. II/92. Erich Schmidt Verlag, Berlin 1988
- [3] SALT, C.: Schwermetalle in einem Rieselfeld-Ökosystem. Landschaftsentwicklung und Umweltforschung. Schriftenreihe des Fachbereichs Landschaftsentwicklung der TU Berlin Nr. 53. Berlin 1988

- [4] BLUMENSTEIN, O.; GRUNEWALD, K. & PORTMANN, H.-D.: Rieselfelder südlich Berlins - neue Nutzungskonzepte ohne Konflikte? Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg, Heft 2, S. 40-43 (1994)
- [5] EIKMANN, Th. & KLOKE, A.: Nutzungs- und schutzgutbezogene Orientierungswerte für (Schad-) Stoffe in Böden - Eikmann-Kloke-Werte (2. überarbeitete und erweiterte Fassung). In ROSENKRANZ, D.; EINSELE, G. & HARREß, H.-M. (Hrsg.): Handbuch Bodenschutz 3590, S. 1-26, Erich Schmidt Verlag, Berlin 1993
- [6] RSU - Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (Hrsg.): Altlasten II. Sondergutachten Februar 1995. Metzler-Poeschel Stuttgart 1995
- [7] HUDEC
- [8] EIKMANN, S.; LIESER, U. & EIKMANN, Th.: Umweltmedizinisch-humantoxikologisch begründete Sanierungskriterien am Beispiel eines ehemaligen Zechengeländes und zukünftigen Gewerbeparks. Altlasten-Spektrum 2, 75-84 (1993)

*Univ.-Prof. Dr. med. Thomas Eikmann
Institut für Hygiene und Umweltmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen
Friedrichstraße 16
35385 Gießen*

Belastung des Grundwassers durch Schadstoffverlagerung im Verbreitungsgebiet der Rieselfelder südlich Berlins

Uwe Tröger und Martin Asbrand
Technische Universität Berlin

Einleitung

Die Rieselfelder im Berliner Umland wurden 1880 erstmals auf Anregung von Rudolf Virchow eingerichtet und bis 1914 auf eine Gesamtfläche von etwa 200 km² erweitert. Die geringe Vorflut der Spree ließ eine direkte Abwassereinleitung nicht länger zu. Neben dem hygienischen Aspekt stand auch eine Landnutzung auf dem unfruchtbaren Sandboden hinter der Idee der Abwasserbringung. Man glaubte dadurch Dünger zu sparen, da das Abwasser reich an Nährstoffen war, die von den Pflanzen dringend benötigt wurden. In diesem Rahmen entstanden auch die Rieselfelder südlich Berlins, die im Mittelpunkt dieses Beitrages stehen. Da während des über 100jährigen Rieselfeldbetriebes erhebliche Mengen an Schadstoffen auf die Rieselfelder verbracht wurden und ein Eintrag in das Grundwasser zu befürchten war, initiierte 1991 das Landesumweltamt Brandenburg das Projekt „Rieselfelder südlich Berlins - Altlast, Grundwasser, Oberflächenwasser“, dessen vorläufige Ergebnisse hier vorgestellt werden.

Lage und Aufbau der Rieselfelder

Die Rieselfelder südlich Berlins liegen auf der Teltower Platte, einer Hochfläche, die zwischen dem Berlin-Warschauer und dem Baruther Urstromtal liegt (Abb. 1). Diese Morphologie machte die Verteilung des Schwarzwassers sehr einfach. Es wurde über die Standrohre an die höchste Stelle geleitet und lief von dort über Gräben gravitativ zu den einzelnen Schlägen und Tafeln. Mehrmals im Jahr wurde dann eine Tafel mit Abwasser beschickt, so daß mehrere Meter davon versickern konnten.

Die grundsätzliche Überlegung war, da keine künstliche Grundwasseranreicherung gewünscht war, das infiltrierende Wasser nach der Bodenpassage über die Drainagen abzuleiten. Da die gesamten Flächen voll drainiert waren, sollten die Nährstoffe von den Pflanzen verbraucht werden und das gefilterte Wasser über die Vorflut den Oberflächengewässern zufließen. Da die hydrogeologischen Kenntnisse des Areals zu dem damaligen Zeitpunkt nicht vorhanden waren, funktionierte das System nur teilweise. Der

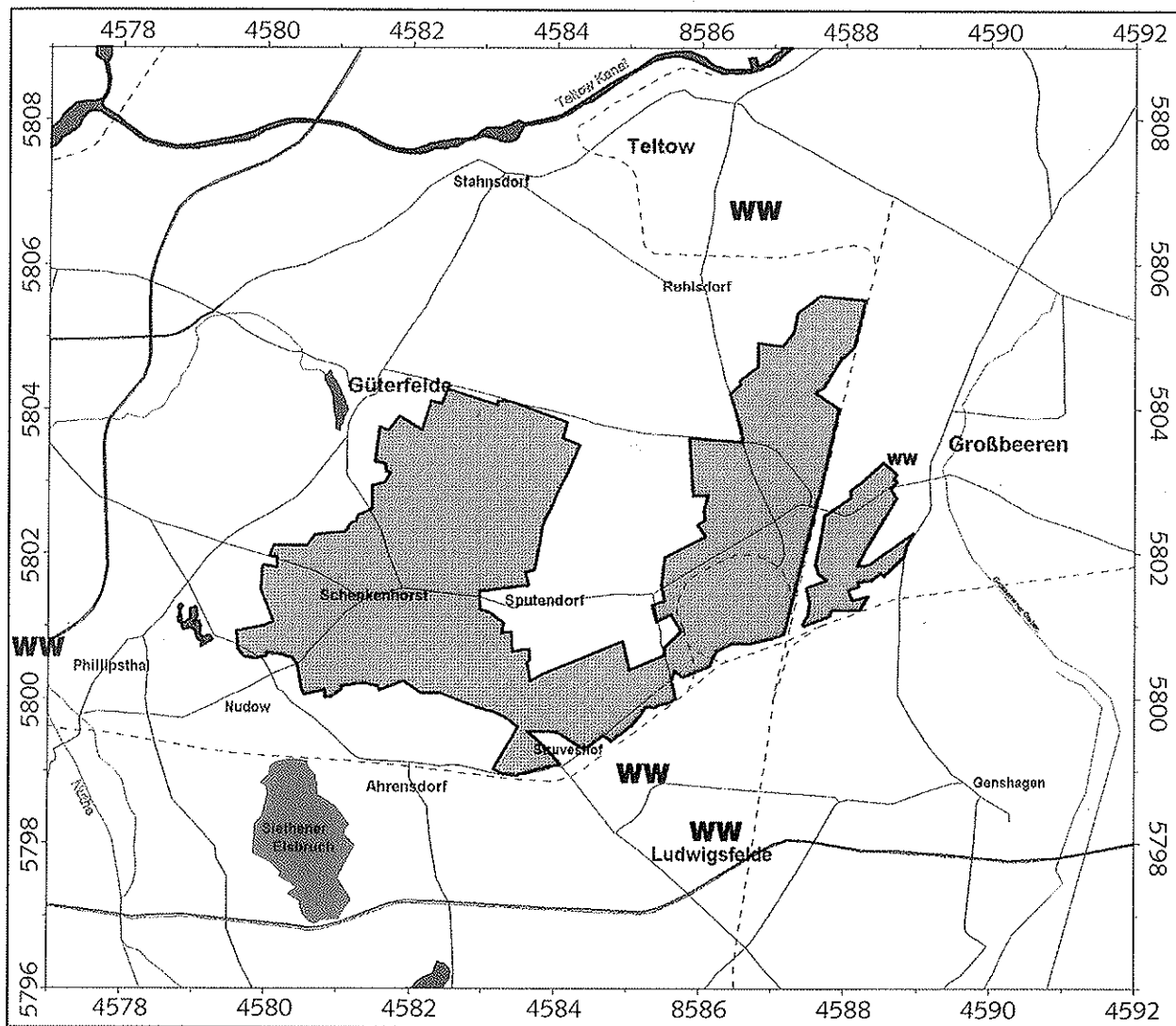


Abb. 1: Lage der im Auftrag des Landesumweltamtes Brandenburg bearbeiteten Rieselfelder südlich Berlins

tieferegelegene Grundwasserspiegel nahm den Drainagen die Funktion.

Geologie

Der geologische Aufbau der Rieselfelder ist im Säulenprofil (Abb. 2a) und in einem Querprofil (Abb. 2b) dargestellt. Deutlich kann erkannt werden, daß die saaleiszeitlichen Geschiebemergel nicht über das gesamte Profil durchhalten. Insgesamt können bis zu vier quartäre Grundwasserleiter kartiert werden. Die Basis stellen die miozänen Sande oder Braunkohleschluffe dar. Das tertiäre Grundwasser wurde durch die Rieselfeldwirtschaft nicht beeinflußt. Von wesentlicher Bedeutung sind der 2. und 3. Grundwasserleiter, aus denen in den Wasserwerken ENRO, Ludwigsfelde und Teltow das Grundwasser entnommen wird.

Grundwasserhydraulik

Die Grundwassergleichenpläne (Abb. 3a und 3b) machen deutlich, daß das Abwasser auf der morpho-

logisch höchsten Fläche aufgetragen wurde und von dort radial abströmt. Damit erfolgt der größte Teil der Grundwasserneubildung auf der Rieselfeldfläche. Dies trifft nicht nur für den ersten Grundwasserleiter zu, sondern auch für das 2. und 3. Stockwerk.

Die Einstellung der Verrieselung hat deshalb entsprechende Konsequenzen für den Grundwasserstand, der teilweise um über 2 bis 4 m fiel (Abb. 4). Da nur noch Regenwasser dem Grundwasser zusickert, ist der Grundwasserspiegel sehr rasch gefallen, und die Bäume, die früher im Kapillarsaum des Grundwassers wurzelten, haben die Trockenheit nicht lange überstanden.

Grundwasserbeschaffenheit

Nachdem über 100 Jahre Abwasser verrieselt wurde, sind erhebliche Schadstoffmengen auf die Rieselfeldtafeln aufgebracht worden. Dies hatte zur Folge, daß sowohl anorganische als auch organische Fracht mit dem Rieselwasser in den Boden eingetragen wurde.

Stratigraphie		Rechtswert Hochwert GOK [n ü NN]
Teufe	Schichtsäule	Beschreibung
0	Mu Mu Mu Mu	Mutterboden / Aufschüttung
		gr W1n / Holozän
-5		g W1 Brandenburger Stadium (qw1)
-10		gr W1v
-15		gr S2n
-20		g S2 Warthe (qs2)
-25		gf S2v gl S2 gf S1n gl S1
-30		g S1 Drenthe (qs1)
-35		gf S1v gl S1 f1 Holstein
-40		li Holstein
-45		f1 H
-50		gf E2n gl E2
-55		g E2
-60		gf E2v gl E gf E1n
-65		g E1
-70		g E1v gl E
-75		Braunkohleschluff
-80		Quarzsande
-85		Glimmersande
-90		

Abb. 2a: Säulenprofil der geologischen Schichten des Rieselfeldareals Berlin-Süd

Aufgrund der pH- und Eh-Bedingungen sowie ihrer -Löslichkeit blieben die Kontaminanten nicht nur in der oberen Krume gebunden, sondern sie wurden auch in das Grundwasser weitertransportiert. Abwassertypisch war jedoch die hohe Salzfracht, die nicht im Boden zurückgehalten wurde und bis in die tieferen Grundwasserstockwerke durchschlug. Diese Aufsalzung ist aufgrund der langen Betriebszeit inzwischen in den Wasserwerken Teltow und ENRO in die Brunnenfassungen gelangt, so daß dort nicht mehr das natürliche Grundwasser gefördert wird.

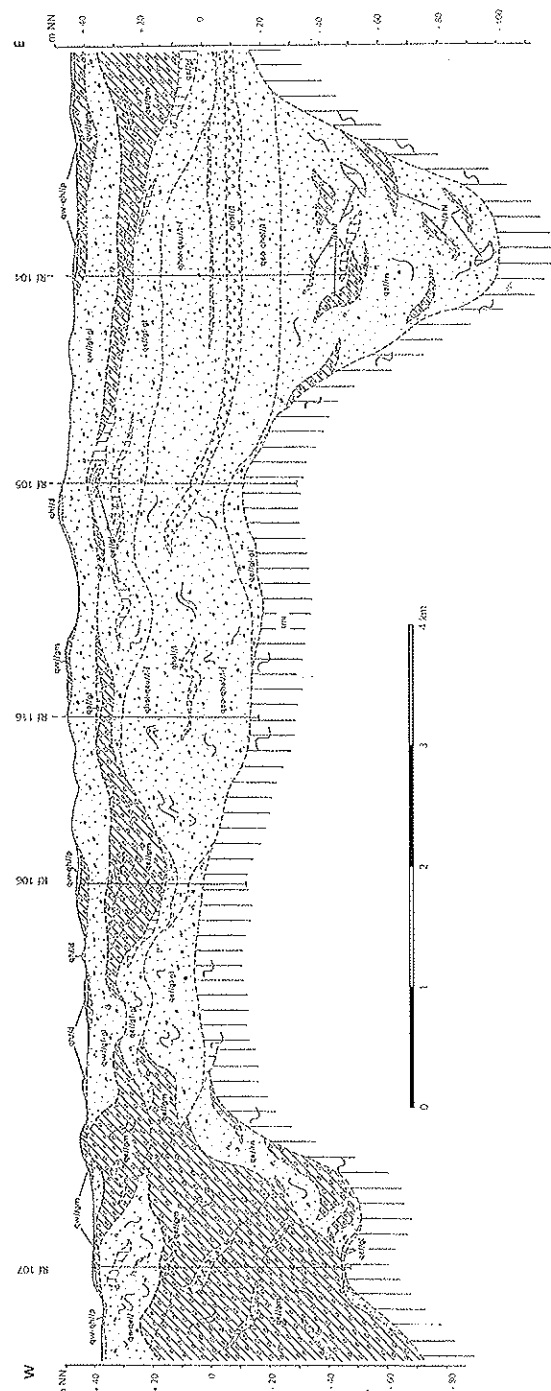


Abb. 2b: Geologischer Schnitt durch das Rieselfeldareal Berlin-Süd nach Hermsdorf

Schwermetalle sowie Stickstoffverbindungen und Phosphat wurden aber vom Untergrund auf dem Weg zum Wasserwerk bisher weitgehend zurückgehalten.

Abbildung 5 zeigt die Zusammensetzung eines unbelasteten Grundwassers und ein durch Rieselfeldbetrieb belastetes Grundwasser (oberster Grundwasserleiter). Im Letzteren liegen die Werte der Stickstoffkomponenten alle deutlich über dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung (TVO). Im unbeeinflussten Grundwasser erreichen diese Stick-

stoffwerte keinerlei Signifikanz. Die Phosphatgehalte sind ebenfalls stark erhöht und erreichen Konzentrationen des bis zu 50-100 fachen des Grenzwertes der Brandenburger Liste. Auch der Sulfatwert ist bereits bedenklich, da der Grenzwert erreicht wird. Die stark erhöhten Gehalte der anderen Salze sind ebenfalls deutlich (siehe auch Tab. 2).

Abbildung 6a und 6b zeigen die elektrischen Leitfähigkeiten des Grundwassers im ersten und im zweiten Grundwasserleiter. Während im ersten Grundwasserleiter die hohen elektrischen Leitfähigkeiten deutlich an die Rieselfeldareale gebunden sind, ist nach dem Durchströmen des ersten Grundwasserhemmers eine Auflösung dieser scharfen Grenzen deutlich zu vermerken. Einmal zeigt sich, daß die Salze nahezu ungehindert durch den Geschiebemergel transportiert werden, denn die Maxima sind nur geringfügig verlagert, andererseits wird deutlich, daß der Grundwasserstrom die Salze radial von den Rieselfeldern in alle Richtungen verfrachtet hat. Diese Fracht erreicht auch den dritten Grundwasserleiter, so daß die Salze ungehindert in die Wasserwerke Teltow und ENRO gelangen.

Eine geologische Sondersituation nimmt das Wasserwerk Rehbrücke ein. Zwischen den Brunnenfassungen und den Rieselfeldern sind unterhalb eines 20 m mächtigen sandigen Grundwasserleiters über 100 m mächtige Schluff-Feinsand-Serien abgelagert, die den westlichen Grundwasserstrom der Rieselfelder nach Süden und Norden abdrängt. Die Alimentation des Wasserwerks erfolgt damit im wesentlichen westlich der Rieselfelder, so daß vermutlich nur ein sehr geringer Anteil des geförderten Grundwassers rieselfeldbürtig ist.

Clofibrinsäure

Die Analysen des Grundwassers aus dem Rieselfeldareal ergaben keinen Nachweis für Pflanzenschutzmittel. Dafür konnte die Clofibrinsäure nachgewiesen werden. Die aus der Pharmaindustrie stammende Substanz wird als Lipidsenker seit den späten 50iger Jahren als Medikament eingesetzt. Sie bildet keine Metabolite und ist äußerst stabil im Grundwasser und wird, wenn überhaupt, nur unwesentlich absorbiert. Da auch Geschiebemergel kein Hindernis für die Clofibrinsäure darstellen, eignet sie sich als Markierungsmittel. Ihre Verteilung im Rieselfeldareal (Abb. 7) macht den Einfluß des Abwassereintrages deutlich.

Clofibrinsäure ist nur mit sehr großem analytischem Aufwand festzustellen, dafür dann allerdings in geringsten Spuren. Die human- und umwelttoxischen Eigenschaften der auftretenden Konzentrationen sind noch unbekannt.

Schwermetalle

Die Acidität des Bodenwassers und Altanalysen ließen in besonders hohem Maße eine Kontamination des Grundwassers mit Schwermetallen vermu-

ten. Die Analytik konzentrierte sich deshalb besonders auf diese Elementgruppe. Nachdem im Oberboden ein teilweise sehr großer Schadstoffpool durch die bodenkundlichen Untersuchungen der Universität Potsdam festgestellt wurde, wurde vermutet, daß ein großer Teil der Schwermetalle auch in das Grundwasser gelangte. Die Tabelle 1 macht den Schwermetalleintrag in das Grundwasser des 1. Grundwasserleiters deutlich. Ein Transport in den 2. Grundwasserleiter hat weitestgehend nicht stattgefunden.

Auch an den Sedimenten der tieferen ungesättigten Zone konnten anthropogen bzw. Rieselfeld bedingte Schwermetalle nachgewiesen werden, ebenso im Geschiebemergel am Top des 1. Grundwasserleiters. Die Konzentrationen sind aber insgesamt als gering zu bezeichnen. Das Grundwasser des ersten Grundwasserleiters ist insbesondere durch Kupfer und Nickel kontaminiert. Es wurden auch Überschreitungen der Zinkkonzentration festgestellt. Vor allem die toxisch relevanten Schwermetalle Blei, Cadmium und Quecksilber wurden nicht nachgewiesen. Tabelle 2 zeigt den Kontaminationsgrad des Grundwassers im ersten Grundwasserleiter.

Organische Kontaminationen

Tabelle 2 verdeutlicht, daß nicht nur Schwermetalle und anorganische Hauptinhaltsstoffe im Wasser über dem Grenzwert analysiert werden konnten, sondern auch chlorierte Kohlenwasserstoffe, bis hin zum hochtoxischen Vinylchlorid, kommen zum Teil in erheblichen Konzentrationen vor. Jedoch sind nur wenige Lokalitäten betroffen; alle anderen können wegen der geringen Konzentrationen außer Acht gelassen werden. Bei den betreffenden Lokalitäten wird davon ausgegangen, daß die Kontamination nicht über das Abwasser auf die Rieselfelder gelangt, sondern daß die Tatsache genutzt wurde, daß hier Abwasser verbracht wurde und das Ablassen aus anderen Quellen nicht bedeutend sein würde.

Eine flächenhafte durch die Rieselfeldwirtschaft verursachte Kontamination mit organischen Schadstoffen mit grenzwertüberschreitendem Charakter konnte nicht nachgewiesen werden. Pestizide, die in starkem Maße auf den stillgelegten Flächen vermutet wurden, konnten nur in Spuren oder gar nicht nachgewiesen werden.

Strömungs- und Transportmodell

Um den Einfluß der Aufsatzung in den Brunnenfassungen einschätzen zu können und den Transportpfad des Abwassers im Untergrund nachzuvollziehen, wurde ein **Strömungs- und Transportmodell (FEFLOW)** ausgearbeitet. Chlorid wurde als zu modellierender Stoff gewählt, da es zum einen ein typischer, durch die Rieselfeldwirtschaft eingetragener Stoff ist und zum anderen als Durchläuferion so gut wie überhaupt nicht absorbiert oder getauscht wird.

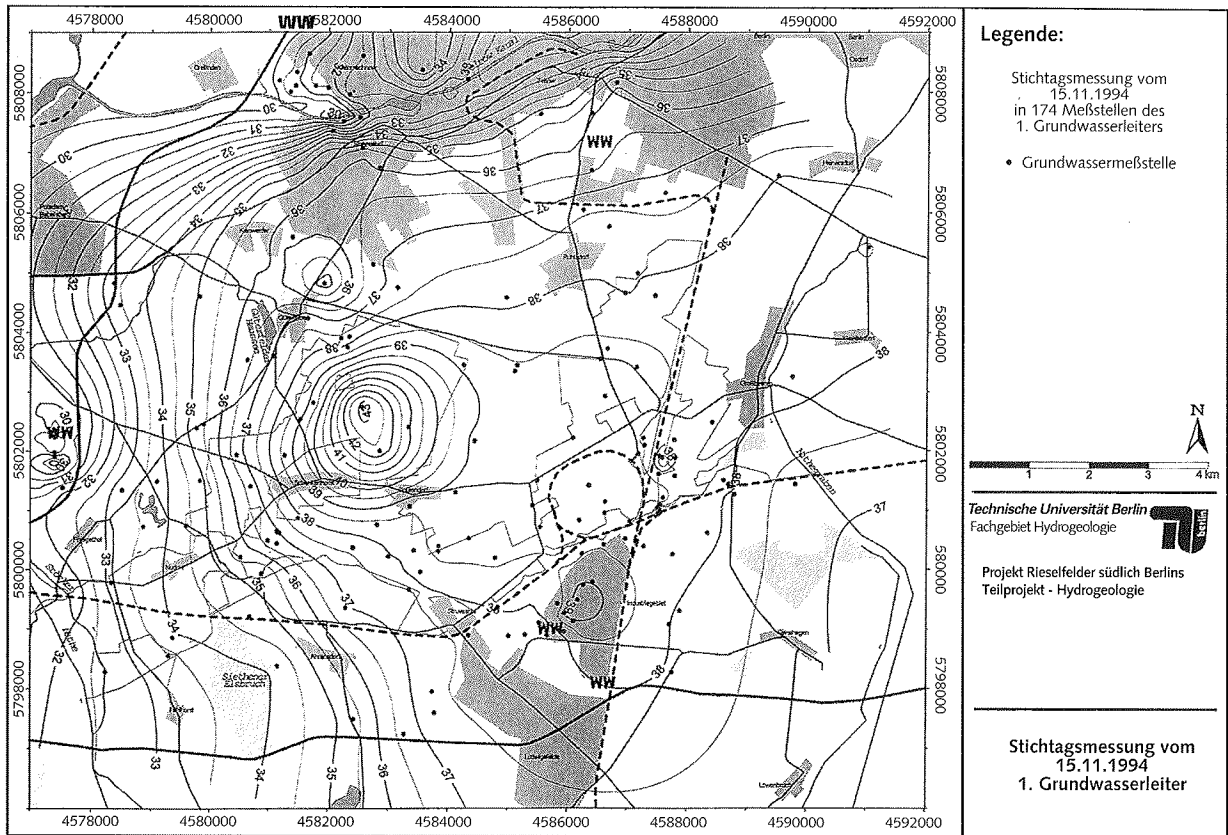


Abb. 3a: Grundwassergleichenplan für den 1. Grundwasserleiter am 15.11.1994 gemessen

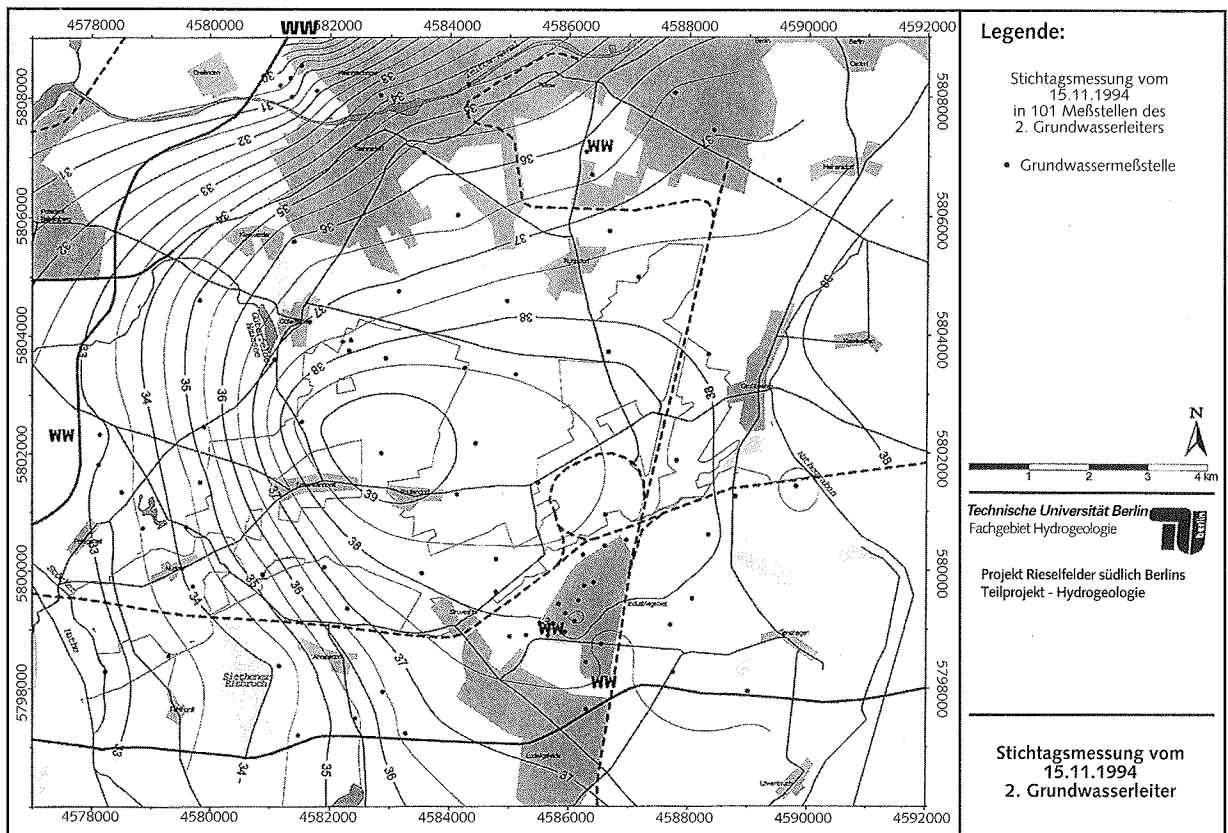


Abb. 3b: Grundwassergleichenplan für den 2. Grundwasserleiter am 15.11.1994 gemessen

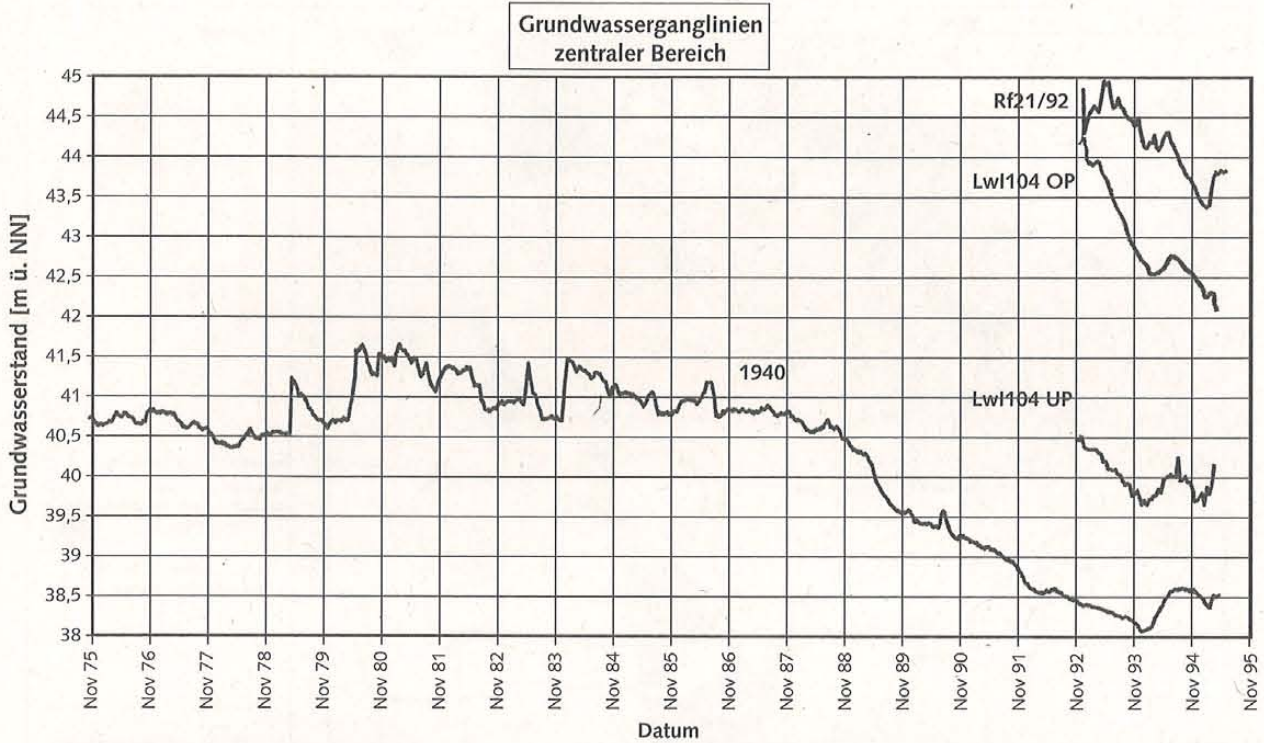


Abb. 4: Grundwasserganglinien für die Rieselfelder südlich Berlins

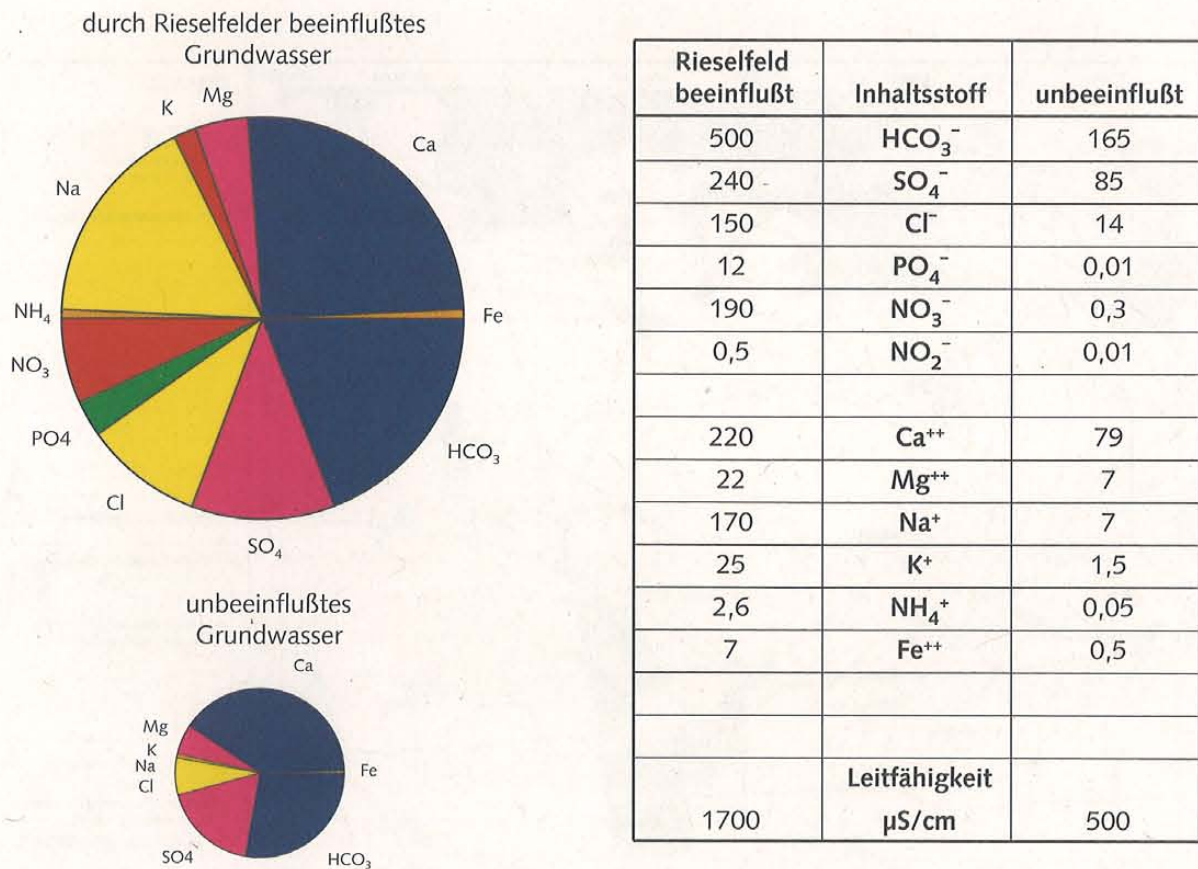


Abb. 5: Durchschnittlich berechnete Inhaltsstoffe im natürlichen und im rieselfeldbeeinflussten Grundwasser (1. Grundwasserleiter)

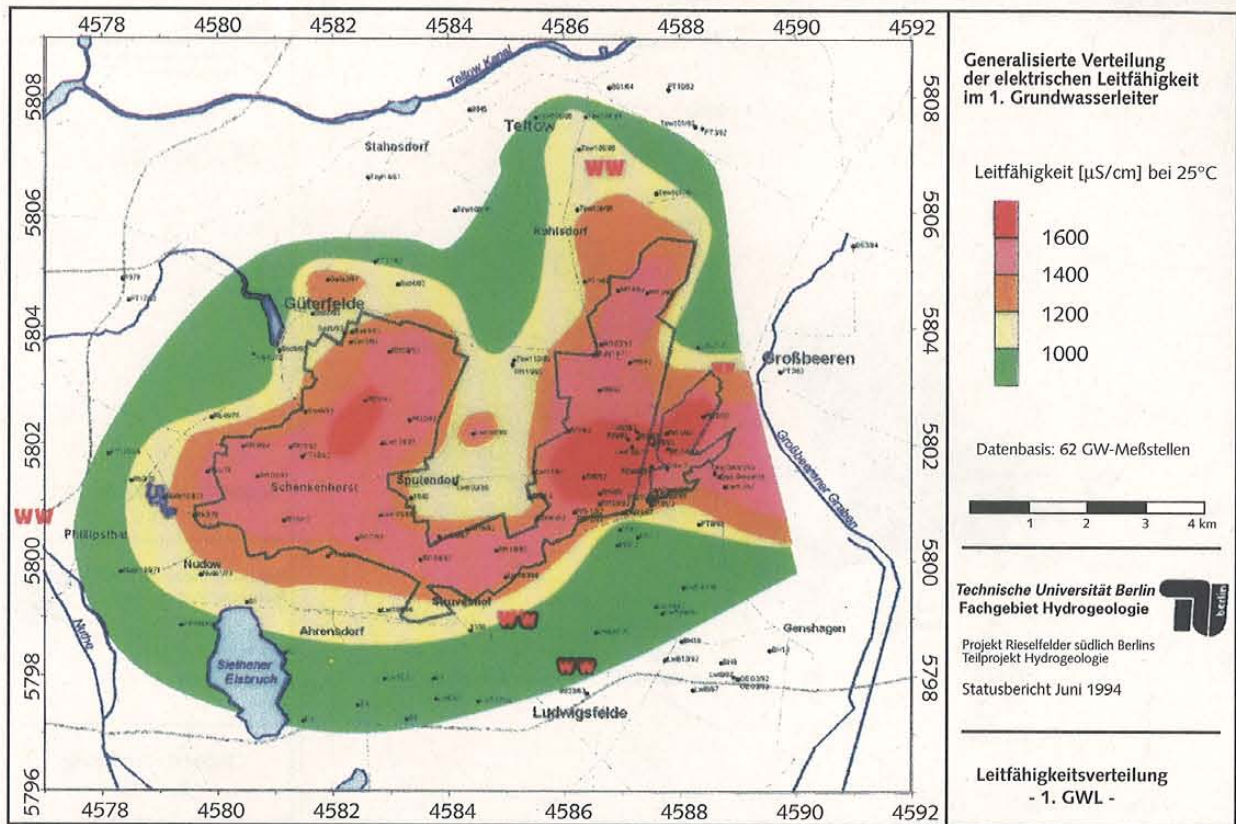


Abb. 6a: Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit im 1. Grundwasser

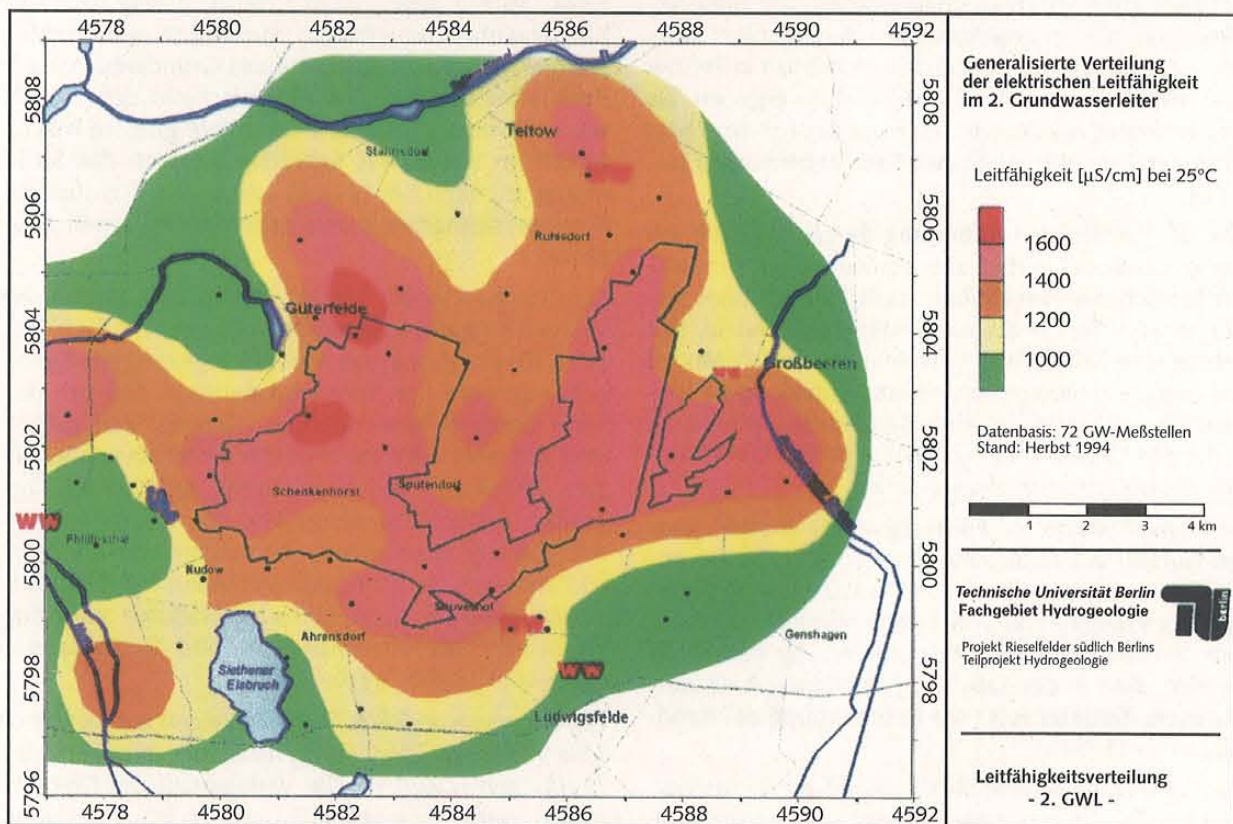


Abb. 6b: Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit im 2. Grundwasser

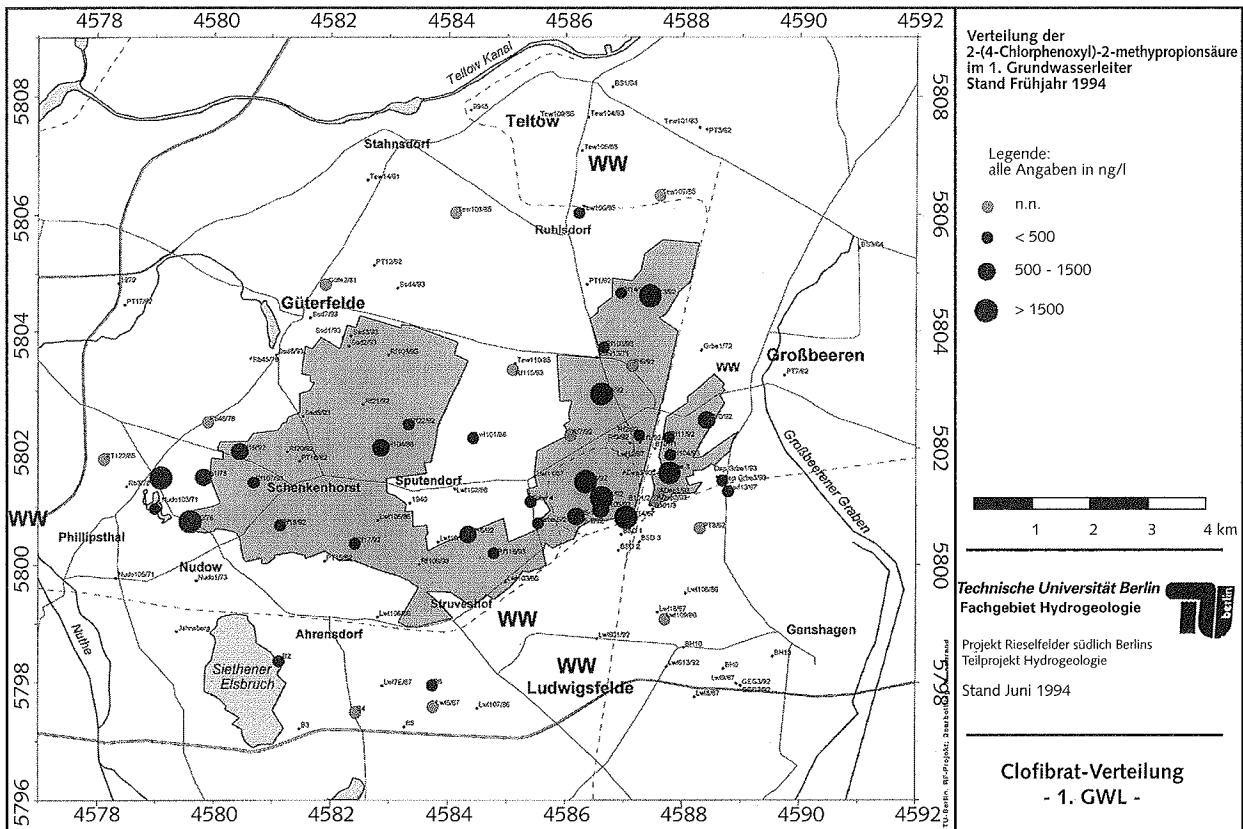


Abb. 7: Vorkommen der Clofibrinsäure im Grundwasser des Rieselfeldes des 1. Grundwasserleiters

Die Eichung des Modells konnte an den vorhandenen, sehr detailliert aufgenommenen Durchlässigkeitsbeiwerten vorgenommen werden. Die Altersbestimmung, die im Projektrahmen durchgeführt worden war, hatte bereits für das Grundwasser in Teltow ein wesentlich jüngeres Bildungsdatum ergeben, als dies vermutet wurde, was wohl auf der Fehleinschätzung der Durchlässigkeit des Geschiebemergels beruhte.

Wie die Profillinie in **Abbildung 8a** zeigt, wurde ein zweidimensional-vertikales Modell vom zentralen Bereich der Rieselfelder nach Norden über das Wasserwerk Teltow bis zum Teltowkanal erstellt. Der geologische Schnitt ist im zweidimensionalen Modell aus den Darstellungen ersichtlich. **Abbildung 8c** verdeutlicht ebenfalls die Grundwasserdrucklinie und damit den Gradienten, von dem während der Verrieselung ausgegangen werden mußte.

Verwendet wurde ein Finite-Elemente-Modell, dessen Aufbau aus **Abbildung 8b ersichtlich ist.** Dargestellt ist der Netzaufbau und die Lage von Brunnen und des Wasserwerks von Teltow im räumlichen Zusammenhang. **Die Modellparameter, die verwendet wurden, sind in der Tabelle in **Abbildung 8** wiedergegeben; darunter folgt die Beschreibung der Randparameter (S. 54).**

Aus Darstellung 8c sind die Geologie und die Stromlinien für das Grundwasser zu ersehen. Gezeigt wird, wie das Grundwasser von der Oberfläche sich erst vertikal und dann horizontal bewegt. In Abhängig-

keit von den geologischen Schichten bewegt sich das Grundwasser unterschiedlich schnell zum Wasserwerk. Sofern durch nicht erfaßte geringmächtige Kiesschichten bevorzugte Fließwege ausgebildet wurden, kann die Bewegung des Grundwassers auch noch schneller sein. Die Mergelschicht des Grundwasserhemmers behindert durch ihre größere Mächtigkeit im Süden des Schnittes deutlich das Strömungsverhalten des Grundwassers, was sich auch im Transportverhalten in den Schnitten **8d bis 8i** ausdrückt.

Die Graphen in der unteren linken Ecke stellen die Veränderung des hydraulischen Gradienten über 200 Jahre für einzelne in das Modell eingegangene Beobachtungsröhre dar. Hier wird deutlich, daß sich der hohe Gradient innerhalb von kürzester Zeit aufgebaut hat, aber auch dann wieder innerhalb von wenigen Jahren auf sein altes Niveau gefallen ist. Die großen Gradientensprünge sind dem zentralen Rieselfeldgebiet zuzuordnen, die mittleren dem Rieselfeldrand und die geringsten Veränderungen werden im Wasserwerk selbst erreicht. Dadurch wird der Transport erheblich verlangsamt und die Abstandsgeschwindigkeiten werden größer.

Die Transportmodellrechnungen zeigen auf anschauliche Weise, wie der Eintrag nach den verschiedenen Zeiträumen erfolgt ist. Die Verlagerung des Chlorids erfolgt zuerst nur vertikal und geht recht schnell vonstatten, da der Gradient sofort aufgebaut wird. Nach 50 Jahren erreicht das Chlorid bereits das Wasser-

Tab. 1: Schwermetalle im Grundwasser aus 531 Analysen aus 160 Kunststoffpegeln

Element	Einleitwert mg/l	Meßstellen mit Einleitungswertüberschreitung		Eingreifwert mg/l	Meßstellen mit Eingreifwertüberschreitung	
		Anzahl	Anteil am Meßstellennetz		Anzahl	Anteil am Meßstellennetz
Zn	0,5	0	0%	1,0	0	0%
Cu	0,025	7	4,4%	0,040	4	2,5%
Pb	0,040	0	0%	0,040	0	0%
Co	0,020	5	3,1%	0,050	0	0%
Cd	0,005	1	0,6%	0,005	1	0,6%
Ni	0,050	12	7,5%	0,050	12	7,5%
Cr	0,050	0	0%	0,050	0	0%
As	0,040	0	0%	0,040	0	0%
Sn	0,020	4	2,5%	0,040	1	0,6%
Hg	0,001	0	0%	0,001	0	0%
mindestens eine Grenzwert- überschreitung		18	11,3%		15	9,4%

Tab. 2: Konzentrationsbereiche und Grenzwertüberschreitungen von umweltrelevanten Inhaltsstoffen im Grundwasser des 1. Grundwasserleiters

Parameter	dominierender Konzentrations- Bereich	über Grenzwert der Brandenburger Liste	Maximal - Bereich
Cu	bis 80 µg/l	25% über 40 µg/l	160 µg/l
Ni	bis 40 µg/l	15% über 50 µg/l	120 µg/l
Sn	< 10 µg/l	15% über 40 µg/l	80 µg/l
Zn	20 bis 1000 µg/l	keine über 1000 µg/l	800 µg/l
NO ₃	bis 200 µg/l	50% über 40 µg/l	> 500 µg/l
NH ₄	0,25 bis 2,5 µg/l	40% über 0,5 µg/l	> 50 µg/l
PO ₄	bis 10 µg/l	40% über 0,5 µg/l	> 135 µg/l
SO ₄	150 bis 240 µg/l	20% über 240 µg/l	> 500 µg/l
DOC	10 bis 30 µg/l		70 µg/l
AOX	20 bis 100 µg/l		400 µg/l
CKW	bis 30 µg/l	15% über 25 µg/l	60 µg/l
Vinylchlorid		10% über 1 µg/l	10 µg/l
4-CP (Clofibrinsäure)	0,5 bis 2 µg/l		4 µg/l
PAK		wurden bisher vereinzelt nachgewiesen	
PCB			
Phenole			
Pestizide		nur weit unter 0,1 µg/l	

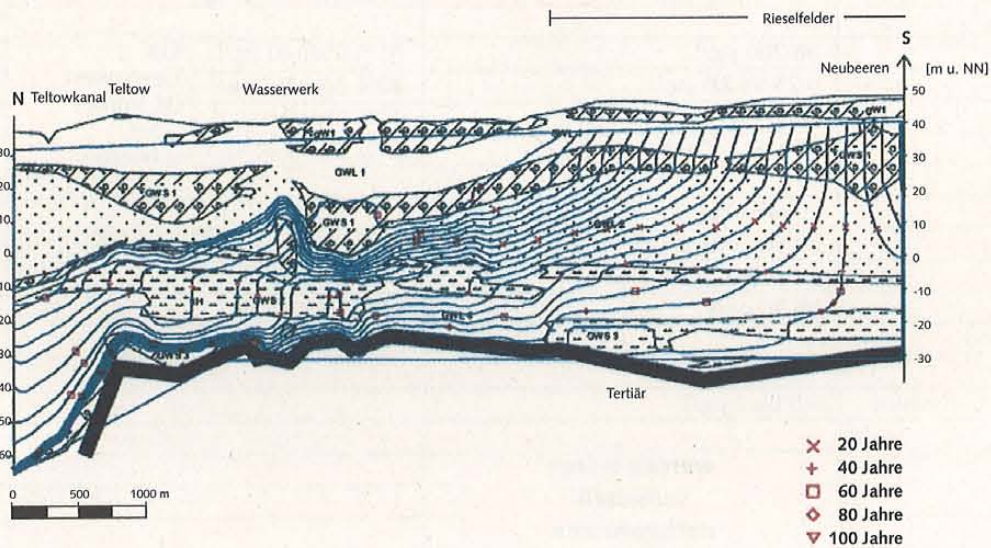
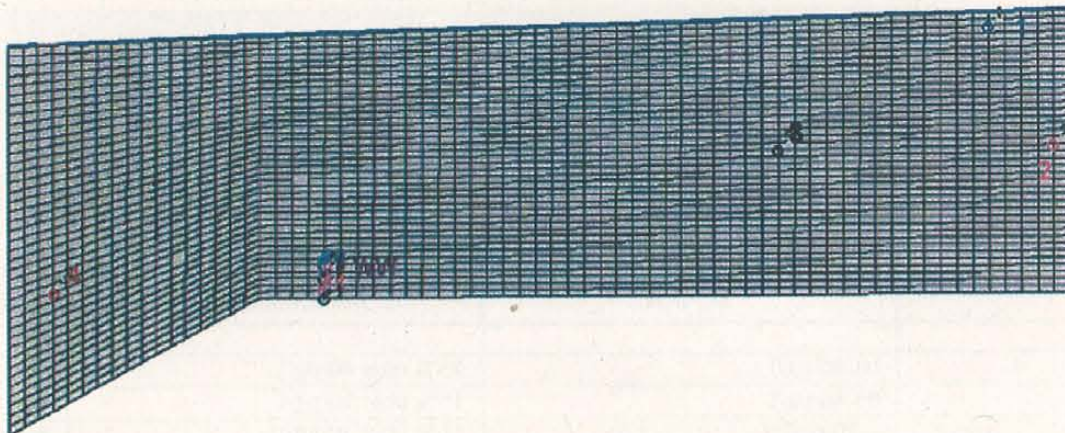
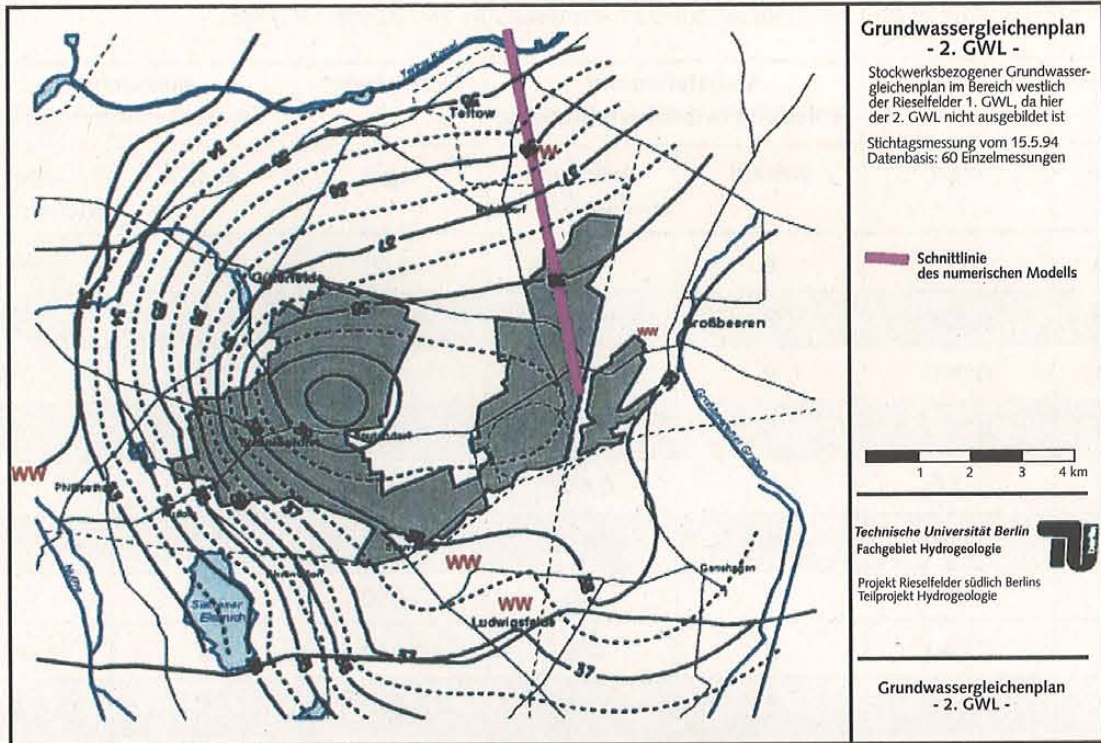


Abbildung 8a bis 8c

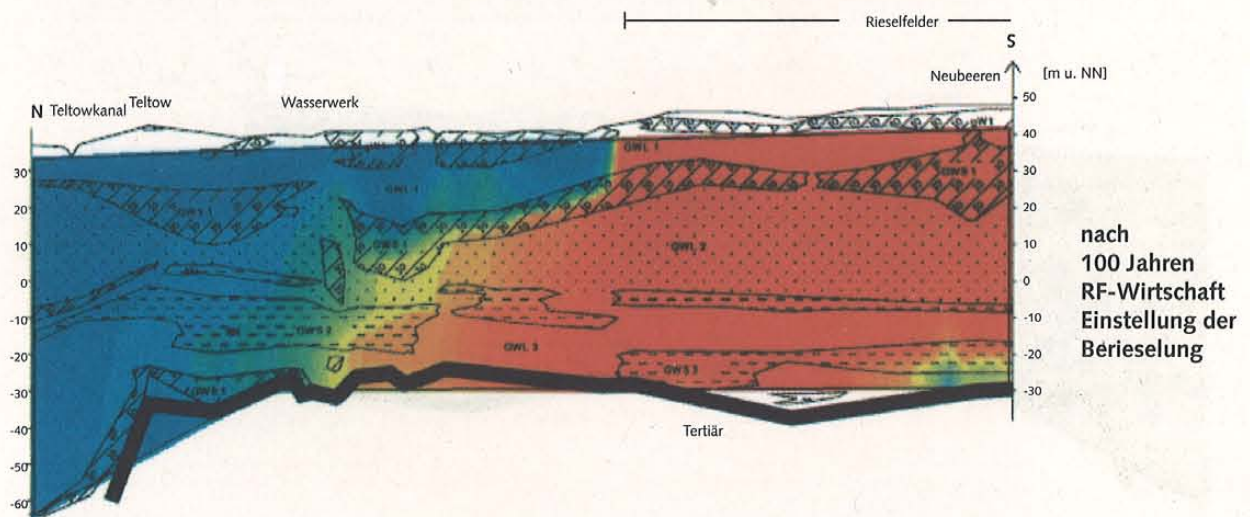
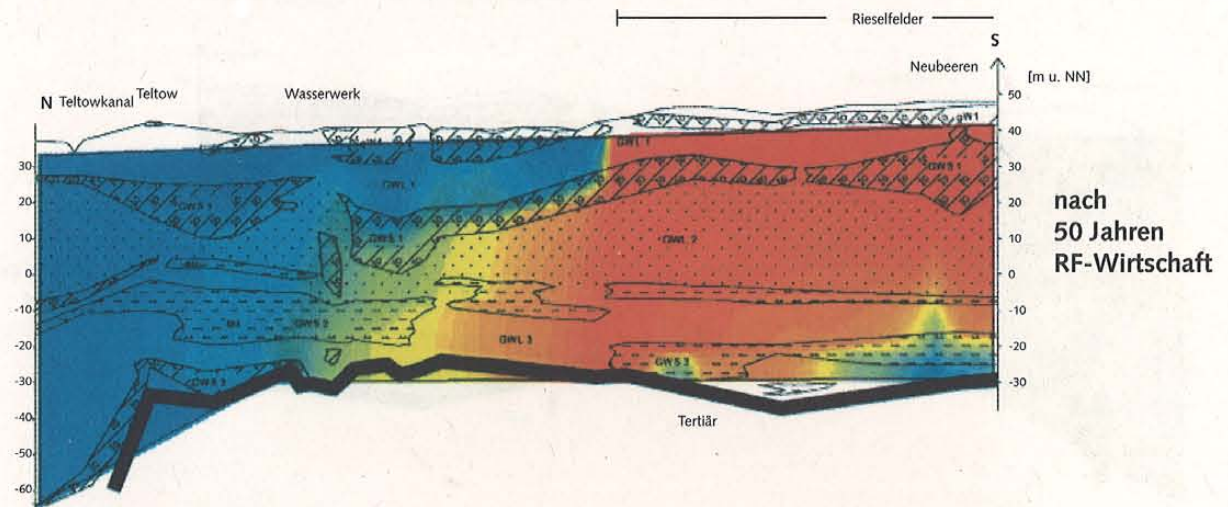
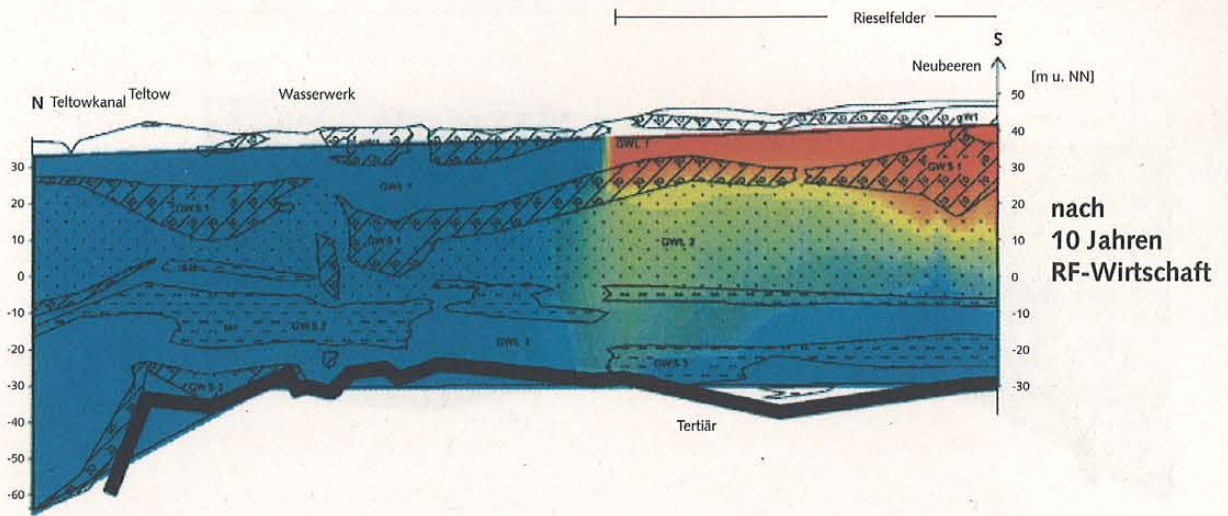


Abbildung 8d bis 8f

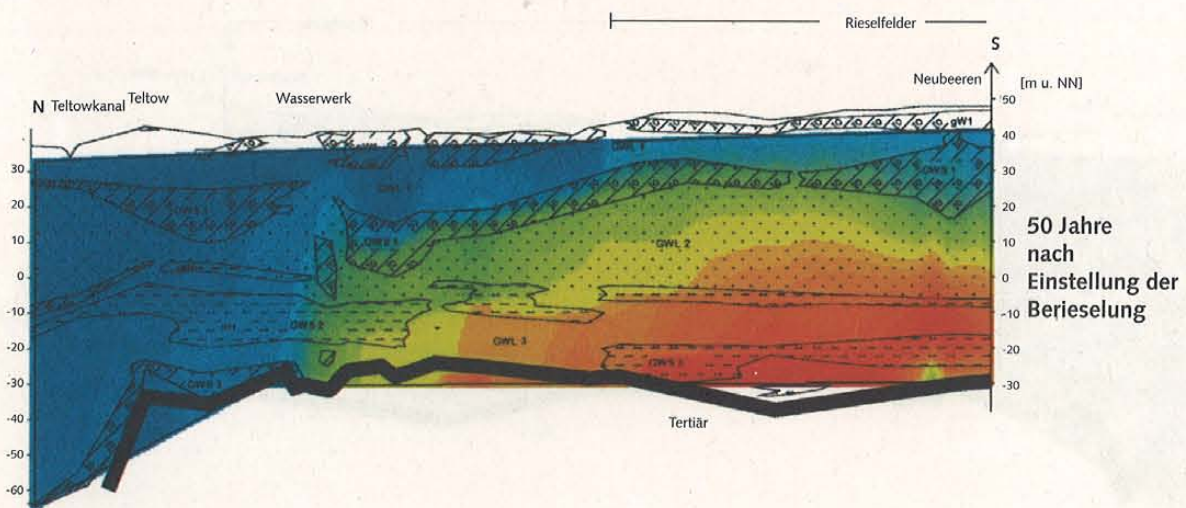
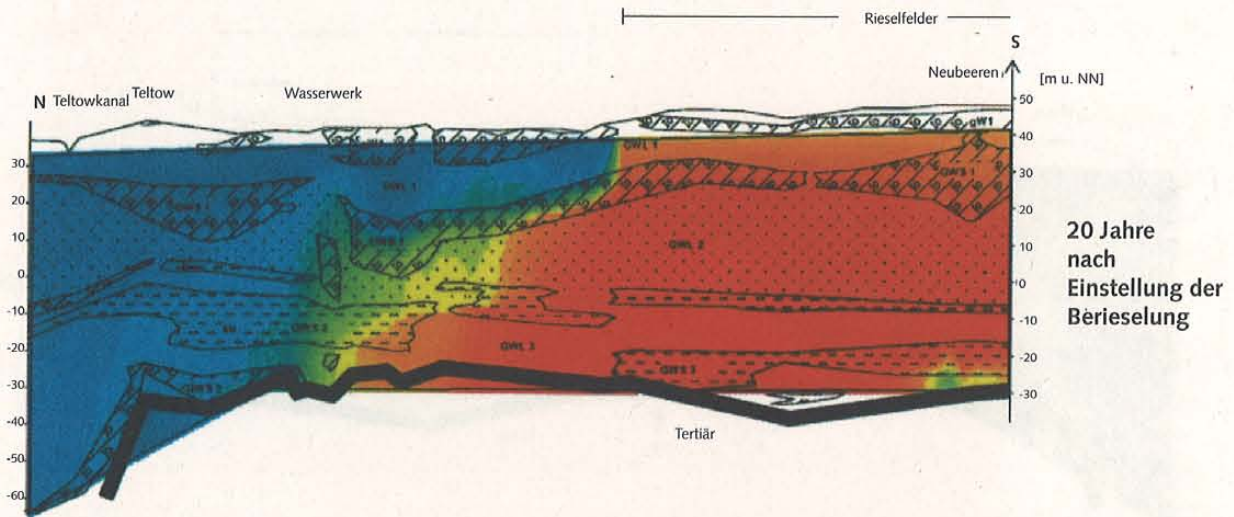
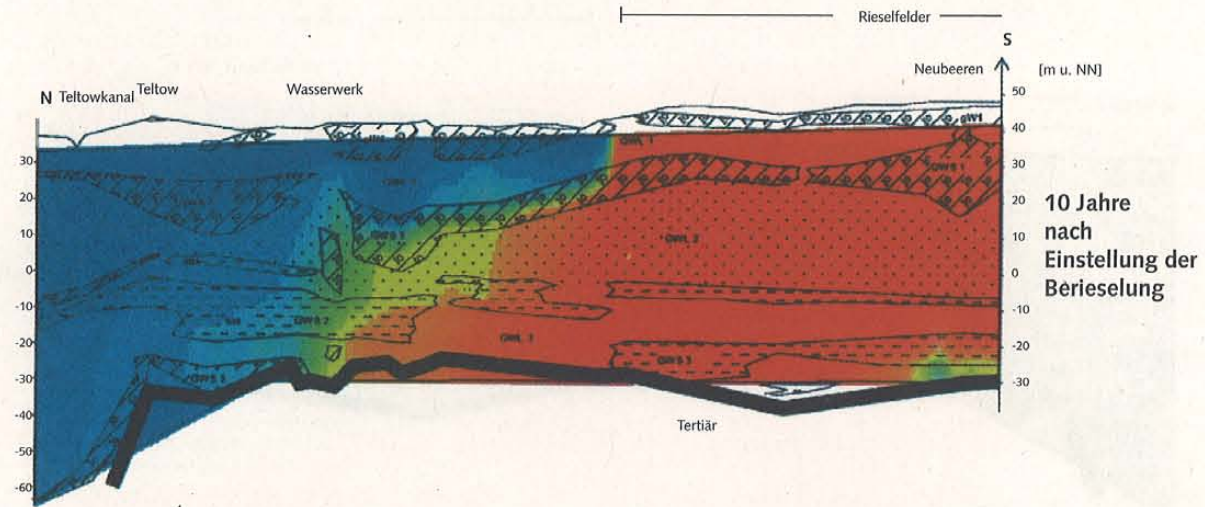


Abbildung 8g bis 8i

Modellparameter

Strömungsparameter

	kf-Wert $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	Speicherkoefizient	Anisotropie
1. GWL	2×10^{-4}	10^{-4}	0,2
1. GWLS	10^{-6}	10^{-4}	1
2. GWL	6×10^{-4}	10^{-4}	0,2
2. GWLS	10^{-6}	10^{-4}	1
3. GWL	4×10^{-4}	10^{-4}	0,2

Randbedingungen:

Grundwasserneubildung $3,3 \times 10^{-4} / 4,9 \times 10^{-4} / 10 \times 10^{-4} (\text{m} \cdot \text{d}^{-1})$
 () Rieselfeld während der Berieselung

Transportparameter:

Stoff: Chlorid
 Porosität: 20%
 Adsorption: 0
 longitudinale Dispersion: 25 m
 transversale Dispersion: 2 m
 Zerfall/Abbau: 0

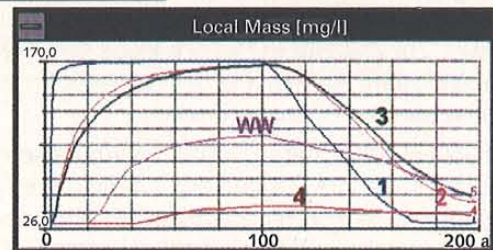
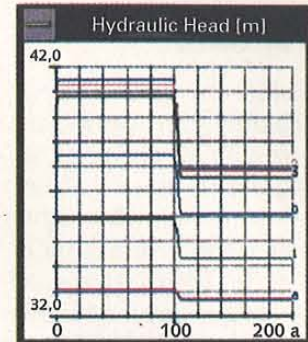
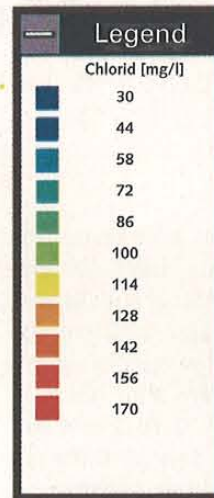


Abb. 8: Ab Seite 51 von oben nach unten Abbildungen 8a bis 8i; Beschreibungen siehe Text

werk Teltow und bewirkt eine Aufsatzung des Grundwassers. In diesem Zusammenhang muß nochmals darauf hingewiesen werden, daß es im Bereich der Teltower Platte zu keiner Durchmischung mit anderem Grundwasser kommt, da die Grundwasserstände hier am höchsten liegen. Nur der Niederschlag sorgt für eine geringe Verdünnung des Abwassers, das auf die Rieselfelder aufgetragen wird. Im Wasserwerk ist somit lediglich von Norden her, aufgrund der natürlichen Grundwasserneubildung, mit einer weiteren Verdünnung zu rechnen. Das geförderte Grundwasser ist zu 70 bis 80% rieselfeldbürtig.

Nach 100 Jahren Rieselfeldwirtschaft ist das Chlorid bereits maximal verteilt. Es wird deutlich, daß das Wasserwerk Teltow eine Barriere in diesem Bereich darstellt und sich das Chlorid nunmehr nicht weiter nach Norden ausbreitet. Die Grundwasserleiter 1, 2 und 3 weisen im Rieselfeldareal bis zu 170 mg/l Chlorid im Grundwasser auf. Selbst 50 Jahre nach der Einstellung der Abwasserverbringung werden noch Werte bis zu 150 mg/l Chlorid in den tieferen Grundwasserstockwerken zu messen sein.

Die Abbildungen 8g - 8i zeigen, wie die Aussüßung des Grundwassers erfolgt. Die Vertikalkomponente dominiert ebenfalls in dem zweidimensionalen Schnitt. Die Veränderung im Wasserwerk Teltow ist selbst nach 50 Jahren noch nicht sehr deutlich ausgeprägt. Es bedarf einer wesentlich längeren Zeit, sofern der Niederschlag unverändert bleibt, bis unbeeinflusstes Grundwasser den Brunnenfassungen zuströmt.

Zusammenfassung

Im eigentlichen Rieselfeldareal dominiert vor allem im 1. Grundwasserleiter eine vertikale Grundwasserströmungskomponente. Erst in den Randbereichen der Rieselfelder überwiegt im 2. und 3. Grundwasserleiter eine horizontale Grundwasserströmungskomponente.

Daher kann alles rieselfeldbürtige Grundwasser nach Vertikalpassage des 1. Grundwasserleiters und 1. Grundwasserhemmers mit den hierbei ablaufenden Abbau- und Adsorptionsprozessen das Rieselfeldareal verlassen.

Die Vermischung des rieselfeldbürtigen Grundwassers im Abstrom der Rieselfelder mit unbelastetem Grundwasser ist gering. Daher liegt der Anteil des abwasserbürtigen Grundwassers der Trinkwasserförderung der Wasserwerke Teltow und ENRO zwischen 50 und 80%. Dies äußert sich in erheblichen Salzkonzentrationen, welche qualitätsbeeinträchtigend, aber nicht grenzwertüberschreitend, zu bewerten sind.

Prof. Dr. Uwe Tröger
 Dipl. Geol. Martin Asbrand
 Technische Universität Berlin
 Fachgebiet Hydrogeologie
 Helmholtzstr. 2-9, Haus 3
 10587 Berlin

Ökologisch verträgliche Rieselfeldnachnutzung

Hans-Dieter Portmann, Landesumweltamt Brandenburg

Einführung

Rieselfelder in ihrer heutigen Form sind hemerobe Landschaften, d.h. das Resultat aus einer überwiegend langfristig praktizierten Nutzung zur Abwasserreinigung in Form der Schwarzwasserbringung. Diese Art der naturräumlichen Abwasserreinigung war in den Rieselfeldern südlich Berlins zum Teil noch bis ins letzte Jahrzehnt gebräuchlich. Verbesserte Abwasserreinigungstechnologien in den Kläranlagen verdrängten sie ab den 30-iger Jahren zunehmend zugunsten mechanisch und biologisch gereinigter Abwässer. Zur Zeit gibt es faktisch keine Verrieselung von (gereinigtem) Abwasser in den Rieselfeldern mehr, ausgenommen zu Versuchszwecken.

Kennzeichen dieser naturräumlichen Abwasserreinigung war eine breite Varianz der auf die Rieselfelder insgesamt und jede Tafel einwirkenden anthropogenen Stoff- und Energieströme bezüglich Dauer, Qualität und Quantität. Unter Einbeziehung aller Nutzungen sind als übereinstimmende Wirkgrößen (exogener Antrieb) auf die Rieselfelder zu nennen:

0. Zeitlich begrenzte technische Maßnahmen (Bau der Wasserzuführungen, Becken, Gräben, Dränaugen, Dämme u.ä.) zur Gestaltung der Strukturelemente und damit der Rieselfeldstruktur mit dem Ziel der angestrebten Funktionssicherung.
1. Energieeintrag (über das Abwasser).
2. Bewässerung (Zusatzbewässerung mit Abwasser, periodisches Feuchtgebiet).
3. Multistoffeintrag (anorganische und organische Inhaltsstoffe des Abwassers als Nähr-, Schad- und Laststoffe).
4. Grünlandnutzung (begrenzte landwirtschaftliche Nutzung).

Diese dynamischen äußeren Einflüsse (1.-4.) prägten das komplexe System „Rieselfeld“ und führten zur Herausbildung von Systemverhaltensweisen, die die Kopplung von Rieselfeldumgebung und Rieselfeldstruktur als offenem System verdeutlichen. Die Rieselfeldfunktion ist von der pedogenetisch ursprünglich gleicher natürlicher Böden wegen der andersartigen Wirkungsverknüpfung der Systemelemente verschieden.

Als Ergebnis dieser Entwicklung treten typische (Rieselfeld-) Eigenschaften auf, die als Produkt aus Umwelteinwirkungen und wirksamer Systemselforganisation entstanden und sich in konkretem Systemverhalten manifestieren, so z.B.:

1. Rieselfeldstabilität, d.h. Funktionssicherung für die Dauer der Aufrechterhaltung des exogenen Antriebs (hemerobe Landschaft) und durch Eigen-dynamik.

2. Stabilität als Nichtgleichgewichtszustand des stationären Fließgleichgewichts.
3. Dynamisches Systemverhalten.
4. Überhöhter Gehalt an organischer Bodensubstanz (OBS) mit der damit verbundenen gesteigerten Fähigkeit zur Fixierung von Schad-, Last- und Nährstoffen, Erhöhung der Wasserhaltekapazität und der Erhöhung der Pufferkapazität.
5. Als Feuchtgebiet Element des Gebietswasserhaushalts und regionalen Klimas mit Kopplung zu Grundwasser, Vorflut und Klima (höhere Verdunstung).
6. Abwasserreinigung (insbesondere bei Schwarzwasser).
7. Veränderung der Bioaktivität und -diversität.
8. Zeitvariantes Gefahrenpotential.

Problematisierung

Aus der Kausalitätsbetrachtung für die Rieselfelder ist ableitbar, daß sich während ihrer zweckentsprechenden Nutzung infolge der systemprägenden Einflüsse ein metastabiler Gleichgewichtszustand, ein Stabilitätsfeld, eingestellt hat. Ein Ausfall der systemstabilisierenden Impulse bewirkt nach Erschöpfung der Belastbarkeit Instabilität durch Übergang in nichtstationäre Fließgleichgewichtsvorgänge. Dieser durch die Selbstorganisationskräfte des Rieselfeldsystems ausgelöste Stabilisierungsprozeß endet in einem neuen Stabilitätsfeld.

Die Geschwindigkeit des Überganges und die Lage des neuen Stabilitätsfeldes werden von der Art und Intensität der stofflichen und energetischen Änderung (wirksam entweder als Ausfall bisheriger Faktoren oder durch bewußte Erzeugung neuer Einflüsse) bestimmt.

Dementsprechend ist einzuschätzen, daß faktisch kein Rieselfeldschlag südlich Berlins derzeit mehr eine Systemstabilisierung erfährt, da die Abwasserverrieselung eingestellt wurde. Anders ausgedrückt, je nach Zeitpunkt des Ausbleibens der Systemstabilisierung in Form der Auffassung und Umnutzung befinden sich die betreffenden Rieselfelder unterschiedlich weit von der Einstellung neuer stationärer Zustände entfernt, d.h. im nichtstationären Fließgleichgewicht zwischen bisheriger und neuer Systemstabilität. Es wird damit eine reine Zeitfrage, abhängig vom diskreten Rieseltafel- und Schlagzustand, wann nach der Belastungsüberschreitung der jeweilige Übergang in das neue Stabilitätsfeld beginnt und wann er abgeschlossen sein wird. Sowohl längerfristig aufgelassene (brachgefallene) als auch (landwirtschaftlich)

umgenutzte Rieselfelder sollten ihre Belastbarkeitsgrenzen überschritten haben und sich in dieser Übergangsphase befinden.

Da eine verlässliche Verhaltensprognose z.Z. noch nicht sicher möglich ist, bleibt alternativ z.B. die Ist-Zustandserfassung im Feldversuch und der Aufbau von Zeitreihen zur ökosystemar sinnvollen Verhaltensfassung. Eine ergänzende Möglichkeit besteht in der retrospektiven Trendabschätzung von Teilprozessen oder der szenarischen Entwicklung wesentlicher Systemeigenschaften auf der Grundlage gesicherter Erkenntnisse. Beide Varianten sind Kompromisse und können keine Systemprognose ersetzen. Von praktischem Nutzen ist das Wissen um die Komplexität der realen Einflüsse, Vorgänge und Wechselwirkungen im Rieselfeld als einem offenen, dynamischen Geosystem, gewissermaßen als Selbstschutz vor unzulässigen Vereinfachungen oder ungesicherten (spekulativen) Schlußfolgerungen, aber auch als Grundlage für ökonomisch vertretbare Nachnutzungsempfehlungen.

Um einer Lösung, d.h. hier der geoökologisch determinierten Rieselfeldnachnutzung näher zu kommen, bedarf es der Ableitung von Anforderungen, die sich aus der geosystemaren Betrachtung ergeben. Unter Bezug auf die eingangs benannten Rieselfeldkausalitäten läßt sich qualitativ ableiten:

- A. Die Aufrechterhaltung der Rieselfeldstabilität über die ursprünglichen Nutzungskriterien ist aus verschiedenen Gründen nicht mehr vorgesehen. Ersatzvarianten müssen damit eine kontrollierte Destabilisierung des Rieselfeldsystems gewährleisten und ein bezüglich der Gefährdungspotentiale beherrschbares Übergehen in ein neues Stabilitätsfeld ermöglichen. Nur letzteres scheint unter geosystemaren Gesichtspunkten sinnvoll.
- B. Eingeschränkte Auswahl neuer Nutzungen in Form ihrer Parameter wegen der Vermeidung von negativen Auswirkungen auf die Systemverhaltensweise und Systemgrößen wie die organische Bodensubstanz, die Bodenwassermenge, die Pufferkapazität, das Redoxpotential sowie die Strukturstabilität.
Ausgeschlossen werden sollten destabilisierende Wirkungen wie z.B. die beschleunigte Mineralisierung der organischen Bodensubstanz, ein dauerhaftes aerobes Milieu, die Destrukturierung des Rieselfeldbodens durch Gefügezerstörung bei gleichzeitigem Energieeintrag, vegetationsfreier Boden, Trockenfallen, zunehmende Versauerung, Veränderung der Bioaktivität und -diversität.
- C. Beibehaltung der Rieselfeldfunktion als Feuchtgebiet und damit Regler im regionalen Wasser- und Klimahaushalt.

Die Aspekte A und B können widerspruchsfrei zur Erhaltung der hemeroben Rieselfeldlandschaft, nicht aber aller ihrer bisherigen Funktionen, genutzt werden. Eine Abwasserreinigung alter Form ist inzwi-

schen überflüssig geworden, da mechanisch/biologisch und zunehmend weitergehend chemisch gereinigte Abwässer zur Verfügung stehen. Von erheblicher Bedeutung hinsichtlich der Freisetzung von Schad- und Laststoffen bleibt die Aufrechterhaltung der abiotischen Funktion der Bodenpuffersysteme zur Vermeidung irreversibler Schädigungen. Saure Niederschläge und protonenliefernde Bodenreaktionen sind möglichst schon über das Bodenwasser abzupuffern.

In Abbildung 1 sind wesentliche Wirkungsbeziehungen geophysikalisch-geochemischer, ökologischer und technogener Art in Anlehnung an KLUG u. LANG [1] für das Geosystem Rieselfeld zusammengestellt. Mittels der Grundstruktur dieses Geosystems soll dessen umfassendere Komplexität und Kausalität im Vergleich zum Ökosystem veranschaulicht werden.

Über die gleichzeitige Einwirkung natürlicher und anthropogener Umweltfaktoren (Klima und Zwecknutzung Abwasserversickerung) auf das Rieselfeld in Form von Energie- und Stoffeinträgen wird Biomasseproduktion ausgelöst. Da es sich um ein offenes, dynamisches und damit gekoppeltes System handelt, erzwingen die Reaktionen auf die Umwelteinwirkungen und die Eigendynamik Systemverhaltensweisen, die in einer Modifizierung der natürlichen Funktionen und einer spezifischen Ausprägung dominanter Eigenschaften münden. Bei genügend langfristiger Existenz des Geosystems entsteht ein stationäres Fließgleichgewicht mit balancierter Kopplung zur Umwelt über Energie- und Stoffein- und -austräge.

Diese grundsätzlichen Betrachtungen münden in die Frage, ob sich daraus abgeleitet, aus heutiger Sicht konkretere Kriterien und/oder Rahmenbedingungen für die erforderliche gefährdungsminimierte Umnutzung der Rieselfelder benennen lassen.

Als z.T. gekoppelte Leitlinien können formuliert werden:

1. Feuchthaltung durch optimierte Zusatzbewässerung in möglichst gleichmäßiger Form mit Wasser geringer stofflicher Belastung (bezogen auf Stickstoff, Phosphor, Schwermetalle, organischen Kohlenstoff und Salzbildner), erstrebenswert mit pH ca. 7.
2. Bodenbedeckung durch Vegetation. Verwendete Pflanzenarten sollten keinen Zusatzbedarf an Nährstoffen aufweisen. Auf bodentechnische Pflegemaßnahmen ist weitgehend zu verzichten. Entstehende Biomasse sollte im Kreislauf belassen werden. Streß durch Wassermangel ist zu vermeiden.
3. Bemessung der Wassermenge primär am Ausgleichsbedarf für die Evapotranspiration, Interzeption und dem Gebietswasserhaushalt sowie der Gefahrenminimierung. Aufrechterhaltung des Feuchtgebietscharakters. Sicherung von minimierten Dränabflüssen in die Entwässerungsgräben der Rieselfelder.

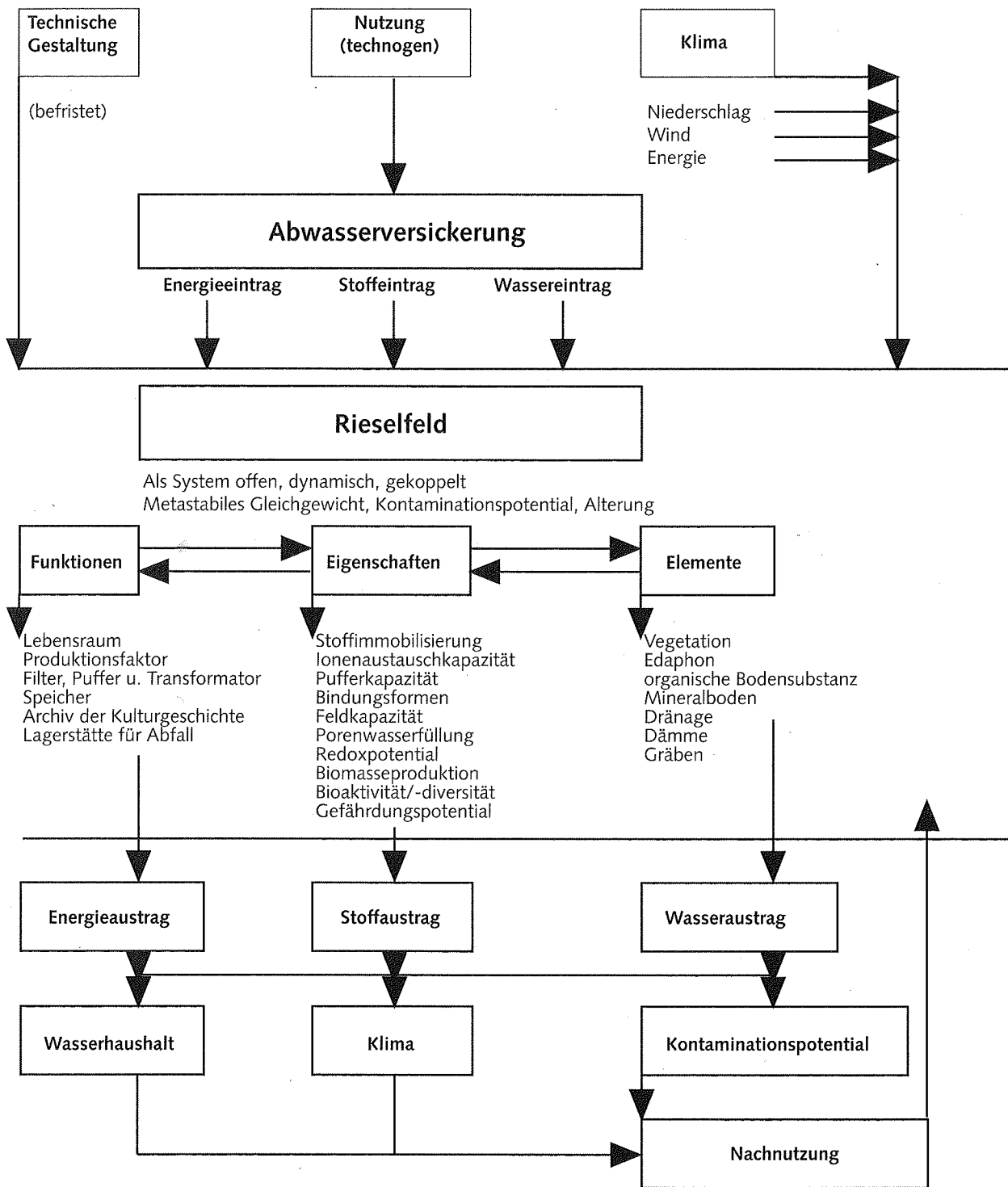


Abb. 1: Grundstruktur des Geosystems „Rieselfeld“, Geltungsbereich: Region

4. Rieselfeldmonitoring zur kontrollierten Überwachung des Gefahrenpotentials und der Rieselfeldstabilität.

Experimentelle Resultate

Diesen theoretisch determinierten Überlegungen werden Teilergebnisse aus Freilanduntersuchungen im Rahmen des Projektes „Rieselfelder südlich Berlins“, speziell des Teilprojektes III, der Forschungs-

stelle Trebbin des Landesumweltamtes Brandenburg gegenübergestellt. Die Resultate wurden in mehrjährigen Rieselfelduntersuchungen in der Versuchsanlage Waßmannsdorf gewonnen.

Rieselfeldversuchsanlage

Die Feldanlage befindet sich im Bereich der ehemaligen Rieselfelder der Kläranlage Waßmannsdorf. In vier strukturoriginale Rieseltafeln wurden im Herbst

1991 verschiedene einheimische Makrophyten, d.h. Wasser- und Sumpfpflanzen, in einer Pflanzdichte von sieben Stück/m² segmentweise nacheinander im mäandrierten Wasserpfad gepflanzt. In einer weiteren Tafel erfolgte zeitgleich in mehrfach wiederholter Parzellierung die Pflanzung diverser Gräser, Stauden und Gehölze ohne Mäandrierung. Nach Etablierung aller Pflanzen begannen 1993 die kontinuierlichen Felduntersuchungen. Auf Pflegemaßnahmen in den Versuchspflanzungen wurde generell verzichtet. Für die Zusatzbewässerung kam der Kläranlagenablauf der nahegelegenen Kläranlage Waßmannsdorf im direkten Nebenstrom bei maximal 5-tägiger Verweilzeit zur Beschaffenheitsegalisierung über eine 5-er Teichkaskade zur Anwendung. Die Beaufschlagung der Rieseltafeln wurde während der Vegetationsperiode in einer rieselfeldähnlichen Intervallbeschickung realisiert. Umfassendere Angaben zu Konzept und Gestaltung der Versuchsanlage wurden von PORTMANN [2] beschrieben.

Die in der Versuchsanlage befindlichen Rieseltafeln weisen maximal 4% organische Bodensubstanz (OBS) auf. Sie wurden unter Beibehaltung ihrer Struktur ab Mitte der 80-iger Jahre drei Jahre für den Maisanbau genutzt. Es erfolgte eine Zusatzbewässerung, jedoch kein Pestizideinsatz. Die Unterbrechung der Zusatzbewässerung mit Kläranlagenablauf betrug ca. 2,5 Jahre bis zum Beginn zur Versuchsbe- wässerung.

Der Status der Rieseltafeln entspricht bezogen auf den OBS-Gehalt demjenigen von eher unterdurchschnittlich belasteten Tafeln. Bezogen auf das zu erwartende Systemverhalten könnte damit die untere Grenze sich entwickelnder Verhaltensunschärfen erfaßbar werden. Die frühere landwirtschaftliche Nutzung und die Versuchsflächengestaltung lassen eine hohe Vergleichmäßigung der Oberbodeneigenschaften und eine OBS-Reduzierung durch stärkere Mineralisierung erwarten.

Gefährdungspfad Boden

In Referenz zu üblichen Abschätzungen des Gefährdungspotentials werden zunächst beispielhaft in Abbildung 2 für rieselfeldtypische Schwermetalle, wie Cadmium, Kupfer, Blei und Zink Pooldaten im Oberboden (0-20 cm) aus dem bepflanzten Mäander der Rieseltafel 95g vom Frühjahr 1994 in ihrer flächenhaften Verteilung vorgestellt.

Augenscheinlich zeigt sich nicht die erwartete Homogenisierung der Schwermetallgehalte im Oberboden. Die segmentbezogene Differenzierung ist nach wie vor rieselfeldtypisch. Die Verteilung kann gut mit der sich vom Einleiterbereich ableitbaren früheren Wasserverteilung in Übereinstimmung gebracht werden. Unter Bezug auf die BRANDENBURGISCHE LISTE [3] werden nur für Cadmium die Bodeneingriffswerte la

(2 mg/kg TS) und Ib (1,5 mg/kg TS) überschritten. Ein Gefahrenpotential sollte demnach für Wasser- schutz- und Vorbehaltsgebiete und Flächen mit sensiblen Nutzungen existieren.

In Abbildung 3 ist aus einem Segment der Rieseltafel 95h zeitidentisch ein typisches Tiefenprofil für die gleichen Schwermetalle erstellt worden. Es wurden die Tiefen 0 bis 20 cm, 40 bis 60 cm und 80 bis 100 cm, d.h. sowohl Oberboden als auch der Bereich knapp über den Dränagesammelleitungen erfaßt. Der Schwermetallpool nimmt zwischen Oberboden und Mittelschicht für die o.g. Schwermetalle um das 2,5- bis 8-fache ab und wird danach im Unterboden konstant. Der Oberboden bleibt damit potentielle und quantitative Mobilisierungsquelle für die Schwermetalle.

Der Schwermetallpool korreliert, worauf hier jedoch nicht näher eingegangen wird, mit dem OBS-Gehalt im Rieselfeldoberboden. Entgegen anderen Erwartungen sind z.T. deutlich mehr als 50% des Pools im Oberboden lokalisiert. Untersuchungen der interdisziplinären Arbeitsgruppe „Stoffdynamik in Geosystemen“ der Universität Potsdam, unter Beteiligung der Forschungsstelle Trebbin, im Rahmen eines im Dezember 1994 abgeschlossenen MUNR-Projektes [4] des Landes Brandenburg zur multivalenten Beurteilung der ökologischen Relevanz von Last- und Schadstoffen zeigten die überproportionale organische Bindung der meisten Schwermetalle im Rieselfeld. Eine Ausnahme bilden Chrom sowie teilweise Nickel.

Es wird deutlich, daß nicht der Schwermetallpool, sondern die Bindungsform der Schwermetalle und die Mineralisierungsgeschwindigkeit der OBS im Rieselfeld gefahrenverursachend sind. Der Pool bestimmt die Dauer einer solchen Gefährdung.

Gefährdungsgrad Wasser

Eine rieseltafelbezogene Kontrolle der Schad- und Laststoffmobilisierung ist durch Beprobung der Dränwasserableiter möglich. Nach der Bodenpassage eingetretene Veränderungen in der Beschaffenheit im Vergleich zum Beaufschlagungswasser geben direkte Hinweise bezüglich des Stofftransfers in Abhängigkeit von gewählten Bewässerungsszenarien.

In Abbildung 4 sind Konzentrationen ausgewählter Schwermetalle im Dränwasser aus der Rieseltafel 95b für 1994 wiedergegeben. Variiert wurde hierbei der Bewässerungsmodus. Zwischen der letzten Zusatzbewässerung im November 1993 und der im Februar 1994 (283 mm) war der Bodenwasserspeicher aufgefüllt. Der sich zeigende Mobilisierungseffekt für die Schwermetalle Cadmium, Blei und Kupfer ist vernachlässigbar (s.a. 09.02.1994). Die folgenden Daten resultieren aus Niederschlagsabflüssen, 83 mm in 7 Wochen (29.03.1994) bzw. 60 mm in 2 Wochen

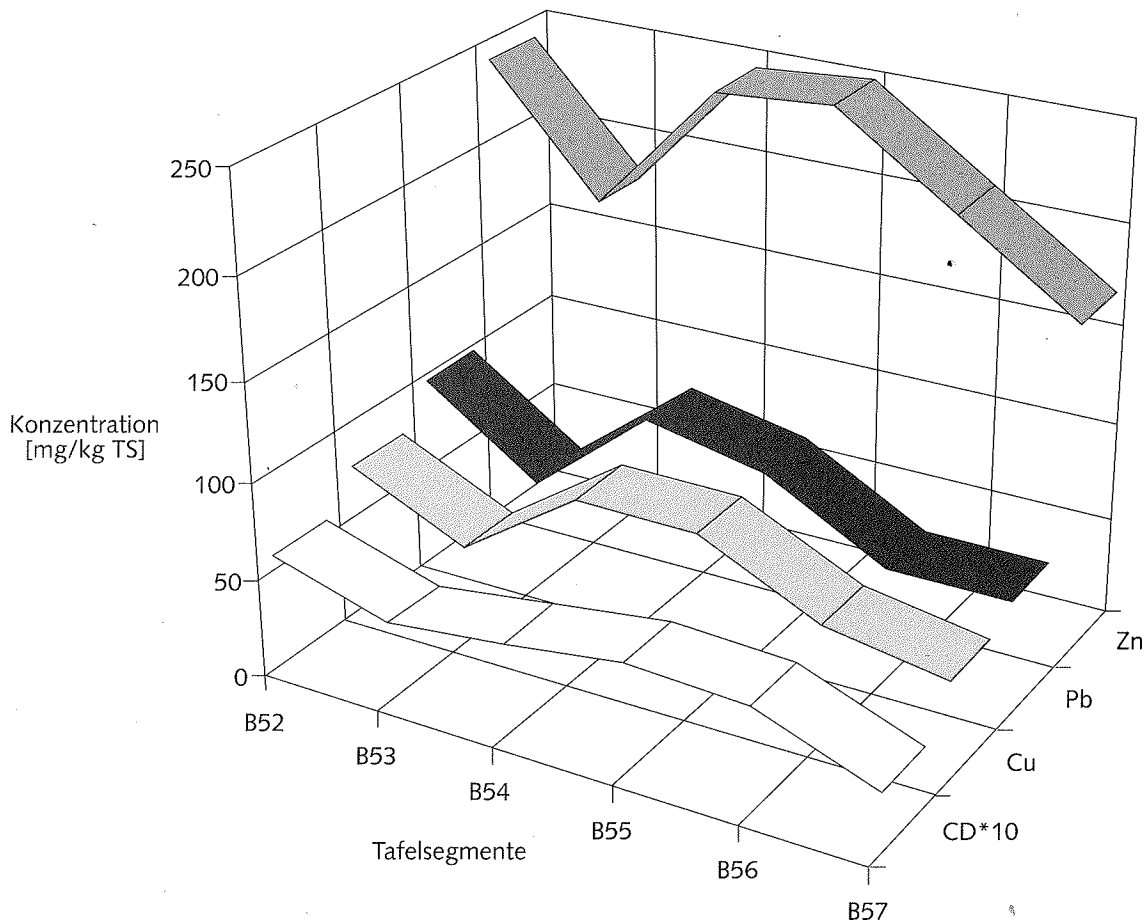


Abb. 2: Flächenhafte Schwermetallverteilung in den Segmenten der Tafel 95g im Oberboden (0-20 cm) im Frühjahr 1994; HNO₃-Aufschluß (FST Trebbin)

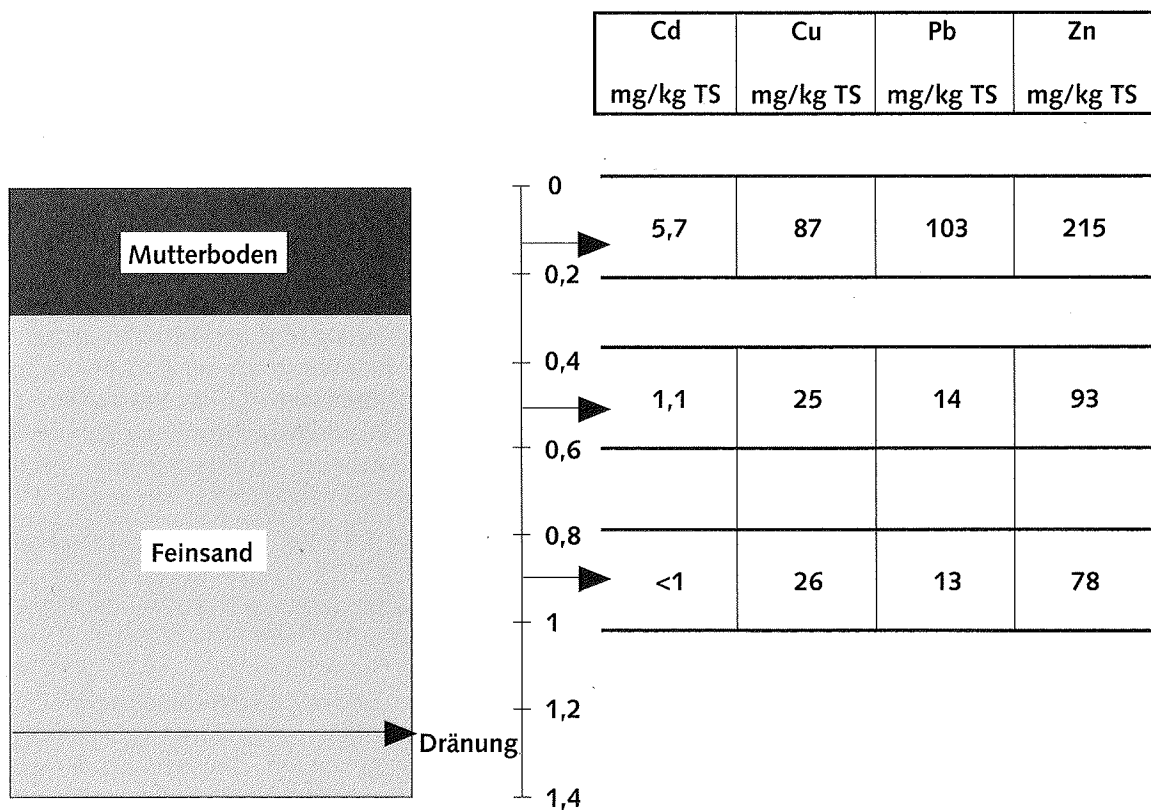


Abb. 3: Schwermetalltiefenprofile (Segment B60, 95h), 1994, HNO₃-Aufschluß (FST Trebbin)

(12.04.1994). Der signifikante Anstieg für Kupfer korreliert mit Ergebnissen aus eigenen Lysimeteruntersuchungen an hochbelasteten Rieselfeldsubstraten, deren Bodenwasserspeicher über insgesamt 5 Monate mit saurem Niederschlagswasser aufgefüllt war. Ein Absenken des Bodenwasser-pH-Wertes durch natürliche Niederschläge führt bereits nach Wasserverweilzeiten von wenigen Wochen zu steigenden Schwermetallmobilisierungen.

Eine andere Variante der Bewässerung lag den Daten von 06/1994 zugrunde. Es handelte sich um den Versuch mit vorhandener technischer Ausstattung eine gleichverteilte minimale Zusatzbewässerung von ca. 0,5 m³/h (ca. 8 mm/d) zu realisieren.

Abgesehen von den technischen Schwierigkeiten zeigte sich ein deutlicher Anstieg im Kupfergehalt des Dränwassers analog der Mobilisierung durch saure Niederschläge. Ob dies allein Ausdruck erhöhter OBS-Mineralisierung (biotischer Faktor) bzw. beider ist, muß an dieser Stelle offen bleiben.

Da die Minimalbewässerung ohne technische Modifikation keine hinreichend gleichmäßige Feuchthaltung der Rieseltafel und der Wasserversorgung der Vegetation ermöglicht, wurde diese Erprobung abgebrochen. Ab 07/1994 sind die Dränabflüsse wieder Resultat einer rieselfeldanalogen periodischen Überstaubewässerung.

Ökotoxikologische Bewertung des Gefahrenpotentials von Wasser und Boden

Akut toxische Wirkungen

Bezogen auf ein ca. 2-jähriges Aufkommen von insgesamt 740 Einzelproben, bestehend aus Beaufschlagungs-, Drän-, Pegel- und Entwässerungsgrabenwasser sowie Eluaten aus Rieselfeldoberboden ergibt sich diesbezüglich keine Gefährdung. Zugrundegelegt sind Resultate aus Leuchtbakterien- und Daphnientests und für 60 Bodenproben Ergebnisse des SEDIMENT-CHROMOTESTS (EBPI) [5]. Beim Sediment-Chromotest als direkt wirkendem Test werden keine wäßrigen Auszüge benötigt.

Chronisch toxische Wirkungen

Aus ca. 200 Proben vergleichbarer Zusammensetzung wie zuvor zeigt sich zwischen Wasser- und Bodenproben eine erste Differenzierung in der Wirkung. Als Kriterien wurden für die Wasserproben die Respirationshemmung und für die Bodeneluat die Änderung der Dehydrogenaseaktivität und der aktiven Biomasse in Abhängigkeit vom Schwermetallgehalt in den Proben herangezogen. Während die Wasserproben ohne Befund blieben, wiesen die Bodeneluat eine mit zunehmendem Schwermetallgehalt steigende Abnahme der biotischen Leistung auf.

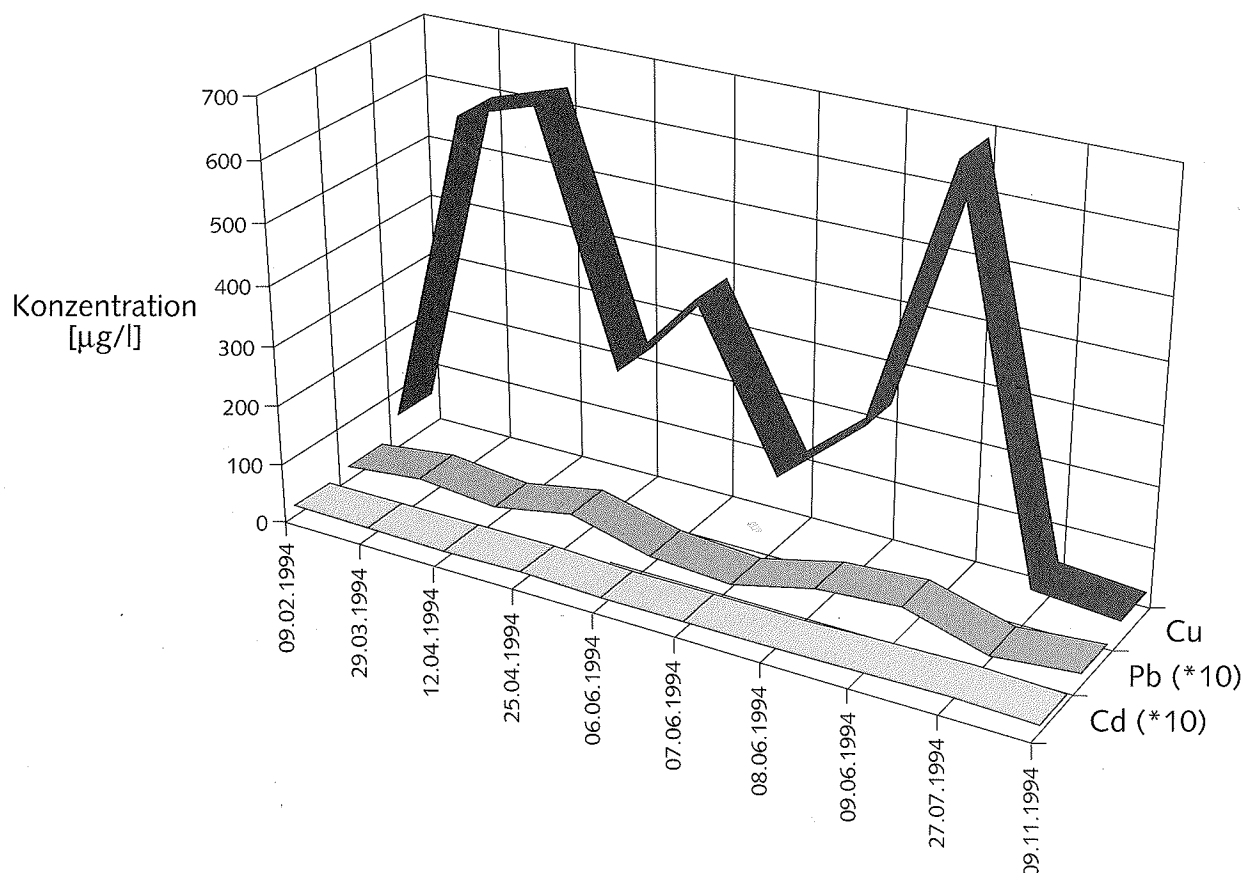


Abb. 4: Schwermetallkonzentration im Dränwasser 1994 – Tafel 95b, (FST Trebbin)

Falls weitere Untersuchungen dieser Feststellung nicht widersprechen, ist dies ein Beweis für das Vorliegen eines potentiellen Gefahrenpotentials im öko-toxikologischen Sinne. Auch hierdurch würde sich damit bestätigen, daß nicht die absoluten Konzentrationen anthropogener Schadstoffe, sondern ihre jeweiligen, von der Bindungsform abhängigen, Bioverfügbarkeiten das konkrete Gefahrenpotential im Rieselfeld erzeugen. Der Pool quantifiziert somit in Abhängigkeit von Alterung und damit gekoppelter Schwermetaldynamik bevorzugt die Dauer der möglichen Gefährdung, während der Eintrittszeitpunkt überwiegend von metabolischen und Reproduktionszyklen der vorhandenen Mikroorganismen abhängt.

Zusammenfassung

Zusammenfassend kann auf der Grundlage eigener Feldversuche eingeschätzt werden, daß eine Pflanzenbedeckung mit Makrophyten und speziellen Laubgehölzen ohne Pflegemaßnahmen mit Zusatzwassergaben (Kläranlagenablauf) in der Größenordnung von 3.000 mm/Vegetationsperiode in infiltrierenden Rieseltafeln geringerer absoluter Schadstoffbelastung realisierbar ist. Der ökologisch begründete und ökonomisch vorteilhafte Verzicht auf boden- und pflanzenbezogene Pflegemaßnahmen erhöht das Risiko von Pflanzenausfällen, das jedoch durch ausreichende Wasserversorgung wieder gedämpft werden kann.

Es konnte außerdem festgestellt werden, daß bezogen auf den Pool an Schadstoffen in geringer belasteten Rieseltafeln (OBS max. 4%) trotz wechselnder Nutzung, aber nur kurzer Unterbrechung der Zusatzbewässerung (1 bis 3 Jahre), noch immer mehr als 50% der Schwermetalle im Oberboden immobilisiert sind. Von grundsätzlicher Bedeutung ist vor allem, daß bei rieselfeldanaloger Zusatzbewässerung in o.g. Umfang oder höher die akute Gefährdung über den Wasserpfad völlig ausgeschlossen werden kann. Im Gegensatz dazu tritt mit Erhöhung der Reaktionszeiten im Oberboden eine schädigende Wirkung des biotischen Leistungsvermögens auf. Da sich der vorliegende Rieseltafelzustand und die daraus resultierenden Verhaltensweisen bezogen auf die Höhe der Schadstoffkontamination im Grenzbereich zwischen Rieselfeldsystem und Kulturboden bewegen, ergibt sich damit für höherbelastete Rieselfeldbereiche eine Zunahme des Gefahrenpotentials in Abhängigkeit vom Grad der Feuchthaltung und der „Reaktionszeit“.

Ergänzend soll an dieser Stelle auf einen für geschädigte Ökosysteme typischen Konflikt zwischen der erstrebenswerten Zielstellung (Minimierung des Gefahrenpotentials, Systemstabilisierung) und real möglicher Lösung bei gleichzeitigem Vorliegen zahlreicher Randbedingungen (Ansprüche, Vorgaben) hingewiesen werden. Er äußert sich z.B. darin, daß

über den Wasserpfad lösliches Phosphat aus dem Bodenspeicher mobilisiert wird. Dies erfolgt bei den gewählten Nutzungsszenarien in Konzentrationen, die erheblich über denen des Beaufschlagungswassers liegen. Daraus resultiert zwar kein unmittelbares Gefahrenpotential, jedoch die nicht auszuschließende Sekundärwirkung einer Förderung eutropher Prozesse in hydraulisch verbundenen Gewässern. Soll dies vermieden werden, müßte die Zusatzbewässerung gegen Null gehen. Damit wiederum wird das System „Rieselfeld“ destabilisiert, was u.a. eine Erhöhung der OBS-Mineralisierung und Nitrifikation begünstigt. Fazit: Jede wirksame Lösung bedeutet letztendlich die Akzeptanz eines Kompromisses bei optimierter Benutzung von variierbaren Umwelteinflüssen. Die Dominanz einzelner Schutzgüter hat zugunsten einer geosystemaren Wertung zurückzutreten.

Geökologisch ausgewogene Umnutzungen der Rieselfelder sollten eingetretene Instationaritäten im Fließgleichgewicht kompensieren und über die gewählten Einflußgrößen eine neue Stabilität im System sichern.

Literatur

- [1] KLUG, H. u. LANG, R.: Einführung in die Geosystemlehre, Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1983
- [2] PORTMANN, H.-D.: Berichte aus der Arbeit 1992, Teil 1: Wasser und Abfall. S. 33-39, (Hrsg): Landesumweltamt Brandenburg, August 1993
- [3] BRANDENBURGER LISTE; in der Fassung vom Dezember 1993, Brandenburger Umwelt Journal 10, Dez. 1993, S. 17-18
- [4] Abschlußbericht FM/H/92-305.05/05-20: Rieselfelder Berlin Süd - Multivalente Beurteilung der ökologischen Relevanz von Last- und Schadstoffen - Aufbau eines Bodeninformationssystems, unveröffentlicht, im Auftrag des MUNR, Dez. 1994
- [5] SEDIMENT CHROMOTEST: Environmental Bio Detection Inc., Brampton, Ontario, Canada, Version 1.1, April 1993

*Dr. rer. nat. Hans-Dieter Portmann
Landesumweltamt Brandenburg
Abt. Hauptlabor
Berliner Straße 21-25
14467 Potsdam*

Klarwasserverrieselung als vierte Reinigungsstufe?

Jürgen v. Kunowski und Hans-Joachim Schulz
Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene Berlin

Wann wird die Boden- und Grundwasserpassage von Klarwasser, d.h. weitergehend gereinigtem Abwasser, überhaupt in Erwägung gezogen? Man kann sagen, wenn entweder die Qualität noch nicht als hinreichend, sprich als gewässerverträglich, zu bezeichnen ist, die regionalen Grundwasservorräte als überstrapaziert gelten (ohne dabei die direkte Grundwasseranreicherung im Auge zu haben) oder beides und wenn alternative technische Verfahren zu noch weitergehenderer Reinigung aus unterschiedlichen Gründen nicht zur Verfügung stehen.

Nehmen wir als Ausgangssituation das südliche Berliner Umland, so ist offensichtlich, daß wir hier am Ausgangspunkt einer stürmischen wirtschaftlichen Entwicklung mit entsprechend hohem Wasserbedarf stehen. Das südliche Berliner Umland ist arm an sauberen Gewässern und bereits in der ehemaligen DDR hatte man erkannt, daß das Problem auf klassische Weise nur durch einen Wasserimport aus benachbarten Regionen zu lösen war.

Auf der anderen Seite besteht Handlungsbedarf bei den rund 6 m³/s Klarwasser, die in den am nördlichen Rand der Region verlaufenden Teltowkanal eingeleitet werden. Die Reinigungsleistung der Berliner Klärwerke entspricht zwar den gesetzlichen Vorschriften, das Ergebnis kann aber trotzdem nicht als gewässerverträglich bezeichnet werden.

Die Frage ist zunächst, wie weit ist man von dem Ziel entfernt und wie läßt sich das Problem möglichst komplex mit den geringen zur Verfügung stehenden Mitteln lösen? Komplex in dem Sinne, daß nicht nur der Schadstoff- oder Organismenentnahmeauftrag ausgeführt, sondern auch die Umweltverträglichkeit gewährleistet wird. Umweltverträglichkeit wieder nicht in dem Sinne, daß nur alle negativen Einflüsse gewertet werden, sondern die positiven Wirkungen nicht unterbewertet in die Bilanz eingehen. Das Ziel muß bleiben, die Schadstoffbelastung sowohl der Umwelt als auch des menschlichen Organismus, sowohl des Oberflächen- als auch des Grundwassers prinzipiell möglichst niedrig zu halten. Dann dürfen aber auch nicht die Augen verschlossen werden, wenn die Entscheidung zu treffen ist, wo die Schadstoffe unter den gegebenen Umständen mit dem geringsten Risiko zum weiteren Abbau festgehalten werden oder wo sie letztlich bleiben sollen.

Im Rahmen eines hausinternen Forschungsvorhabens mit einem für das südliche Umland typischen Boden und dem Klarwasser aus zwei Berliner Großklärana-

gen sollte in einer halbtechnischen Versuchsanlage herausgefunden werden, ob eine Boden- und Grundwasserpassage sowohl hinsichtlich der Reinigungswirkung als auch des Boden- und Grundwasserschutzes als verantwortbar bezeichnet werden kann.

Man stützte sich bei der Planung u.a. auf einige wichtige Erkenntnisse: Einmal, daß

- die Größenordnung der geforderten Entnahmemenge von Schadstoffen und -organismen nicht entfernt vergleichbar ist mit den Anforderungen, denen die Kläranlagen bei der Behandlung des Rohabwassers gegenüberstehen und daß auf der anderen Seite,
- in Zukunft eher noch mit einer weiteren Reduzierung der unerwünschten Stoffe zu rechnen sein wird und daß
- in absehbarer Zukunft nicht in Aussicht steht, daß sich mit technisch und wirtschaftlich vertretbaren Mitteln eine ähnlich komplexe Wirkung wie die naturräumliche Boden- und Grundwasserpassage erreichen ließe.

Weitere Gründe für eine Inangriffnahme des Projektes waren, daß die spezifische Entnahmeleistung des Bodens bei Klarwasser

- relativ gering sein dürfte - d.h., wenn es um die Belastung des Bodens geht, wirkt sich dieser Effekt eher positiv aus. Hinzu kam, daß sie
- weniger von der Infiltrationsrate - also den hydraulischen Parametern des Substrates - abhängt als von der Qualität des Klarwassers. Und schließlich, daß
- bei einer Infiltration der Hauptrückhalteeffekt - wie auf den Rieselfeldern - in den obersten Zentimetern des Bodens erfolgt.

Darüber hinaus erschienen

- der große und auch in Zukunft wahrscheinlich eher zunehmende Labor-Untersuchungsaufwand der Berliner Wasser Betriebe zusammen mit der auch wenigstens als
- grober Biotest aufzufassenden Kontrolle der Funktionstüchtigkeit der Kläranlagen,
- die Überwachung potentiell gefährlicher Einleiter und die
- verschiedenen Sicherungen für den Katastrophenfall

zunächst als hinreichende Sicherheit beim Umgang mit einer möglichen Belastung von Boden und Grundwasser.

Man ging davon aus, daß bei einer Entscheidung für die Boden- und Grundwasserpassage von Klarwasser der Ruf nach verfeinerteren und komplexeren Beurteilungsmaßstäben und -methoden nur weiter ange-regt werden kann. Auch das käme letztlich einer ver-stärkten Versorgungssicherheit im weitesten Sinne entgegen.

Rieselfelder spielten bei den Überlegungen nur eine untergeordnete Rolle.

Es ging um die Akzeptanz des Verfahrens prinzipiell und dabei wird man nicht von vornherein mit einem Kompromiß beginnen. Schließlich waren die Stand-orte für die Rieselfelder nach anderen Gesichtspun-kten ausgewählt worden als es diejenigen der Infiltra-tionsflächen für Klarwasser einmal sein würden.

Wie sind wir nun vorgegangen bei unserem For-schungsvorhaben?

Der zentrale Punkt schien uns, die richtige Bewer-tung des Klarwassers herauszufinden. Die gesetzli-chen Grundlagen für die Einleitung der Klärwerksab-läufe in die Oberflächengewässer sahen ja nicht die Verwendung als Trinkwasser vor - ein Qualitätsziel, daß mindestens bei der Berührung mit auch nur po-tentiell für solche Zwecke verwendbarem Grundwas-ser angestrebt werden muß.

Zunächst war festzustellen, daß im besten Berliner Klarwasser (Ruhleben) der größte Teil der in der TrinkwV angegebenen Parameter unter den Höchst-werten lagen (Abb.1). Sulfat und die Summe der Stickstoffverbindungen bewegten sich in der Nähe des Grenzwertes. Lediglich die für die Hygiene rele-vanten Mikroorganismen, evtl. Nitrit und die Summe der gelösten Kohlenstoffverbindungen (als DOC in der TrinkwV nicht mit einem Grenzwert behaftet, dafür aber der in etwa vergleichbare CSB) lagen deutlich über den zulässigen Werten. Diese Verbin-dungen müssen zwar nicht prinzipiell - vor allem, wenn sie natürlichen Ursprungs sind - für die menschliche Gesundheit schädlich sein, aber doch sehr kritisch unter die Lupe genommen werden. Es ist nicht auszuschließen, daß dieser den Prozessen im Klärwerk gegenüber resistente Rest besonders große anthropogene Anteile aufweist.

Wenn es also noch als relativ einfach erschien, die Übersicht über die in der TrinkwV genannten anor-ganischen und organischen Parameter zu behalten, so bedeutete doch angesichts der theoretisch in die Hunderttausende gehenden anthropogen begründe-ten organischen Einzelstoffe, Stoffgruppen und Zer-fallsprodukte eine auf eine Einzelanalytik begründete Vorgehensweise eine hoffnungslose Überforderung.

Zumindest erschien eine Screening-Methode erfor-derlich, die nach dem Muster gesundheitsschäd-lich/unschädlich funktionierte. Aber derartige Ver-fahren - beispielsweise Biotests - sind auf dem gefor-derten Sektor noch nicht ausgereift.

Die Auswahl ergab, daß die **Haupt-Anionen** nur als begrenzte Eingangsgröße berücksichtigt werden mußten, da sie sich inert gegenüber einer Boden- und Grundwasserpassage verhalten. Lediglich die Stickstoffverbindungen Nitrat und Nitrit wurden wegen ihrer Nähe zum Trinkwassergrenzwert, ihrer möglichen Rolle als Sauerstoffdonator im sauerstof-farmen Grundwasser und als im Oberflächengewäs-ser unerwünschten Nährstoff (vor allem wenn das Phosphat nicht vollständig ferngehalten werden kann) in die Untersuchungen einbezogen. Aus der Gruppe der Hauptkationen bedurfte das Fischgift Ammonium ebenfalls einer eingehenden Betrach-tung. Von den **Spuren-Anionen** wählten wir Phos-phat wegen seiner Oberflächengewässerrelevanz. Die **Haupt-Kationen** bewegen sich in einer nach der TrinkwV, ja häufig auch gegenüber dem geogenen Hintergrund akzeptierbaren Größenordnung. Die **Spurenelemente** werden regelmäßig von den Berli-ner Wasser Betrieben untersucht. Die meisten be-trachteten Metallkonzentrationen der Klärwerksab-läufe des Jahres 1993 liegen weit unterhalb der Trinkwassergrenzwerte und teilweise im Bereich des geogenen Hintergrundes und damit in einem unge-fährlichen Bereich.

Bei den organischen Parametern entschieden wir uns für die Untersuchung des Verhaltens von C_{ges} (**TOC/DOC**) und des Summenparameters **AOX** und bei den Organismen für die **seuchenhygienisch rele-vanten Keime**, die für **Stickstoffumwandlungen zu-ständigen Mikroorganismen** und ansatzweise für **Biotests**.

Zur Vorbereitung von Feldversuchen arbeiteten wir mit Säulen, die mit einem typischen Grundwasserlei-tersubstrat des Berliner Umlandes gefüllt waren. Ab-bildung 2 zeigt das Grundschemata.

Es wurden drei Säulengruppen aufgebaut. Säulen-gruppe 1 diente der Untersuchung von Klarwasser aus dem Klärwerk Marienfelde. Dieses Wasser ist nicht nach dem neuesten Stand der Technik gereinigt. Säulengruppe 2 diente zum Experimentieren, d.h. zum allmählichen Herantasten an eine optimale Betriebsführung - vorwiegend mit Wasser aus dem Klärwerk Ruhleben, welches den Stand der Technik repräsentiert. Analog zur Säulengruppe 1, jedoch mit Ruhlebener Klarwasser, wurde die Säulengruppe 3 betrieben.

Das Klarwasser wurde intermittierend über einen Prallteller - also sauerstoffgesättigt - auf eine Säule, 5 m lang und mit einem Durchmesser von 40 cm, aufge-geben. Sie entsprach den wasserungesättigten Sicker-wasserbereich. Die tägliche durchschnittliche Beauf-schlagung betrug im Jahr 1993 einen Meter und im Jahr 1994 etwa 0,8 m.

Aus dem Ablauf wurden Teilströme durch zwei par-allel geschaltete Säulen gleicher Dimension wie im Grundwasserleiter, jedoch statt horizontal von unten nach oben geführt. Die Fließgeschwindigkeit wurde

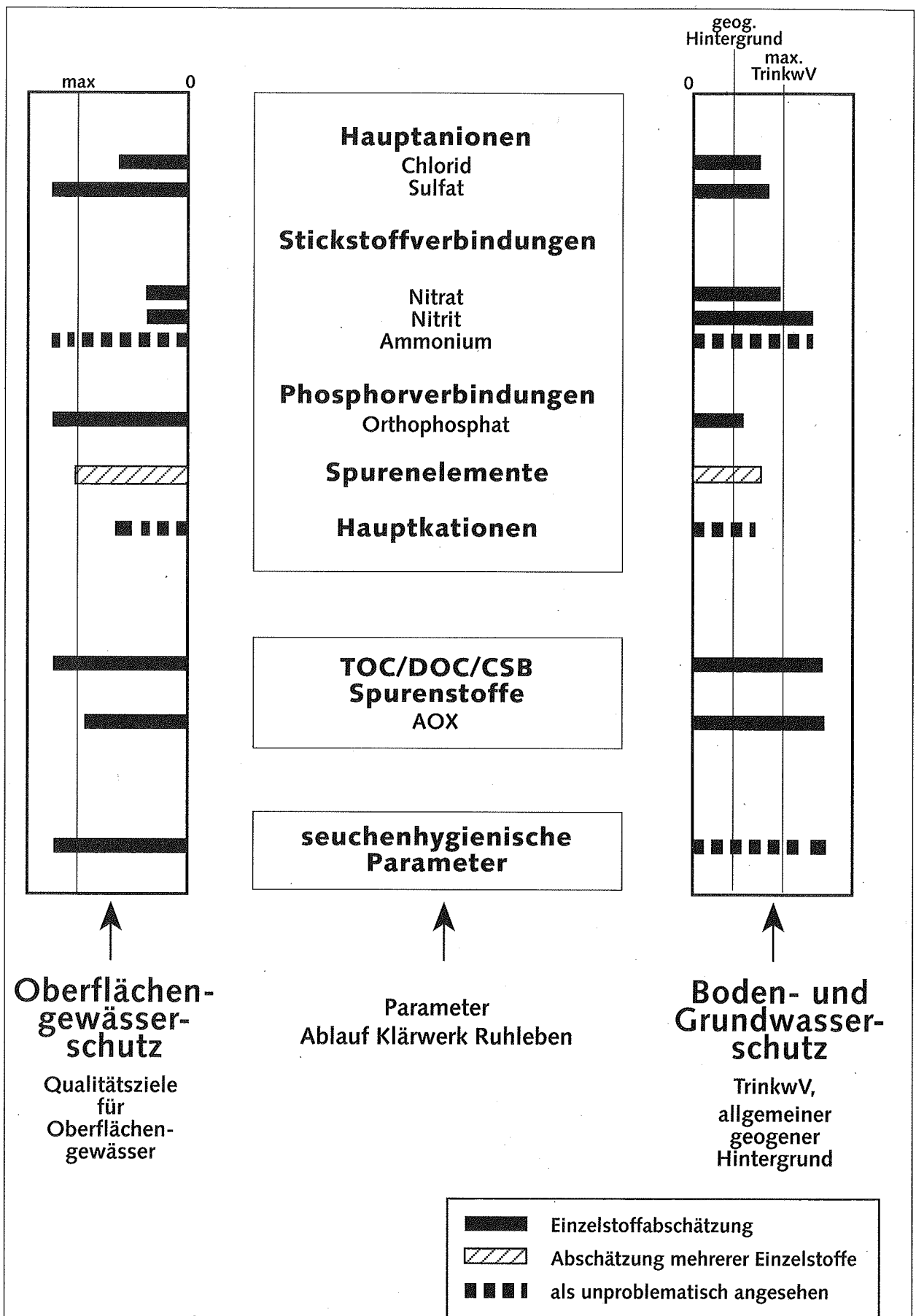


Abb. 1: Relevanz von Ablaufparametern des Klärwerkes Ruhleben hinsichtlich des Oberflächenwasser- sowie des Boden- und Grundwasserschutzes

Versuchsanordnung

Klarwasservorbehandlung

Boden- und Grundwasserpassage

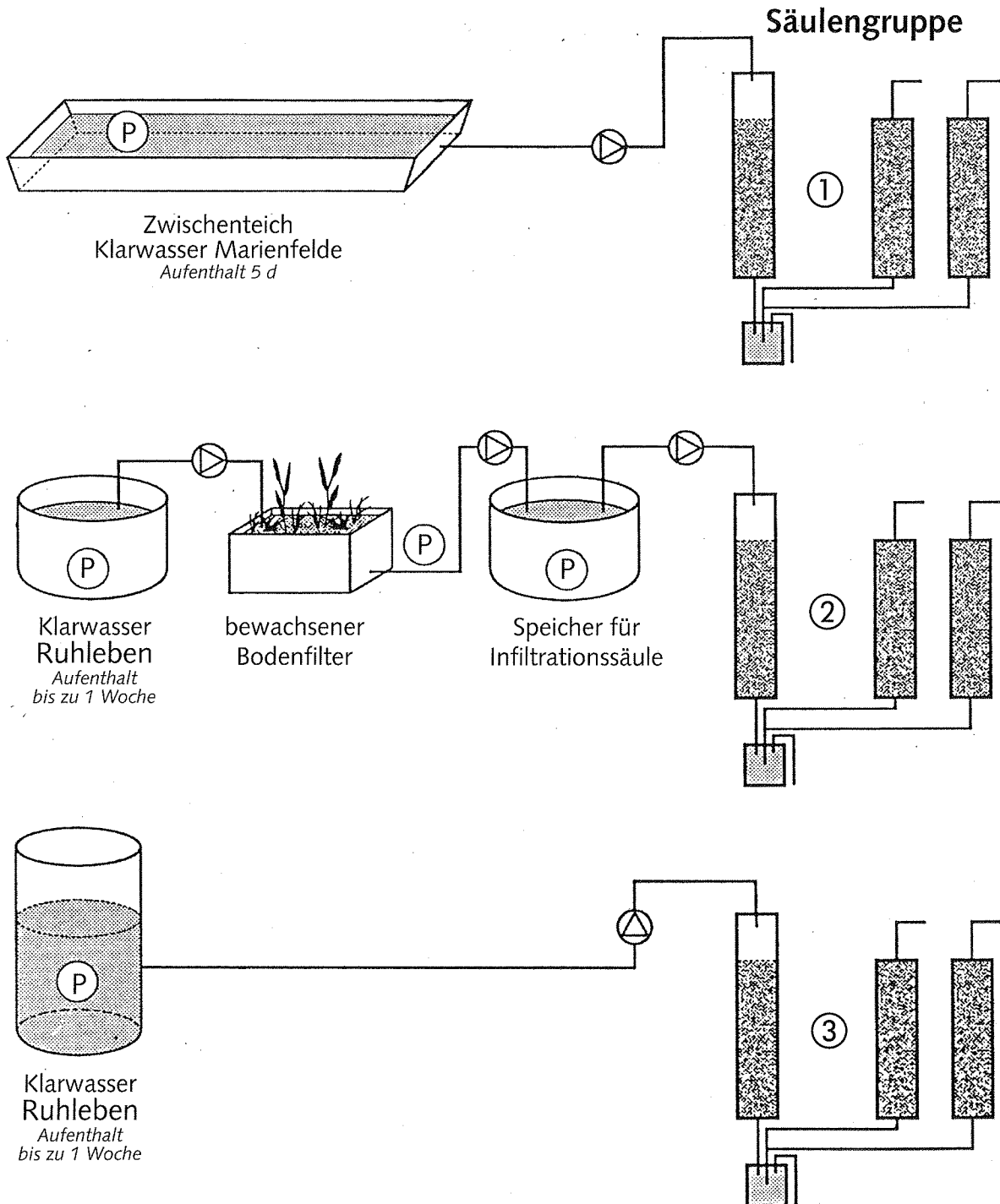


Abb. 2: Versuchsanlage zur Abschätzung der Reinigungswirkung der Boden- und Grundwasserpassage bei der Infiltration von Kläranlagenabläufen

so eingestellt, daß die 5 m in etwa 20 Tagen durchflossen wurden. Mit Zusatzeinrichtungen wie Teichen und einem bewachsenen Pflanzenfilter sollte festgestellt werden, ob sich die Qualität des Filtrats und die hydraulische Leistungsfähigkeit weiter steigern läßt. Zu- und Abläufe wurden auf anorganische und organische Inhaltsstoffe sowie auf seuchenhygienische und biologische Parameter (Biotests) hin untersucht.

1. Ergebnisse - Anorganische Parameter

1.1 Stickstoffverbindungen

Abbildung 3 zeigt die Stickstoffbilanz der Säulengruppe 3 (Ruhlebener Klarwasser) und der Säulengruppe 1 (Marienfelder Klarwasser) während des Betriebszeitraumes Januar 1993 bis November 1994.

Der Gesamtstickstoffgehalt des Marienfelder Klarwassers wurde bei der Bodenpassage im Mittel um etwa 21% vermindert. Diese Größe schwankte stark im Laufe des Jahres: Während im Sommer 1994 Denitrifikationsraten von bis zu 50% zu beobachten waren, ließ die Stickstoffentfernung in der kalten Jahreszeit deutlich nach. In der Graphik sind ebenfalls die Ammonium- und Nitratgehalte (weiße und gestreifte Säulen) aufgetragen.

Ganz anders stellt sich die Situation der Säulengruppe 3 dar.

Das aus Ruhleben angelieferte Klarwasser hat einen weitgehenden Nitrifikations-Denitrifikations-Prozeß durchgemacht. Demzufolge liegt die Summe der Stickstoffverbindungen deutlich unter der des Marienfelder Abwassers. Im Klarwasser ist (fast) kein Ammonium und Nitrit mehr enthalten. Die Gesamtstickstoffmenge entspricht in etwa den gemessenen Nitrat-N-Werten, wobei mit einem Anteil von 5...10% organischem Stickstoff am Gesamt-Stickstoff zu rechnen ist. Zu- und Ablauf der I-Säule liegen in der gleichen Größenordnung.

Es fand also keine Denitrifizierung statt.

Das könnte dadurch verursacht sein, daß in der Grundwassersäule 3 keine anaeroben Verhältnisse herrschten, die für die Denitrifizierung Voraussetzung sind. So betrug die Sauerstoffsättigung am Zu- und Ablauf der G3-Säulen etwa 80% - im Gegensatz zu den G-Säulen, die mit Marienfelder Wasser betrieben wurden und eine Sauerstoffsättigung von 5% aufwiesen. Dieser Unterschied resultierte aus der unterschiedlichen Sauerstoffzehrung in den Infiltrations-säulen, welche wiederum auf den unterschiedlichen BSB/CSB der beiden verwendeten Wässer zurückzuführen war. Hier stellte sich die Frage, ob eine zusätzliche Denitrifizierung im Ruhlebener Klarwasser mit Hilfe leicht abbaubarer organischer Substanz noch geleistet werden kann (der BSB des Ruhlebener Wassers ist nur halb so groß wie der des Marienfelder Klarwassers).

Unsere Ergebnisse lassen vermuten, daß bei einer Intensivfiltration (1m/d) und anschließender kurzer

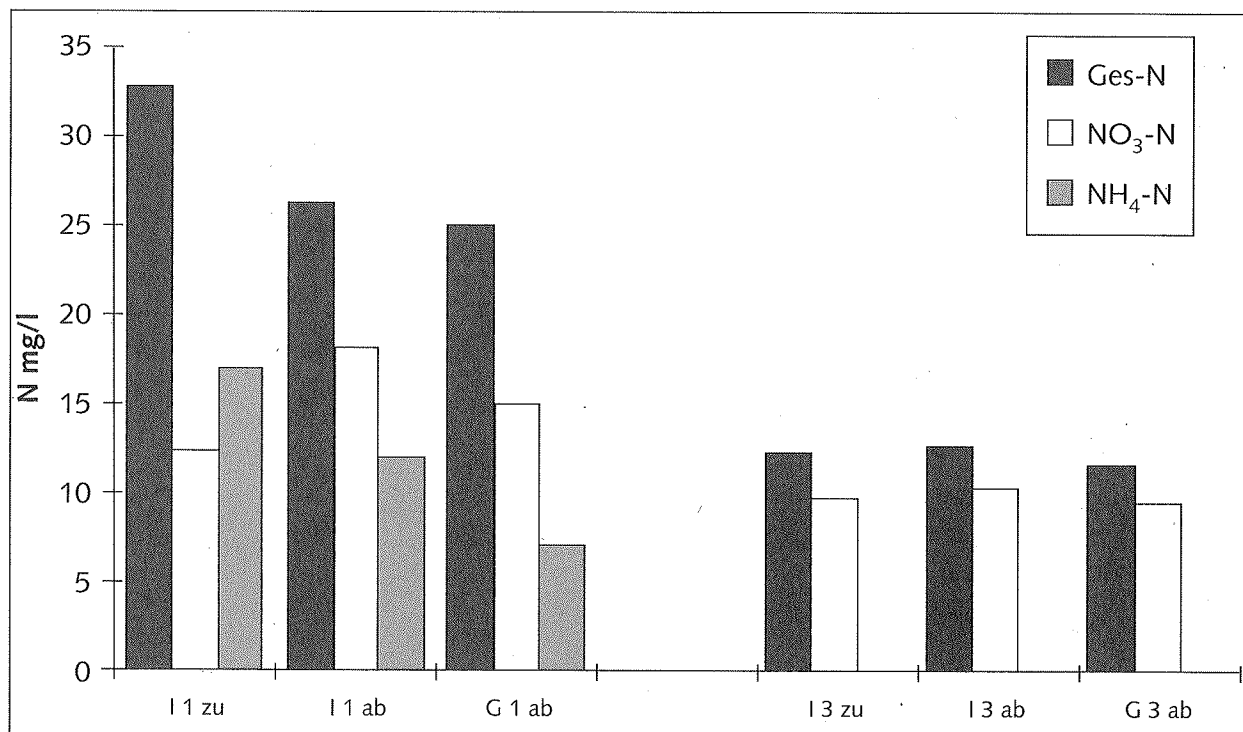


Abb. 3: Stickstoff-Bilanz für den Zeitraum Januar 1993 bis November 1994 (Jahresdurchschnittswerte)

Bodenpassage mit einem Abwasser Ruhlebener Qualität keine wesentliche Verbesserung der Stickstoffwerte zu erwarten ist. Wohl aber zeigte die Kombination

„Bewachsener Bodenfilter - Vorteil“

die Möglichkeit, den Stickstoffgehalt des Ruhlebener Wassers weiter zu senken. So konnten Denitrifizierungsraten um 30% in der warmen Jahreszeit beobachtet werden.

1.2 Phosphorverbindungen

Für die Versickerung von Schwarzwasser bis hin zur Versickerung biologisch gereinigten Abwassers ist die Fähigkeit des Bodenkörpers, Phosphor festzulegen, bereits genügend dokumentiert. Unser Interesse galt der Frage, inwieweit die Phosphorfestlegung auch bei der Intensivinfiltation von Klarwässern mit niedriger und niedrigster Phosphorkonzentration, wie sie im Marienfelder bzw. im Ruhlebener Klarwasser vorliegt, funktioniert.

Abbildung 4 zeigt die Gesamt-Phosphor-Bilanz für die Säulengruppe 1 und 3 über den Betriebszeitraum der Versuchsanlage von etwa zwei Jahren. Die P-Konzentrationen an den Abläufen der ungesättigten Phase (Infiltrationssäule I 1 ab bzw. I 3 ab) und der gesättigten Phase (Grundwassersäulen G 1 ab bzw. G 3 ab) werden gesondert betrachtet und mit den Klärwerksabläufen (hier Zuläufe I 1 zu bzw. I 3 zu)

verglichen. In der Abbildung ist außerdem der Gesamt-P dem löslichen P gegenüber gestellt.

Für beide verwendete Klarwässer läßt sich eine Phosphorentnahme in den Säulen-gruppen feststellen. Im Falle Ruhleben war die prozentuale Reinigungsleistung mit etwa 36% kleiner als beim Marienfelder Klarwasser (75%). Letztlich lagen die P-Werte des Filtrats aus Marienfelde mit 0,11 mg/l und aus Ruhleben mit 0,09 mg/l nach der Grundwasserpassage nicht weit voneinander entfernt. Offensichtlich führt die Reinigung zu einem Grenzwert. Die relativen Reinigungseffekte werden deshalb mit der Verwendung immer phosphorärmerer Klarwässer immer geringer (womit die erreichbaren Höchstentnahmel Leistungen allerdings ebenfalls immer niedriger ausfallen).

Es ist zu erkennen, daß der weitaus größere Anteil der Phosphorentnahme in den Grundwassersäulen stattfindet. Die eigentliche Wirkung der Infiltrationssäulen beruhte auf der Festsetzung von abfiltrierbaren (unlöslichen) Phosphorverbindungen und deren teilweisem Umbau in lösliche Verbindungen. Den größten Anteil an diesen löslichen Verbindungen hat das Ortho-Phosphat, welches nachfolgenden Fällungs- und Adsorptionsvorgängen zugänglich ist.

Überraschend hoch ist die Phosphorentnahme bei der durchschnittlich nur 45-minütigen Passage des Ruhlebener Klarwassers durch den **bewachsenen Bodenfilter**. Letzterer wurde aufgebaut, um die hydraulische Leistungsfähigkeit der Filteroberfläche zu ver-

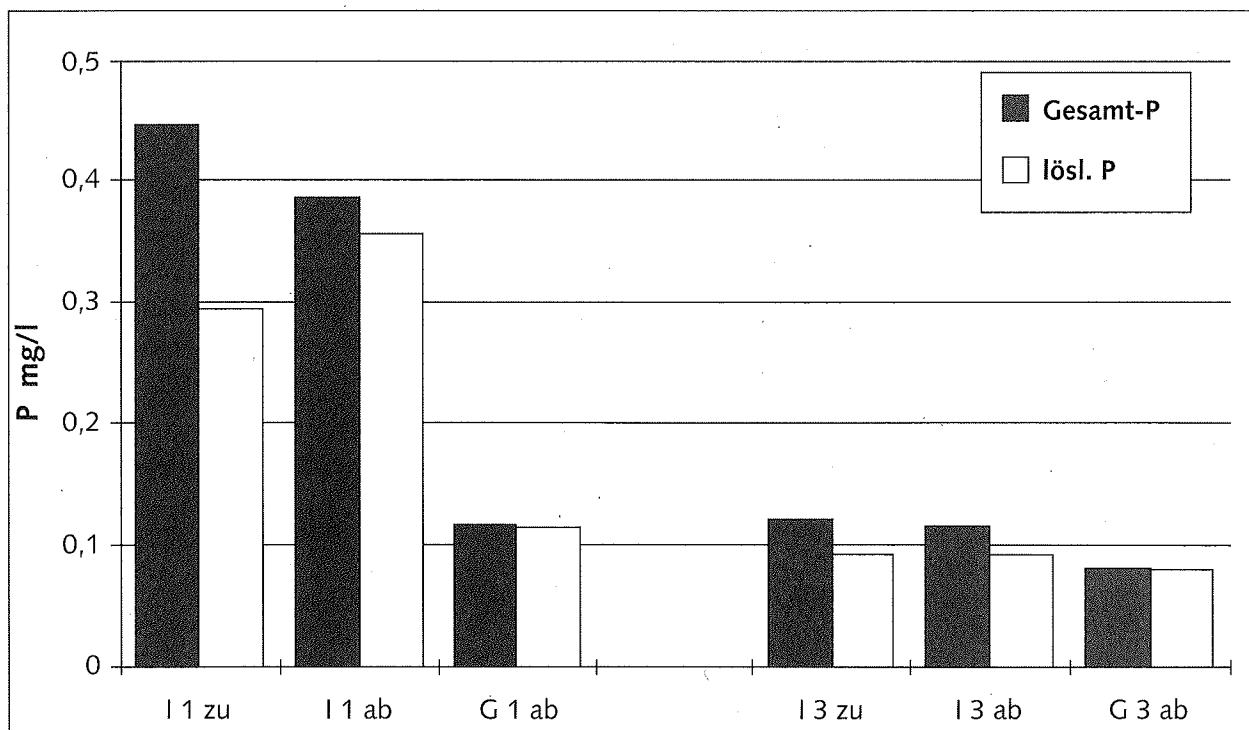


Abb. 4: Entnahmleistung von Gesamt-Phosphor in der Versuchsanlage

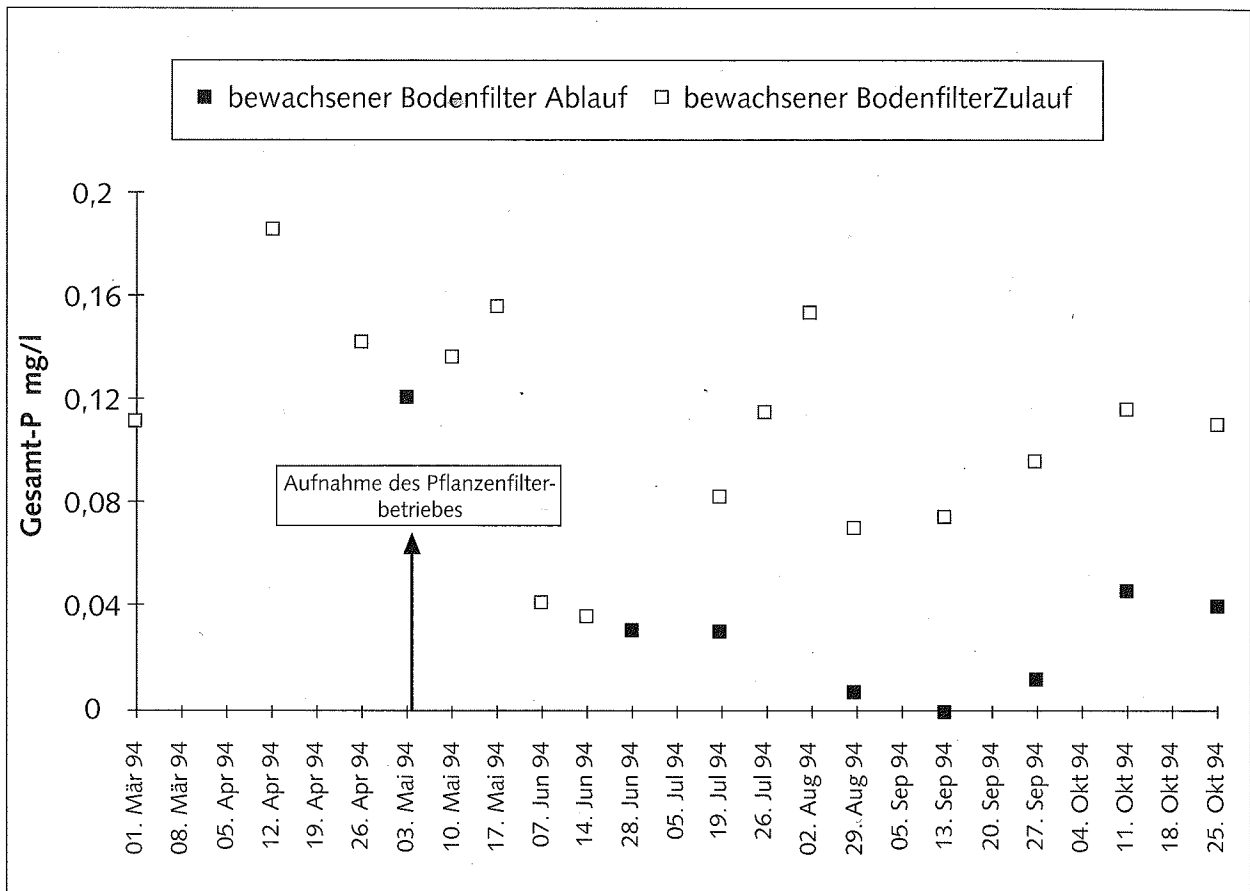


Abb. 5: Phosphorentfernung im bewachsenen Bodenfilter (Pflanzenfilter)

bessern. Abbildung 5 zeigt, daß im Vergleich zum originalen Ruhlebener Klarwasser (I 3 zu) die Phosphorwerte des Filtrats sich zeitweilig nahe der Nachweisgrenze bewegten.

Diese Eliminierung war in der warmen Jahreszeit - wo sie am wichtigsten ist - stärker, als die einfache Filtration von unlöslichen und an Schwebstoffe gebundenen Phosphorverbindungen bewirken würde. Die Festlegung des Phosphors muß in dem Pflanzenfilter über Mechanismen erfolgen, die für bewachsene Böden spezifisch sind (Nährstoffaufnahme, Stoffwechselprodukte in den Ausscheidungen im Wurzelbereich, pH-Werte, Bodenbelüftung usw.). Dieses Ergebnis widerspricht den Erfahrungen, die mit Pflanzenkläranlagen gewonnen wurden, daß Pflanzen ohne Einfluß auf die Phosphorentnahme sind. Offensichtlich ist der Einfluß von Pflanzen auf die Phosphatfestlegung nur bei niedrigsten Eingangskonzentrationen sichtbar.

Insgesamt zeigte die Boden- und Grundwasserpassage in bezug auf den das Oberflächenwasser gefährdenden Inhaltsstoff Phosphor eine durchaus gute Eliminationsleistung, wobei Dauerwerte von unter 80...90 µg/l Gesamt-Phosphor bei Verwendung eines Klarwassers von Ruhlebener Qualität erreichbar sind.

2. Ergebnisse - Organische Parameter

Der größte Anteil an organischen Inhaltsstoffen in kommunalen Klarwässern wird einerseits durch natürliche Abbauprodukte, resultierend aus der mikrobiellen Tätigkeit in den Kläranlagen, gebildet, andererseits können Spurenstoffe oder Gruppen von Spurenstoffen für die Beurteilung der Boden- und Grundwasserpassage maßgeblich sein. In der vorliegenden Arbeit wurden die organischen Parameter auf drei Ebenen betrachtet:

2.1 Im Milligrammbereich vorkommende organische Inhaltsstoffe

Sie sind zum größten Teil natürlichen Ursprungs und somit wahrscheinlich nicht über direkte Giftwirkung schädlich. Sie können bis in große Tiefen im Boden angereichert sein und werden vom ökologischen Standpunkt meistens nicht als Belastung empfunden. Wohl aber beeinflussen sie die sichtbare Qualität des Gewässers (Organoleptik, Sauerstoffbedarf usw.). Diese Ebene („Gesamt-Kohlenstoff“) wurde durch die Summenparameter DOC/TOC dargestellt (Abb. 6 + 7). Die Entnahmeeleistungen sind als beachtlich zu bezeichnen.

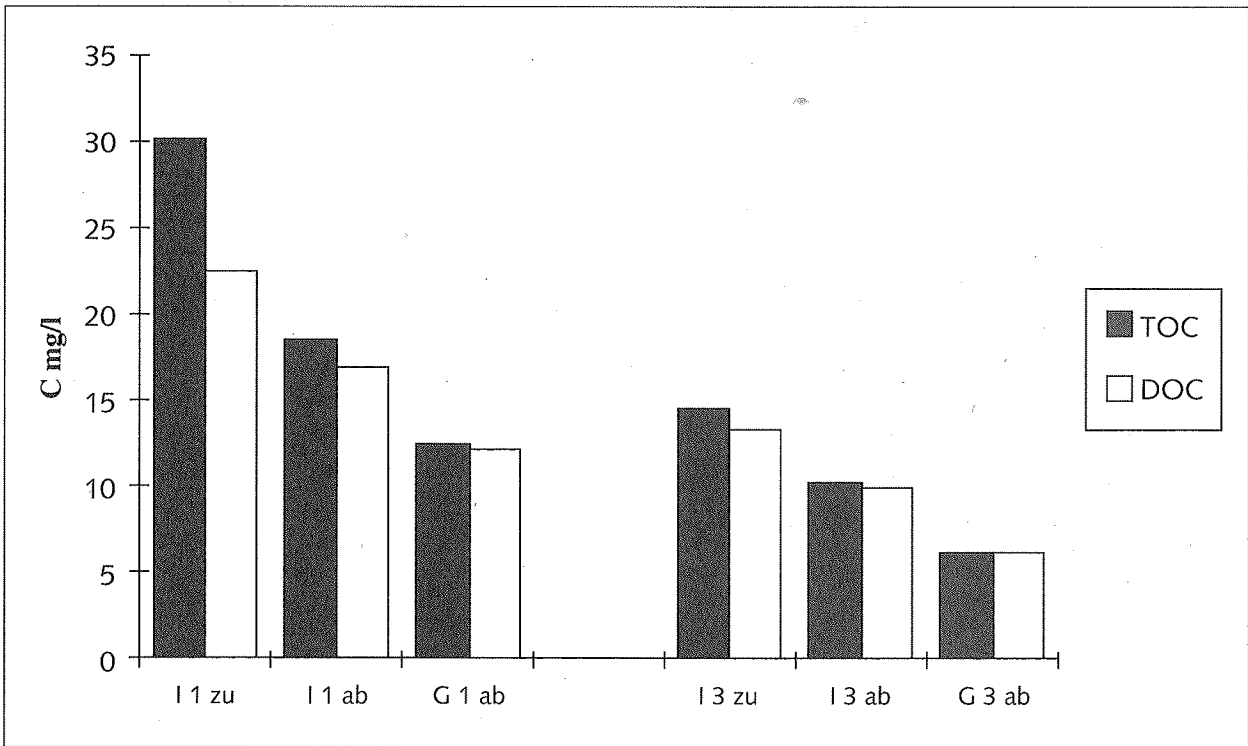


Abb. 6: C-Bilanz der Säulengruppe I 1 und I 3 während des Beobachtungszeitraums von 2 Jahren

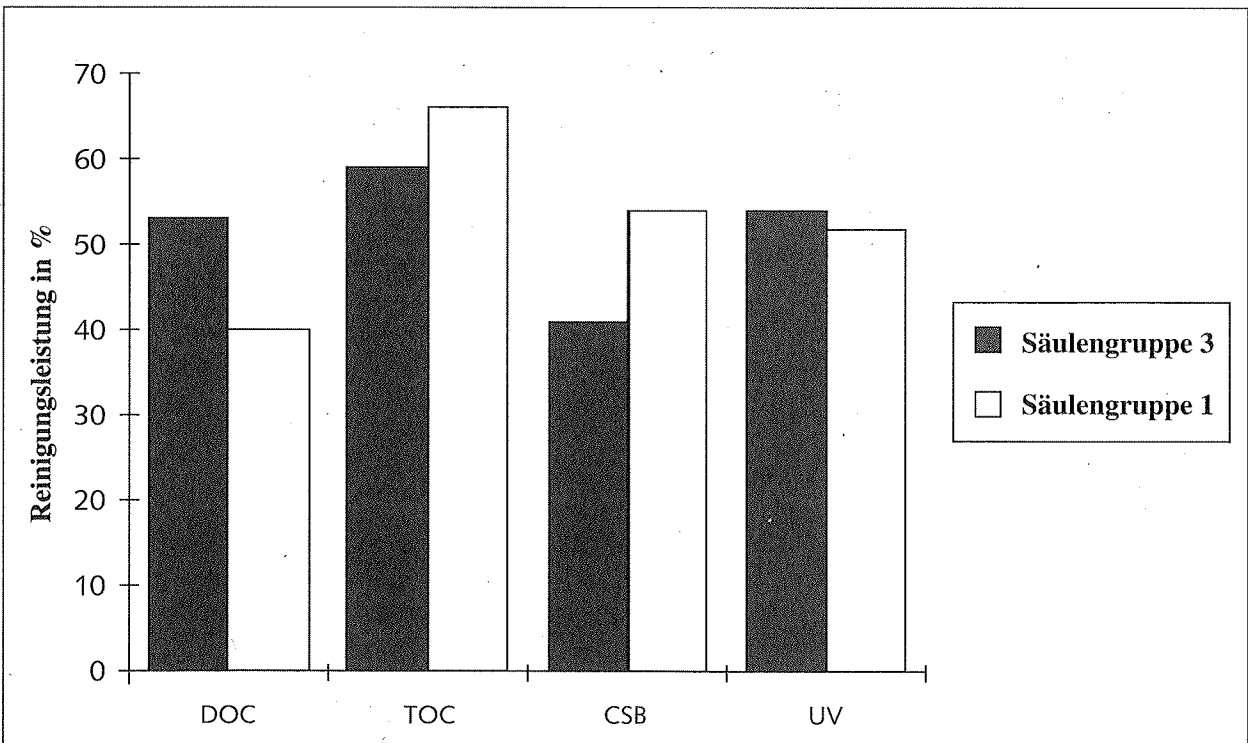


Abb. 7: Durchschnittliche Reinigungsleistung hinsichtlich der Kohlenstoffparameter

2.2 Im Mikro- und Nanogrammbereich vorkommende organische Spurenstoffe

Die hochmolekularen Verbindungen sind als Einzelsubstanzen nicht oder nur zu einem geringen Anteil identifizierbar. Dagegen ist die gezielte Bestimmung von niedermolekularen Stoffen im Klarwasser zwar oft mit hohem Aufwand verbunden, aber prinzipiell möglich. Die ungefähre Verteilung der Molekulargewichte

wichtsanteile des DOC am Klarwasser sind in Abb. 8 dargestellt. Der niedermolekulare Anteil macht etwa $\frac{1}{4}$ des gesamten DOC aus. Aus diesem Bereich (<500 Dalton) sind etwa die Hälfte der Einzelstoffe verschiedener Verbindungsklassen identifiziert worden.

Die andere Hälfte muß als unidentifiziert gelten. Die meisten der anthropogen eingebrachten Substanzen liegen in dieser Größenordnung vor. Sie sind oft nur schwer abbaubar und werden - zumindest potentiell - als Verursacher von toxischen Wirkungen angesehen.

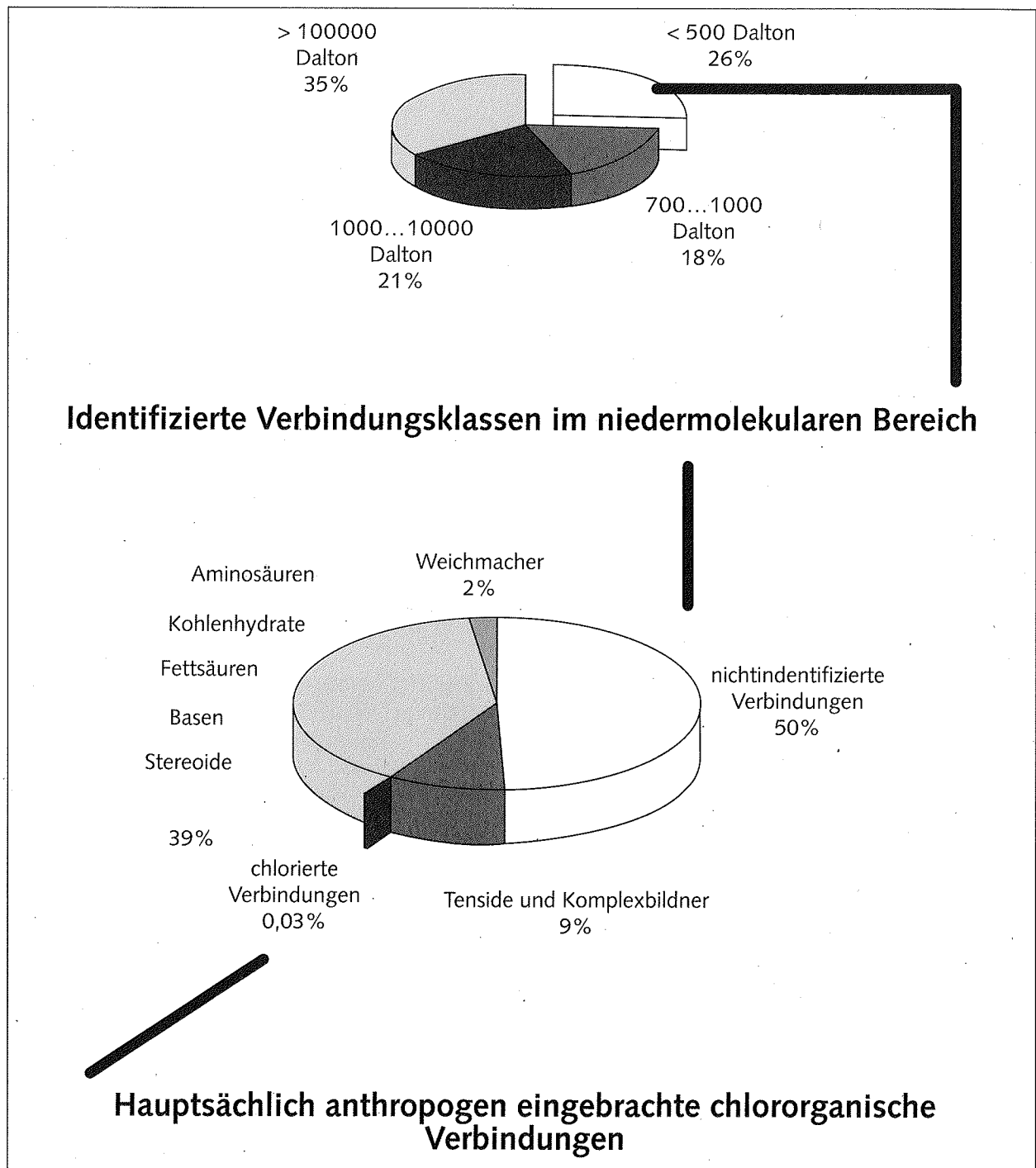


Abb. 8: DOC-Verteilung nach Molekulargewicht in Klarwässern
nach: ELSÄSSER, W.; GILBERT, E.; EBERLE, S.H. Acta Hydrochim. Hydrobiol. 20 (1992) S. 82

Der niedermolekulare Bruchteil umfaßt das genannte Potential von >100.000 am Markt befindlichen Stoffen, deren Verunreinigungen (Nebenprodukte bei der Herstellung), Zerfalls- und Umbauprodukte (biotisch und abiotisch) theoretisch alle eine Gefährdung der Grund- und Oberflächenwässer bedeuten können. Die chemische Analytik wird immer nur einen durch den Stand der Technik vorgegebenen und damit naturgemäß oft willkürlichen Ausschnitt aus diesem Potential erfassen.

Von der Quantität her liegen sie meist als Spuren vor. Modelluntersuchungen zum biologischen Abbau existieren im Verhältnis zur deren Vielzahl erst für wenige Verbindungen.

Man beschränkte uns auf den Summenparameter AOX. Er macht zwar mit 0,03% des niedermolekularen Anteils nur einen winzigen Bruchteil aus, gilt aber als besonders sensibel in toxikologischer und ökotoxikologischer Hinsicht. Somit kann er als Modellparameter für schwer abbaubare Spurenstoffe gelten.

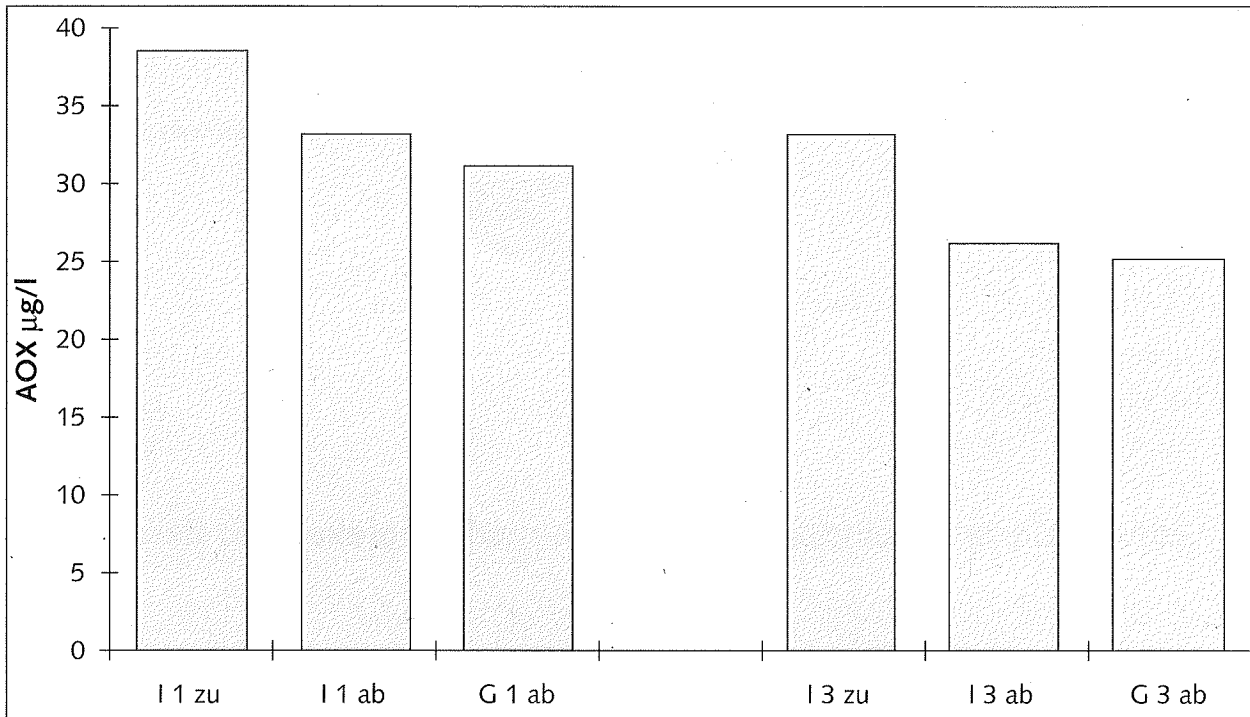


Abb.9: AOX-Bilanz der Versuchsanlage über den Beobachtungszeitraum von 2 Jahren

Entgegen allen Erwartungen kommt es während der Passage der aeroben Infiltrationszone zu den höchsten AOX-Eliminierungsraten (15% Reinigungsleistung bei Marienfelder, 21% Reinigungsleistung bei Ruhlebener Klarwasser). Die Reinigungsleistung in den Grundwassersäulen liegt niedriger (5% bei Marienfelder, 4% bei Ruhlebener Klarwasser). Die Verringerung der AOX-Werte unter anaeroben Bedingungen scheint bei einer Aufenthaltszeit von maximal 20 Tagen in einem Grundwasserleiter recht begrenzt zu sein.

Zudem wird in die Grundwassersäulen mit Ruhlebener Klarwasser noch Sauerstoff aus der Infiltrations-säule eingetragen, so daß zumindest am Anfang der G 3-Fließstrecke aerobe Verhältnisse herrschten.

Es ist zu erkennen, daß die AOX-Entnahme aus Ruhlebener wie auch aus Marienfelder Klarwasser absolut und relativ etwa in der gleichen Größenordnung liegt (bei Säulengruppe 1 i.M. 20%, bei Säulengruppe 3 i.M. 24%). Das qualitativ und quantitativ unterschiedliche Angebot an organischen Ener-

giequellen (Cosubstrate) hatte keinen Einfluß auf das Gesamtergebnis. Dieses legt die Auffassung nahe, daß die Eliminierung bevorzugt über einen Adsorptionsmechanismus statt über einen biologischen Abbau erfolgt.

Die Sensibilität des Parameters gründet sich sowohl auf die unzweifelbar vorhandene Persistenz als auch auf die Annahme, daß der AOX-Wert eine toxikologisch relevante Stoffklasse beschreiben könnte. Diese Annahme wird allerdings auf Grund neuerer Erkenntnisse insofern relativiert, daß sowohl im Boden als auch im Wasser und in der Luft natürliche Chlorierungsreaktionen vorkommen, die zur Bildung von AOX führen. Dabei können recht hohe natürliche AOX-Werte entstehen. So wird von 1...40 µg AOX/l in dänischen, vom Menschen bisher unbeeinflussten Grundwässern berichtet. Die natürliche AOX-Fracht des Rheins wird mit 15 µg/l angegeben. Dabei handelt es sich zum größten Teil um niedermolekulare chlorierte Huminsäuren, aber auch um Zersetzungsprodukte wie z.B. Dioxine.

Bei der Diskussion um den Boden- und Grundwasserschutz im Zusammenhang mit einer Bodenpassage muß unter diesem Gesichtspunkt beachtet werden, daß nie ein Null-Level für AOX im Grundwasser erreichbar sein wird. Dieses ist besonders dann zu erwarten, wenn genügend halogenierbare Biomasse (z.B. Huminsäuren) mit dem Abwasser in den Boden eingeführt wird.

2.3 Summarische Wirkungen auf biologische Systeme - Biotests

Biotests wären in ihrer Screeningfunktion und in ihrer komplexen Aussage zur Toxizität von elementarer Bedeutung, wenn nur ihre Aussagefähigkeit schon hinreichend wäre. Dann werden sie an die erste Stelle der Untersuchungsparameter gerückt werden müssen.

Zunächst war mit der Einbeziehung von Biotests die Absicht verbunden, einen quantifizierbaren Effekt zwischen dem Zu- und dem Ablauf der Bodensäulen festzustellen. Über die Zusammensetzung der reaktionsauslösenden Stoffe ist damit im allgemeinen noch keine Aussage möglich.

Die Tests sind bisher nur zum geringen Teil standardisiert und die Ergebnisse oft nicht eindeutig interpretierbar. Sie setzen häufig eine umfangreiche personelle und technische Ausrüstung, viel Erfahrung und finanzielle Mittel voraus. Aber sie stellen angesichts der Fülle der in Frage kommenden Stoffe

wahrscheinlich eines der wenigen Verfahren dar, das für den Fall einer unbekannt, aber unter Umständen potentiell gefährlichen Zusammensetzung von Wasserinhaltsstoffen die Bewertung von Stoffgruppen und die Eingrenzung von relevanten Einzelstoffen in finanziell machbaren Grenzen überhaupt zuläßt.

Mit Ruhlebener Abwasser wurden zunächst folgende Biotests durchgeführt:

Algentest - Leuchtbakterientest - Daphnientest - Goldorfentest.

Diese Tests wurden vorwiegend für mehr oder weniger ungereinigte kommunale Abwässer sowie für Industrieabwässer entwickelt. Keiner der genannten Tests ließ mit dem originalen Klarwasser Auswirkungen auf die Testorganismen erkennen.

Daraufhin wurde mit dem

MFO-Test (MFO - mischfunktionelle Oxidase)

versucht, subletale Effekte zu erkennen.

Aus Abbildung 10 ist ersichtlich, daß alle Test-Fische erhöhte Enzymaktivitäten gegenüber den Fischen der Kontrollgruppe aufwiesen. Zum Vergleich wurden Versuche mit Teltowkanalwasser und unbelastetem Oberflächenwasser aufgetragen. MFO-Aktivitäten sind relativ substrat-unspezifisch. Positive Befunde lassen zunächst einmal nur auf Schadstoffe im Klarwasser schließen. Ein Maßstab läßt sich nicht allgemeingültig festlegen. Versuche mit giftigen Substanzen im ng-Bereich ergaben Werte, die an 1.000 pmol je mg Protein und Minute heranreichen.

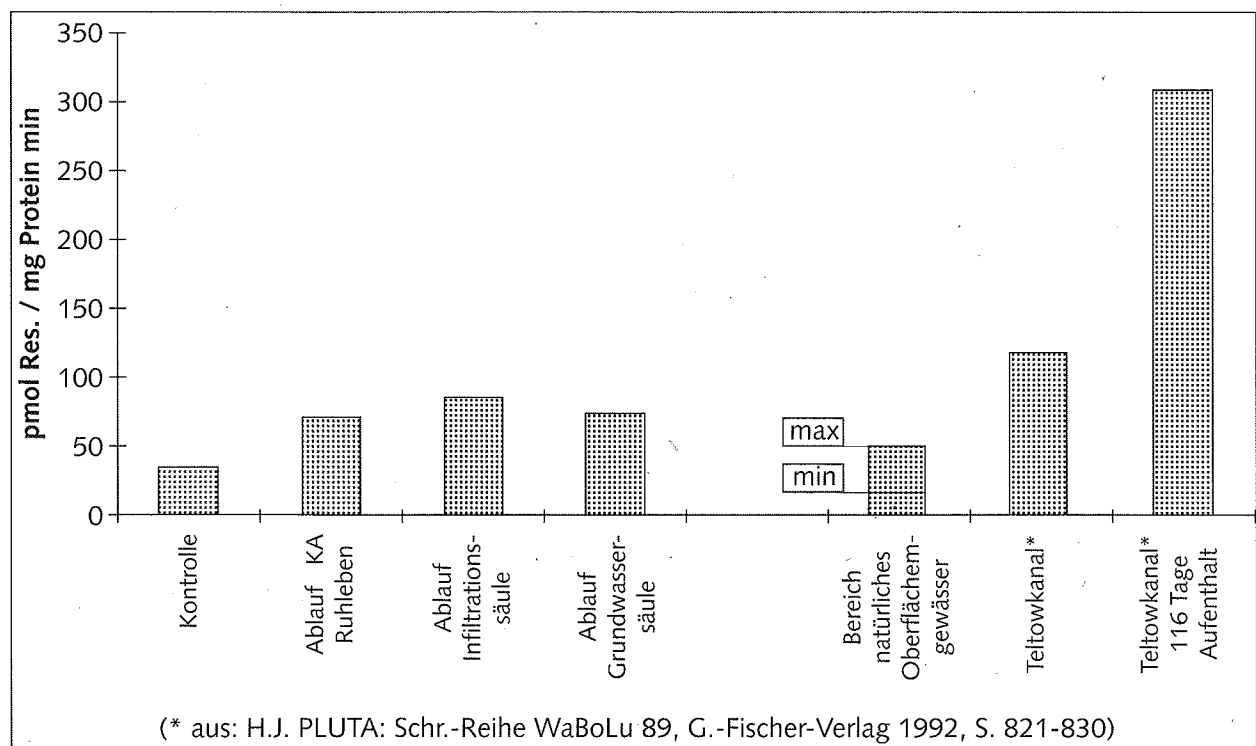


Abb. 10: MFO-Aktivitäten von Regenbogenforellen nach 14 Tagen Aufenthalt im Ruhlebener Klarwasser vor und nach Passage der Versuchsanlage sowie einer vergleichbaren bzw. längeren Exposition in Teltowkanalwasser

Somit dürfte die Belastung des Klarwassers als gering zu bezeichnen sein.

Eine Verringerung der Fracht infolge der Boden- und Grundwasserpassage konnte nicht abgeleitet werden, da kein Trend feststellbar ist und die Schwankungen somit als Meßungenauigkeiten zu werten sind. Andernfalls müßte wegen der leichten Erhöhung der Befunde gegenüber dem Ausgangswasser die Boden- und Grundwasserpassage so interpretiert werden, daß die Konzentration einiger Substanzen, die auf den Stoffwechsel aquatischer Organismen wirken, zunimmt. Der Widerspruch zu der als gesichert geltenden Verringerung aller Substanzgruppen während der Bodenfiltration kann nur durch weitere Untersuchungen geklärt werden.

3. Ergebnisse - Seuchenhygienische Parameter

Die Fähigkeit des Bodens, Mikroorganismen abzutöten, ist bereits seit langem bekannt. So wird eine Grundwasserpassage von 50 Tagen gefordert, um mit Sicherheit ein seuchenhygienisch unbedenkliches, als Trinkwasser nutzbares Wasser zu erhalten. Sämtliche Grundwassersäulenabläufe waren in Bezug auf Gesamtbakterien, E.coli und Phagen negativ. Eine Verminderung der verschiedenen Keime um nahezu 100% erfolgte schon in der ersten Stufe. Nach einer Bodenpassage von rd. 20 Tagen kann das Wasser als keimfrei bezeichnet werden.

4. Zusammenfassung

Aus den Schutzziele und wasserwirtschaftlichen Aspekten haben wir hypothetische Konzentrationsbereiche der verschiedenen Inhaltsstoffe für in Vorfluter eingeleitete Kläranlagenabläufe errechnet. In der folgenden Tabelle (Abb. 11) werden diese Werte den Wasserinhaltsstoffkonzentrationen, wie sie mit Ruhlebener Klarwasser nach der Boden- und Grundwasserpassage erreichbar sind, gegenübergestellt.

Die Anwendungsmöglichkeiten sind in der Tabelle auf der nächsten Seite (Abb. 12) zusammengefaßt.

Anders liegt der Fall eines weniger gut gereinigten Abwassers. Die Ergebnisse aus den Versuchen mit dem Ablauf des Klärwerkes Marienfelde zeigen, daß die Qualität für eine Grundwasseranreicherung noch nicht ausreichend ist und auch die Grundwasserpassage in der gemäß dem Versuchsaufbau durchgeführten einfachen Infiltrationseinrichtung nach dem Aufenthalt in einem Vorteich als wenig befriedigend bezüglich der Gewässerverträglichkeit bezeichnet werden muß. Davon abgesehen wird jedoch deutlich, daß mit diesem, z.B. hinsichtlich einer Denitrifizierung durchaus nicht optimierten Prozeßschritt, trotzdem eine deutliche - aber eben nicht hinreichende - Entnahmeleistung verbunden ist.

Es war nicht das Ziel der vorgestellten Untersuchungen, aufzuzeigen, auf welche Weise aus einem Schwarzwasser ein Klarwasser der Ruhlebener Qualität erzeugt werden kann. Es erscheint jedoch notwendig, darauf hinzuweisen, daß mindestens unter

Parameter	duldbare Konzentrationsbereiche für Klarwasser unter Berücksichtigung der im WaBoLu-Heft 11/94 genannten Qualitätsziele für Oberflächengewässer und Stoffkonzentrationen im Anstrom von Berlin, bei 50% Ruhlebener Klarwasser in der Spree	Stoffkonzentrationen in Ruhlebener Klarwasser sowie nach der Boden- und Grundwasserpassage im Modellversuch	
NH ₄ -N mg/l	0...0,01	0,9	0
NO ₃ -N mg/l	11...22	10,5	11 6**
NO ₂ -N mg/l	0,2...0,8	0,35	0
PO ₄ -P mg/l	0...0,2	0,37*	0,08* 0,02**
Chlorid mg/l	150...350	141	141
Sulfat mg/l	0	134	134
CSB mg/l	0...22	46	26
AOX µg/l	46...106	52	28

* Gesamt- P (kann im Oberflächengewässer in PO₄-P umgewandelt werden)

** während der Vegetationsperiode mit Passage des bewachsenen Bodenfilters

Abb. 11: Gegenüberstellung der aus den Qualitätszielen für Oberflächengewässer abgeleiteten duldbaren Belastungen der Klarwässer und der Qualität, wie sie für Ruhlebener Klarwasser nach kurzer Bodenpassage vor Einleitung in die Vorflut erreichbar ist.

	Ablauf Klärwerk Ruhleben (KR)	KR nach Infiltration + 20 d Grundwasserpassage	KR nach Aufenthalt im Vorteach + Passage von bewachsenem Bodenfilter + erneuter Infiltration + 20d Grundwasserpassage	KR wie vor, jedoch Grundwasserpassage >1a und Verschnitt mit Grundwasser (geschätzt)
Qualitätsmerkmale	nicht oberflächengewässerträglich, nur bedingt zur Bewässerung in der Pflanzenproduktion verwendbar, insbesondere für Früchte, die zum rohen Verzehr vorgesehen sind, aus hygienischen Gründen zur Bewässerung ungeeignet	bedingt oberflächengewässerträglich, geeignet für die Bewässerung auch in Treibhäusern und bei Kulturen, die zum alsbaldigen rohen Verzehr bestimmt sind	weiter verbesserte Oberflächengewässerträglichkeit, bei der Trinkwassergewinnung zum Verschnitt mit unbelastetem Grundwasser ebenso geeignet wie z.B. das Spreewasser bei Jungfernheide	für alle Zwecke verwendbar - gegebenenfalls durch Verschnitt mit unterschiedlichen Grundwasseranteilen
Grund	hygienisch keine Badegewässerqualität, zu hoch: Coliforme, Viren usw., P-Gehalt, org. Stoffe, (CSB, AOX)	Rest-P-Gehalt zusammen mit anderen Pflanzennährstoffen für die Bewässerung gut geeignet hygienische Trinkwasserqualität	bisher außer bei DOC/CSB keine Grenzwertüberschreitungen nach der TrinkwV feststellbar, erhöhte Werte: Sulfat und Chlorid	örtliche geogene Hintergrundwerte sind größtenteils erreichbar, Anteil am Trinkwasser begrenzt durch DOC-, AOX-, Chlorid- und Sulfat- Gehalt

Abb. 12: Schlußfolgerungen aus Abb. 11

besonderen Umständen, beispielsweise im ländlichen Raum oder dort, wo z.B. schon Teiche vorhanden sind, eine besondere Abdichtung der Sohle nicht unbedingt erforderlich erscheint und sich die technischen Einrichtungen ohne größeren Aufwand installieren lassen, daß in diesem Fall ein Teich-Sandfilter-System - unter Umständen mehrfach hintereinandergeschaltet - ebenfalls zum Erreichen der Ruhlebener Klarwasserqualität beitragen kann.

Die bisherigen Erkenntnisse aus einer optimierten Boden- und Grundwasserpassage eines Klarwassers der Ruhlebener Qualität lassen sich nach den chemischen und mikrobiologischen Untersuchungsergebnissen auch bei einer Grundwasseranreicherung anwenden. Das gilt insbesondere dann, wenn der Filtratanteil am gesamten Trinkwasserfördevolumen schon aus Sicherheitsgründen niedrig gehalten werden kann und die Fließzeit dieses Anteils in Jahren zu rechnen ist. Je nach den hydro-geologischen Verhältnissen, der Qualität des Oberflächenwassers und den Ansprüchen, die an das Filtrat gestellt werden müssen, sind auch kombinierte Systeme, wie z.B. getrennte Infiltration und anschließende Vermischung im Grundwasser, in Erwägung zu ziehen, um die Qualitätssteigerung zu maximieren.

Zu der Anwendung der Boden- und Grundwasserpassage auf **Rieselfeldern** ist zunächst zu sagen, daß

- ohne den Faktor Wasser und zugehörige Nährstoffe ein schützenswertes Biotop nicht zu erhalten ist, daß damit
- ohne Gegenmaßnahmen die vorwiegend im Oberboden festgehaltenen Schadstoffe sehr bald in den Untergrund verlagert werden und daß
- Nichtstun damit weiterhin die am wenigsten umweltverträgliche Lösung darstellt.

Andererseits gibt es eine absolut boden- oder belastungsneutrale Lösung des Problems nicht. Es geht immer um eine Minimierung der Kosten und Belastungen bei gleichzeitiger Maximierung der komplexen positiven Auswirkungen. Als wichtigste Gründe für eine Verbindung von ehemaligen Rieselfeldern und ehemaligem Abwasser im Berliner Raum sind zu nennen, daß

- das Klarwasser in der erforderlichen Menge und befrachtet mit den erforderlichen Nährstoffen genauso zur Verfügung steht wie
- ein wenigstens noch teilweise vorhandenes aufwendiges Wasserverteilungssystem für die Erhaltung des Biotops. Dazu kommt
- eine - wenn auch ohne weitere Gegenmaßnahmen langsam sich abschwächende - Festlegung der Schadstoffe im Oberboden. Schließlich spricht dafür, daß
- an diesem Standort die hydrologischen und hydrogeologischen Zusammenhänge sowie die Abschätzung der Folgen von Eingriffen besser aufgeklärt wurden als an den meisten anderen in Frage kommenden Infiltrationsstandorten, und daß sich
- die Feuchthaltung in der Kombination mit einer Boden- und Grundwasserpassage wirtschaftlich eher vertreten läßt.

Um alle Risiken möglichst klein zu halten, sollte der Oberboden auf den alten Rieselfeldern nur feucht gehalten und möglichst wenig durchströmt werden. Wie gleichzeitig, aber mehr oder weniger getrennt voneinander und damit gefahrlos, der darunterliegende wenig belastete Bodenkörper für die Boden- und Grundwasserpassage genutzt werden kann, wurde bereits in unserer „Studie zur Einbindung der Rieselfelder in ein wasserwirtschaftliches Rahmenkonzept“ erläutert.

Damit aber kein Zweifel aufkommt: Für die optimale weitergehende Klarwasserreinigung ist natürlich ein unbelasteter und speziell auf diese Anforderungen ausgewählter Standort die beste Lösung.

Zur Absicherung und Erweiterung der Ergebnisse sollten die Untersuchungen in einem größeren Rahmen fortgesetzt werden. Hierzu bieten sich an:

- die weitere analytische Aufklärung des Einflusses organischer Spurenstoffe bei Biotests,
- das Verhalten kritischer organischer Einzelstoffe und Stoffgruppen bei der Boden- und Grundwasserpassage,
- der Winterbetrieb mit der Hochleistungsinfiltration, die Einbeziehung von Oberflächenwasser und Uferfiltrat in die Untersuchungen,
- die weitere Aufklärung der Zusammenhänge von Abbau und Anreicherung der zurückgehaltenen Wasserinhaltsstoffe im Boden,
- Pilotversuche im technischen Maßstab sowohl mit einem Klarwasser der Ruhlebener Qualität als auch mit einem weniger gut gereinigten Abwasser im ländlichen Raum.

Die Versuche haben gezeigt, daß die im wesentlichen als Sicherheitsrisiko in Frage kommenden organischen Spurenstoffe und Mikroorganismen keine nennenswerte Belastung des Bodens bilden. Andererseits findet trotzdem ein - absolut gesehen zwar geringer, relativ aber deutlicher - Reinigungsprozeß des Klarwassers während der Boden- und Grundwasserpassage statt. Die Berührung des in den zulässigen Grenzen belasteten Mediums Wasser mit dem Lockergestein der norddeutschen Tiefebene führt von Natur aus zur Regenerierung bis zur höchsten Qualität.

Für den Fall, daß eine ökologisch sinnvolle und wirtschaftlich machbare Verbesserung der Klarwasserqualität nicht auf allen möglichen Ebenen vorangetrieben werden kann, ist damit zu rechnen, daß

- die Vorräte an sauberem Wasser in den Ballungsräumen weiter abnehmen (und der Trend wird durch keine Landesgrenze aufgehalten),
- die Rückhaltefähigkeit des aus Wassermangel weniger humosen bewachsenen oder mit sauberem Wasser bedeckten Oberbodens gegenüber eindringenden Schadstoffen abnimmt und damit
- die Verletzlichkeit des Grundwasserleiters zunimmt.

Was bleibt weiterhin bei einer Verweigerungshaltung?

- Die Qualität der zur Klarwasserableitung genutzten Oberflächengewässer tendiert eher in Richtung zur Gewässergüteklasse III statt der angestrebten Güteklasse II.
- Die Uferfiltratqualität im Abstrom von der Einleitungsstelle ist schlechter als notwendig.

- Das noch nicht gewässerverträgliche Klarwasser ist zunächst einmal für die Region zur Ergänzung der Trinkwasservorräte nur marginal zum Verschnitt verwendbar.
- Wegen der unzureichenden Gewässerverträglichkeit muß das Klarwasser weiterhin auf dem direktesten Weg abgeleitet werden und kann nicht zur besseren Versorgung austauscharmer Oberflächengewässer (beispielsweise des Rangsdorfer Sees) genutzt werden.
- Unerwünschte Reaktionsprodukte - z.B. in Form von Algenwachstum und Schlamm Bildung - bilden entweder stromabwärts oder spätestens in den Randmeeren eine Belastung.

Selbst bei den günstigsten Versuchsergebnissen wird ein Restrisiko hinsichtlich des Bodenschutzes und einer Auslegung nach § 34 WHG nicht auszuschließen sein. Nach § 1 WHG besteht jedoch auch ein Bewirtschaftungsauftrag für das Grundwasser, der einen

„sinnvollen Abstand zwischen praktischem Vollzug des umfassenden Grundwasserschutzes und dem absoluten Sicherheitsanspruch“ (Salzwedel)

postuliert.

Sowohl die technischen als auch die naturräumlichen Lösungen beinhalten Risiken und Schattenseiten.

Entscheiden birgt Verantwortung.

Alle Folgen vorauszuberechnen ist unmöglich.

Von ständigem Handeln ist Schuld untrennbar.

Die Versuchsergebnisse sind ausführlich beschrieben in dem WaBoLu-Heft 11/94 des Instituts für Wasser-, Boden- und Lufthygiene im Umweltbundesamt:
v. KUNOWSKI, J; SCHULZ, H.-J.; VÖLTER, S. und BÜTTNER, TH.:

Naturräumliche Nachbehandlungsverfahren für Klarwasser (weitergehend gereinigtes Abwasser) zur Verbesserung der Oberflächengewässerqualität und Ergänzung der Grundwasservorräte

*Dipl.-Ing. Jürgen von Kunowski
Dipl.-Ing. Hans-Joachim Schulz
Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene
im Umweltbundesamt Berlin
Corrensplatz 1
14195 Berlin*

Sanierungs- und Gestaltungskonzeption für die ehemaligen Rieselfelder im Bereich des Forstamtes Buch

Elmar Kilz, Berliner Forsten – Landesforstamt Berlin

1. Einführung und Zielsetzung

1.1 Einführung

In einem der größten Siedlungsentwicklungsgebiete Berlins in Nordosten der Stadt entsteht parallel zu neuen Wohn- und Gewerbegebieten eine über 1.370 ha große Erholungslandschaft: der Erholungswald auf den ehemaligen Rieselfeldern Buch (siehe Bilder aus den Berliner Forsten auf den folgenden Seiten).

Bis 1984 Rieselfeld

Dort wurde mit der Fertigstellung der Kläranlage Schönerlinde 1984 nach über 100 Jahren die Rieselfeldnutzung aufgegeben. Seit 1960 waren Teile der Rieselfelder auf sogenannten „Intensiv-Filterbetrieb“ umgestellt worden; die Abwassermenge war so stark



Intakte Rieselfeldstruktur im Winteraspekt

gestiegen, daß die Felder ständig von Abwasser bedeckt waren und die Landwirtschaft eingestellt werden mußte. Aus Anlaß der 750-Jahr-Feier von Berlin wurden diese und die unrentabelsten Flächen aus der verbliebenen landwirtschaftlichen Nutzung genommen und - mit dem Ziel, einen Erholungswald für die benachbarten großen Stadtteile von Berlin zu schaffen - im Jahre 1985 dem damaligen Forstwirtschaftsbetrieb von Berlin übereignet.

Der Forstwirtschaftsbetrieb begann 1985 ohne ausreichende Voruntersuchungen und ohne ausreichend wissenschaftlich fundiertes Konzept mit der Aufforstung dieser Flächen. Nach Planierung des Geländes mit schwerem Gerät wurden überwiegend maschinell rund 50 Baum- und Straucharten (z.B. Pappel, Eberesche, Birke, Erle, Rotbuche, Kiefer, Fichte) gepflanzt. Bereits 1987 zeichnete sich ab, daß diese Maßnahmen nicht ausreichten, da sich lediglich auf

ca. 40% der Aufforstungsfläche ein mehr oder weniger vitaler Baumbestand etabliert hatte. Die Ursachen werden in der besonderen Standortproblematik gesehen, die durch schwermetallbelastete Klärschlammrückstände, gestörte Oberflächen- und Grundwasserhaushaltsverhältnisse sowie Umschichtung und Verdichtung der Rieselflächen gekennzeichnet ist.

Waldbetonte Erholungslandschaft soll entstehen

Die Berliner Forsten als Rechtsnachfolger des Forstwirtschaftsbetriebes setzen die begonnene Umgestaltung der Riesellandschaft fort, jedoch mit veränderter Zielsetzung, Methodik und Zeitplanung. Sie haben ein Konzept erarbeitet und wollen dies durchführen, das eine Erholungslandschaft entstehen läßt und gleichzeitig die belasteten Standorte ausweist und ökologisch verträglich saniert. Die vorhandenen Pionierwaldstrukturen werden in eine waldgeprägte Landschaft überführt, die von Flurgehölzen, Alleen und Baumgruppen gegliedert ist, in denen Hecken, wegbegleitende Obstgehölze und Wasserflächen ein prägendes Landschaftselement sind und in der die ehemalige Nutzung als Rieselfeld in kleineren Bereichen ablesbar bleibt. Diese Landschaft wird erlebnisreich sein, mit einem hohen Anteil spontaner Vegetation, einer reichen Vogel-, Amphibien-, Heuschrecken- und Schmetterlingsfauna, um nur einige Gruppen zu nennen. Sie wird erschlossen durch ein weitmaschiges Netz von Fuß-, Rad- und Reitwegen.

Mit der Entwicklung eines Erholungswaldes in diesem Landschaftsraum stehen die Berliner Forsten in der Tradition der Grüngürtelplanung für Berlin und des „Dauerwaldgedankens“, der die großräumige Freiraumplanung Berlins seit Beginn des Jahrhunderts beeinflußt. Die ausgeprägt sternförmige Berliner Siedlungsstruktur läßt Platz für Landschaftsräume, die fast bis in den Bereich der geschlossenen Bebauung vordringen; Stadtraum und Landschaftsraum sind tief miteinander verzahnt.

Belastungen des Landschaftsraums vermindern

Der Landschaftsraum der ehemaligen Rieselfelder Buch ist gegenwärtig durch typische Stadtrandnutzungen geprägt; Nutzungen, die zur Stadt gehören, in der Stadt selbst aber nicht gerne gesehen werden: Rieselfelder, Deponien, Schrottplätze, Lagerplätze. Die Wohnbebauung, in Gestalt von Datschen bis Großplatten-Geschoßwohnungsbau, frißt sich in die Landschaft zwischen Pankow und Bernau. Es entstehen jetzt, ohne erkennbare städtebauliche Ordnung, aber verkehrsgünstig an der Autobahn gelegen, Gewerbe- und Industriebetriebe. Dazwischen finden

sich alte Siedlungen mit noch dörflicher Baustruktur (Schönerlinde, Blankenfelde, Schönwalde, Hobrechtsfelde) und Reste landwirtschaftlicher Nutzungen, Obstkulturen und Brachflächen. Auf der positiven Seite - aus der Sicht des Naturschutzes und der Landschaftspflege - stehen neben den genannten Dörfern der sehr reizvolle - aber durch Straßen gevierteilte - Bucher Forst mit seinen naturnahen Kiefern-Eichen-Buchen- und Erlen-Eschen-Mischbeständen und die infolge der Verrieselung entstandenen oder geförderten Gewässer und Feuchtgebiete: Hangquellmoor Schildow, Fischteiche Schönerlinde, Bogensee, Karower Teiche.

Die zum Teil chaotisch wirkenden Nutzungen verhindern, daß der Besucher den Eindruck einer harmonischen Kulturlandschaft gewinnen kann. Die Rieselfelder sind zur Zeit nicht mehr Landwirtschaft und noch nicht Wald. Die alten Qualitäten wurden weitgehend zerstört: Die Hecken sind beseitigt, die Wälle abgeschoben, die weite Sicht in die Landschaft wird zunehmend und planlos durch Bebauung und aufwachsende Pappelpflanzungen eingeengt.

Günstiges Naturraumpotential für Naherholung

Trotzdem hat der Landschaftsraum Qualitäten für ein hochwertiges naturbetontes Naherholungsgebiet. Die flachwellige Moränenlandschaft des Barnim, die genannten Feuchtgebiete und Seen mit den verbindenden Gräben sowie der Bucher Forst bieten günstige naturräumliche Voraussetzungen. Dazu kommt die hervorragende Verkehrsanbindung durch die S-Bahn.

Die zukünftige Nutzung und Gestaltung dieses Landschaftsraumes wird ganz entscheidend von der Schadstoffbelastung der Flächen mitbestimmt. Es wird zur zentralen Aufgabe, dieses Gefahrenpotential in die Planung miteinzubeziehen, so schonend und naturverträglich wie möglich zu reduzieren und Lösungen zu entwickeln, die auch langfristig Schädigungen der Flora und Fauna sowie des Grundwassers verhindern.

Eine gezielte Verrieselung von technisch optimal geklärtem Abwasser in einigen der alten Rieselfeldbecken und -gräben soll die wertvollen Feuchtgebiete erhalten, den Grundwasserspiegel örtlich anreichern, die Verlagerung von Schadstoffen, vor allem der Schwermetalle, in den tieferen Untergrund verhindern sowie eine weitere Absenkung des pH-Wertes im Oberboden abmildern und der aufkommenden Vegetation die schwierige Anwuchsphase erleichtern.

Dieses Vorhaben wurde 1991 und 1992 im Rahmen des Berliner „Ökologischen Sofortprogramms“ und des Programms „Aufschwung Ost“ der Bundesregierung mit Mitteln des Bundesumweltministeriums gefördert und seitdem mit Mitteln aus dem „Waldgesundheitsprogramm“ des Berliner Senats fortgeführt.

1.2 Ziele der Sanierungs- und Gestaltungskonzeption

Eine waldgeprägte Erholungslandschaft zu entwickeln, ist das Hauptziel. Auf dem Weg dahin wurden folgende Teilziele der Sanierungs- und Gestaltungskonzeption erreicht:

- Ermittlung der Belastung der „Rieselfelder Berlin-Buch“ in ihrer stofflichen Zusammensetzung und räumlichen Verteilung.
- Verbesserung der Standorte, so daß Wald aufwachsen und einen hohen Anteil der Flächen einnehmen kann.
- Feststellung geeigneter und umweltschonender Methoden, um einen Austrag von Schadstoffen in das Grundwasser und die Oberflächengewässer sowie eine Verfrachtung der Schadstoffe durch Winderosion zu vermeiden.
- Aufzeigen der zum Abbau der Belastungen kurz-, mittel- und langfristig erforderlichen Maßnahmen in ihrer zeitlichen Priorität und ihren ökologischen Auswirkungen.
- Einbeziehen der Landschaftsentwicklung des gesamten Bucher Raumes.

Die Nutzungs- und Gestaltungsmaßnahmen sollen so natur- und umweltverträglich wie möglich sein. Großflächige Bodenversiegelung ist beispielsweise schon deshalb keine geeignete Sanierungsmaßnahme, weil sie die Belastung des Ökosystems nicht abbaut, sondern seine Regenerationsfähigkeit zusätzlich einschränkt.

Die ehemaligen Rieselfelder sollten - wenigstens soweit sie den Berliner Forsten gehören - möglichst bald natur- und umweltverträglichen Nutzungen zugeführt werden. Dazu gehören vor allem der naturgemäße Waldbau einschließlich der Erhaltung von Frei- und Sukzessionsflächen, der Arten- und Biotopschutz sowie die landschaftsbezogene Erholung (hier: Wandern, Radfahren, Reiten, Naturbeobachtung). Der gegenwärtige Zustand der ehemaligen Rieselfelder wurde analysiert, um geeignete Flächen und eine sinnvolle Verteilung von Flächen für verschiedene Nutzungen zu ermitteln. Daneben wurde geprüft, wieweit auf Teilflächen eine begrenzte landwirtschaftliche Nutzung (Futterpflanzen, Rohstoffpflanzen) möglich wäre. Durch einen Testbetrieb wurde ermittelt, ob und wieweit eine gezielte Wiedervernässung noch vorhandener Rieselfelder mit Klarwasser des Klärwerkes in Schönerlinde einen ökologisch verträglichen Beitrag zur Grundwasseranreicherung liefern kann. Nach der Testphase sollte die Wiedervernässung erweitert werden, um das Wasser auch dem Hangquellmoor Schildow, den Karower Teichen und der Bogenseekette zugute kommen zu lassen.

Die Bedeutung der ehemaligen Rieselfelder als Freiraum und ihre anzustrebende Gestaltung hängen we-

sentlich von der Struktur sowie der gegenwärtigen und zukünftigen Nutzung ihrer Umgebung ab. Deshalb wurde über die Rieselfelder im Bereich des Forstamtes Buch hinaus der Landschaftsraum zwischen Bernau im Osten, Lindenberg und Rosenthal im Süden, Lübars im Westen sowie Basdorf im Norden betrachtet und eine Entwicklungsvorstellung erarbeitet. Diese Vorstellung geht davon aus, daß in diesem wald- und strukturarmen Landschaftsraum, in dem schon für die nächste Zukunft eine starke Entwicklung von Industrie- und Wohnbebauung angestrebt wird, große Landschaftsteile als Erholungsraum und Grünzug freizuhalten und zu entwickeln sind. Diese Flächen sollen die Verbindung zum Goriner Forst, der ebenfalls Berlin gehört, herstellen und sich als Grünzug in den Bebauungsbereich hineinziehen.

Natürlich sind auch ökonomische Überlegungen zu den Kosten und Nutzen wichtig; sie unterstützen unseren Ansatz der ökologisch verträglichen Sanierung. Naturgerechte Biotopgestaltung und gleichzeitige Sanierung dieses Gebietes mit Methoden der naturgemäßen Waldwirtschaft sind mittelfristig voraussichtlich kostengünstiger als eine rein technische Sanierung der gesamten ehemaligen Rieselfelder. Auch der Anbau von Energiepflanzen, der zwar kurzfristig gewinnversprechend ist, langfristig aber nach unserer Auffassung wie jede hochgezüchtete Monokultur ökologische Folgeprobleme nach sich zieht und in keiner Weise zu einer Beseitigung der Altlastenproblematik beiträgt, ist deshalb großflächig angewandt wenig sinnvoll.

Das Projekt hat nach unserer Meinung Modellcharakter für die weitere Behandlung vieler um Berlin herum gelegenen ehemaliger Rieselfelder, da hier - anders als im Rieselfeld-Symposium in Potsdam 1991 diskutiert - nicht entweder Landwirtschaft oder Naturschutz vorrangig betrieben werden soll, sondern ein integriertes Landschaftsmanagement angestrebt wird.

2. Einführung in das Gebiet

Lage und Größe der Rieselfelder

Rund 1,370 ha ehemaliger Rieselfeldflächen im Besitz der Berliner Forsten befinden sich im südwestlichen Teil des Barnimplateaus im Forstamtsbereich Buch (davon ca. 770 ha im Land Berlin, 600 ha im Land Brandenburg, Kreis Bernau). Östlich und westlich werden sie durch die Ortslagen Zepernick und Schildow-Blankenfelde, im Süden durch die Berliner Stadtteile Buchholz-Blankenburg und Buch begrenzt.

Standortproblematik

Bisher untersucht wurden: örtlich unterschiedliche Akkumulation verschiedener Salze, bodenfremder organischer Substanzen und Schwermetalle (Cd, Pb, Ni, Cu, Zn) sowie Unausgeglichenheit der Makronähr-

stoffverhältnisse im Boden durch rund 100jährige Aufleitung von Abwässern unterschiedlicher Herkunft mit unterschiedlicher Intensität, z.T. in bis zu 20facher Menge des Jahresniederschlages von ca. 580 mm. Dadurch resultieren möglicherweise Grundwasserbelastung, eine Beeinträchtigung der mikrobiellen Bodenaktivität sowie als Folgeerscheinungen Vitalitätsstörungen bei Bodenflora und -fauna und dem Baumbestand.

Störungen des Oberbodens (bis ca. 150 cm Bodentiefe) sowie Beeinflussung des Gebiets- und Grundwasserhaushaltes durch Planierungsarbeiten und Entwässerung des Geländes (Bodenverdichtungen; zerstreute, schwer lokalisierbare Verteilung von Klärschlammresten unterschiedlicher Mächtigkeit im Oberboden, stellenweise starke Beeinträchtigung der Wasserleitfähigkeit des Bodens) waren die Folge des durch den planerischen Zentralismus gesetzten Zeitdrucks.



Nach Einstellung der Verrieselung trocknete der Boden in den Einlaßbecken aus und brach in tiefen Rissen auf.

Forschungsprobleme durch Wind, Feuer, Frost und Wilddichte (Rehwild, Kaninchen) aufgrund der vergrößerten Flächenexposition und der derzeitigen Flächenbewuchsverhältnisse kommen hinzu.

Status Quo

Rund 40% der in den Jahren 1986 und 1990 bepflanzen bzw. nachgebesserten Flächen sind heute als ausreichend bestockt zu beurteilen. Viele Flächen weisen Lücken und große Fehlstellen auf. Lokal sind Wachstumsdepressionen und -anomalien an Gehölzen zu beobachten. Vielfach sind unerwünschte, da alles überwuchernde Massenvermehrungen von bodenverdämmenden Pflanzenarten (Quecke) festzustellen. Die Verbißschäden durch Kaninchen und Rehwild sind hoch.

Für das Forstamt wurden im September 1991 Behandlungsleitsätze der forstlichen Wirtschaftsweise speziell für die ehemaligen Rieselfeldflächen aufgestellt. Diese Handlungsgrundsätze bewegen sich im Rahmen der Waldbaukonzeption der Berliner For-



Die Umgestaltung war schwierig und der Einsatz von Mensch und Maschinen nicht immer sofort von Erfolg gekrönt - zu groß waren oft die abgesetzten Klärschlammrestmassen, die bewegt werden mußten.

sten, die den floren- und standortgerechten naturgemäßen Waldbau festschreibt. Die ordnungsgemäße forstliche Bewirtschaftung konzentriert sich in einer ersten projektbegleitenden und z.T. projektunabhängigen Phase auf exponierte Lagen, Orts- und Straßenrandlagen, wo die Gestaltung und Erhaltung der ausgeräumten Landschaft als waldgeprägte Grünzone im Vordergrund steht.



Noch intakte Rieselgräben werden mit Stauwehren versehen, um den Gebietswasserabfluß zu begrenzen.



Vor Feuchtgebieten - hier dem NSG Kalktuffgelände Schildow - vorgelagerte Rieselfeldstrukturen werden zur Feuchthaltung des Gebietes ständig mit Wasser bespannt.



Vor allem in Hobrechtsfelde herrscht großer Wassermangel. Hier wird sich strauch- und baumförmige Vegetation nur im Wege der Sukzession einfinden.

3. Teilziele und methodisches Vorgehen

Im folgenden werden die einzelnen Forschungsbereiche des wissenschaftlichen Teils mit ihren Zielstellungen kurz vorgestellt:

3.1 Arbeitsbereich Bodenkunde/ Hydrologie

3.1.1 Bodenkundliche und hydrologische Charakterisierung des Untersuchungsgebietes

- Kennzeichnung der Substrate und Bodentypen
- Kennzeichnung der Verteilung und Mächtigkeit von natürlichen und aufgetragenen Sanddeckschichten
- Kennzeichnung des Bodenwasserhaushaltes
- Kennzeichnung der Grundwasserflurabstände, aktuell und zeitliche Entwicklung
- Kennzeichnung der Grundwasserfließrichtung und -geschwindigkeit
- Kennzeichnung des Gebietswasserhaushaltes unter Berücksichtigung einer Grundwasseranreicherung mit vorgeklärtem Abwasser („Klarwasser“)

3.1.2 Belastungsanalyse

Bestimmung von Nährstoffstatus und Schadstoffanreicherung im Boden

- Ausweisung von Gebieten unterschiedlicher Versorgungs- und Belastungsstufen (Schwermetalle, ausgewählte organische Stoffe, Schadgase im Wurzelraum)
- Kennzeichnung der vertikalen Verteilung und Bindungsformen der Schwermetalle im Boden
- Kennzeichnung des Adsorptions- und Desorptionsverhaltens der Schwermetalle
- Modellierung der Stoffverlagerung

Bestimmung bodenbiologischer Leistungsparameter

- Kennzeichnung der bodenbiologischen Aktivität in Abhängigkeit der Schadstoffbelastung
- Ermittlung und Erfassung der ökologisch relevanten Bodenorganismen, Kennzeichnung des Mykorrhizastatus einzelner Forstbaumarten

Bestimmung der Schadstoffkonzentrationen im oberflächennahen Grundwasser und in Gewässern

- Abschätzung der Grundwassergefährdung durch Auswaschung von Schadstoffen
- Ermittlung der Gewässer- und Sedimentbelastung

3.1.3 Sanierungs- und Nutzungskonzepte

Mögliche Sanierungs- und Nutzungsverfahren sollen daraufhin bewertet werden, inwieweit sie zu einer ökologischen Stabilisierung beitragen können und ob sie auch langfristig dazu geeignet sind, das Gefährdungspotential dieser Altlastenflächen so gering wie möglich zu halten.

3.2 Arbeitsbereiche Ökologische Ausgleichsfunktionen und Nutzungseignung sowie Vegetationsökologie, Klima und Lufthygiene

3.2.1 Medienübergreifende Darstellung der ökologischen Ausgleichsfunktionen des Freiraumes Rieselfelder Buch

Nach den Erkenntnissen der Landschaftsökologie kann ein System aus radialen und ringförmigen Grünzügen am besten die für Verdichtungszentren notwendigen Ausgleichsfunktionen wahrnehmen. Dies trifft sowohl für Erholungsaspekte als auch für die Funktionen im Bereich des Klima- und Bodenschutzes sowie der Luftreinhaltung zu. Die Freiflächen um die ehemaligen Rieselfelder in Buch erfüllen als radialer Grünzug bereits heute wichtige ökologische Ausgleichsfunktionen für den Nordosten Berlins. Mit der geplanten baulichen Verdichtung entlang der Entwicklungssachse Buchholz - Buch - Bernau wird der Bestand und der Ausbau dieser Funktionen um so dringlicher. Es muß also das Ziel sein, die vorhandenen und die potentiellen Ausgleichsfunktionen der Freiflächen um Buch in Hinblick auf ein Nutzungskonzept, das den Erfordernissen einer weitblickenden Raumordnung Rechnung trägt, medienübergreifend darzustellen. Aus der Kenntnis von räumlich genau zu definierenden Belastungsschwerpunkten lassen sich Vorschläge für Sanierungsmaßnahmen treffen, wodurch mögliche Einschränkungen der Ausgleichsfunktionen minimiert werden können. In diesem Zusammenhang galt es

abzuschätzen, in welchem Umfang der Aufbau eines Erholungswaldes als grundsätzliche flächenhafte Sanierungsmaßnahme gewertet werden kann. Die Möglichkeiten, die sich aus der Bewaldung der Flächen für eine Optimierung der Ausgleichsfunktionen ergeben, werden vorrangig behandelt.

In Zusammenarbeit mit dem Arbeitsbereich Bodenkunde/Hydrologie erfolgte eine Darstellung des ökologischen Potentials sowie der Belastungssituation der ehemaligen Rieselfeldflächen als Grundlage für ein Nutzungseignungskonzept. Desweiteren wurden die ökologischen Funktionen zu den vorhandenen Planungen und Nutzungsansprüchen in Beziehung gesetzt. Dies ermöglicht eine Wichtung von Einflußgrößen auf die Ausgleichsfunktionen sowie auf die Entwicklung des Erholungswald-Konzeptes. Aufbauend auf Szenarien über die Auswirkungen unterschiedlicher räumlicher Entwicklungsprozesse wurden dann Maßnahmenempfehlungen getroffen.

3.2.2 Medienspezifischer Bereich: Vegetationsökologie, Klima, Lufthygiene, Humanökologie

- Erarbeitung von ökologischen Grundlagen zur erfolgreichen Wiederbewaldung des Untersuchungsgebietes
- Erarbeitung von Grundlagen zur Abschätzung von Stoffflüssen im System Boden-Pflanze-Tier
- Abschätzung des Einflusses von Bewirtschaftungsmaßnahmen und Standortfaktoren auf die Entwicklung von Gräsern und Stauden, denen wegen ihrer Neigung zur Dominanzbildung eine vitalitätsmindernde Bedeutung gegenüber Gehölzen und ein hoher Einfluß auf die Artendiversität und die Etablierung schützenswerter Arten zukommt
- Abschätzung von Ausmaß und jahreszeitlichem Verlauf der Immissionssituation und deren Bewertung in Relation zur Belastung von innerstädtischen Flächen und Entwicklungsachsen
- Abschätzung der bioklimatischen Ausgleichsfunktionen der Untersuchungsflächen
- Humanökologische Bewertung der pedogenen Belastung

3.3 Arbeitsbereich Waldbau und Forstschutz, Alternativnutzungen

- Langfristiges Ziel ist die Begründung eines an die naturräumlichen Gegebenheiten angepaßten Waldbestandes als landschaftsprägendes Element. Der Waldbestand soll einen Beitrag zur Sanierung der stark anthropogen beeinflussten Böden leisten.
- Verwendet werden standortgerechte, wurzelintensive Baumarten: Kiefer, Winterlinde, (Sommerlinde), Stieleiche, (Traubeneiche), Spitzahorn, Eberesche, Birke, (Hainbuche). Durch eine tiefreichende Bewurzelung kann langfristig ein Aufschluß der Verdichtungshorizonte, bessere O₂-Versorgung

des Bodens, Förderung der Mikrofauna und der Stoffumsetzungen erreicht werden.

- Die jetzige z.T. nicht standortgemäße Bestockung soll als „Vorwald“ dienen (Beschattung, Windruhe, Schutz vor Spätfrösten) und allmählich in den „Zielbestand“ überführt werden. Mittelfristig wird sie im Zuge von Pflegemaßnahmen sukzessive wieder entnommen.
- Die Wahl der Haupt- und Nebenbaumarten soll sich weitestgehend an den Ergebnissen der Boden- und Vegetationsuntersuchungen orientieren. Durch relativ kleinräumige Wechsel der Bestandszusammensetzung soll ein abwechslungsreiches Landschaftsbild entstehen.
- Die Sukzession wird als Alternative zur künstlichen Bestandsbegründung in die Planung mit einbezogen.
- Ein weiteres Ziel ist die Entwicklung vielgestaltiger Waldränder und Hecken, die in Artenzusammensetzung und Ausformung dem Erholungsaspekt gerecht werden sowie Lebensraum für Flora und Fauna bieten.
- Die Möglichkeiten und Grenzen ökologisch angepaßter und naturverträglicher Forstschutzmaßnahmen sollen aufgezeigt werden. Auf chemische Schädlings- und Wildkrautbekämpfungsmittel wird verzichtet.
- Bodenbearbeitung und Düngung soll so weit wie möglich zurückgeschraubt werden bzw. auf die Initialphase beschränkt bleiben.
- Einstellung des Wildbestandes auf ein naturverträgliches Maß.

Landwirtschaftliche Nutzungsmöglichkeiten werden aufgezeigt und beurteilt. Ziel ist es, Teilflächen aus Gründen des Naturschutzes, der Landschaftspflege und der Erholungsnutzung frei von geschlossener Waldbestockung zu halten. Eine Pflege dieser Flächen kann beispielsweise durch Beweidung erfolgen.

3.4 Arbeitsbereich faunistischer Arten- und Biotopschutz, Integration des Verbandsnaturschutzes

- Ermittlung und Beschreibung des faunistischen Artenbestandes unter besonderer Berücksichtigung der seltenen und gefährdeten Arten auf den ehemaligen Rieselfeldern und im näheren Umland.
- Erfassung der aus faunistischer Sicht schutzwürdigen Biotope und Landschaftsstrukturen.
- Erarbeitung eines Konzeptes bzw. Zielplanes für den Arten- und Biotopschutz zur Integration in die Gesamtplanung (in Zusammenarbeit mit den anderen Arbeitsbereichen).
- Integration des Arten- und Biotopschutzes in die Planung, gleichrangig neben Erholungsnutzung, Forstwirtschaft etc.
- Ableitung von konkreten und direkt umsetzbaren Vorschlägen von Schutz-, Pflege- und Entwick-

lungsmaßnahmen für die ehemaligen Rieselfelder und den Bucher Forst unter dem Gesichtspunkt des Schutzes und der Erhaltung seltener und gefährdeter Tierarten.

- Erarbeitung eines Konzeptes zur Verbesserung der Wasser- und Biotopqualität der vorhandenen Gewässer.
- Integration und informelle Beteiligung der im Gebiet tätigen und interessierten Naturschutzgruppen und der Naturschutzstation Niederbarnim in Zepernick.
- Erfassung der Belastung ausgewählter terrestrischer und amphibischer Tierarten mit Schwermetallen und ausgewählten organischen Stoffen. Damit soll geklärt werden, inwieweit die Belastung des Bodens bereits Eingang in die Nahrungskette gefunden hat.

3.5 Arbeitsbereich Flora/Vegetation, Arten- und Biotopschutz

- Ermittlung erhaltenswerter Biotope und Vegetationsstrukturen (z.B. Feldgehölze, Hecken) auf den ehemaligen Rieselfeldern.
- Ermittlung aktuell und potentiell für den lokalen Biotopverbund geeigneter Biotope
- Entwicklung eines Zielplanes für den Arten- und Biotopschutz
- Ableitung von Vorschlägen für Schutz-, Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen (incl. Sanierungsmaßnahmen) für die Rieselfeldflächen und den Bucher Forst unter dem Gesichtspunkt des Arten- und Biotopschutzes

3.6 Arbeitsbereich Landschaftsbild

- Ermittlung der Vegetationsstrukturen der Rieselfelder am Ende des Rieselbetriebes 1985 und 1992.
- Ermittlung des Kronenschlusses der gepflanzten Gehölze auf den Rieselfeldern.
- Ermittlung gestaltsprägender Elemente des Landschaftsbildes.
- Bewertung der für das Landschaftsbild - positiv wie negativ - besonders bedeutsamen Landschaftselemente.
- Entwicklung eines Zielplanes für das Landschaftsbild (iterativer Prozeß gemeinsam mit vorgenanntem Arbeitsschritt).
- Ableitung von Vorschlägen für Schutz-, Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen für die Rieselfelder Berlin-Buch unter dem Gesichtspunkt des Landschaftsbildes

3.7 Arbeitsbereich Planerische Rahmenbedingungen/Leitbild Erholung

- Darstellung der Eigentumsverhältnisse und Verwaltungseinheiten

- Darstellung der Nutzungsschwerpunkte und ihrer räumlichen Beziehungen in geschichtlicher Abfolge, um die Charakteristik des erweiterten Planungsraumes zu erfassen und Vorgaben für künftige Nutzungen zu formulieren.
- Darstellung der Konfliktpotentiale, die sich im Nordosten Berlins zwischen Freiraumnutzungen und konkurrierenden Nutzungen auf den Planungsebenen Region, Stadt und Kommune ergeben.
- Formulierung von Leitbildern, die Chancen und Risiken für das Forstrevier Buch als „ballungsraumnahes Erholungsgebiet“ aufzeigen und Empfehlungen zur Landschaftsentwicklung im erweiterten Planungsraum geben.
- Diese Leitbilder dienen als Grundlage für ein gemeinsames Vorgehen, das die Belange von Forstfachplanung und Landschaftsplanung zusammenführt (integriertes Erholungskonzept).
- Gestaltungsorientierte Objektplanung in vorgezogenen Bereichen als Diskussionsbeitrag für eine Neuinterpretation waldbürtiger Erholungsformen auf ehemaligen Rieselstandorten.
- Benennen von Strategien zu kurz-, mittel- und langfristigen Vorgehensweisen, um sowohl Flächenmanagement zu betreiben („Waldflächenergänzungskonzept“) als auch die Berliner Forsten in die Lage zu versetzen, die Forstfachplanungen (z.B. forstliche Rahmenplanung) frühzeitig mit raumrelevanten Planungen zusammenzuführen (Regionalplan, Landschaftsprogramm, Bauleitplanung).

3.8 Arbeitsbereich Luftbildmessung/-interpretation/Kartographie

3.8.1 Luftbildmessung und -interpretation

- Herstellung einer digitalen topographischen Grundkarte 1 : 5000.
- Darstellung der Geländemorphologie durch ein im Luftbild-Stereomodell erfaßtes Höhenlinienbild
- Kartierung der Heckenstrukturen zur Zeit der Rieselfeldnutzung aus Luftbildern von 1985

3.8.2 Kartographie

- Erstellung eines einheitlichen Kartenwerks auf der Grundlage der topographischen Grundsituation.
- Vervielfältigung des Kartenwerks (als Druck oder Plot) für die Dokumentation und den Endbericht.
- Zusammenstellung (Überlagerung oder Verschneidung) einzelner Informationsschichten der thematischen Grundkarten zu neuen Karten.
- Übergabe der digitalen Informationen von geographischen Informationssystem SICAD zum geographischen Informationssystem PIA der Berliner Forsten zur Aktualisierung und Fortschreibung der Informationsgrundlagen.

4. Vorläufiges Maßnahmenprogramm

4.1 Forstliche Bewirtschaftung

Ziel aller forstlichen Maßnahmen ist mittel- und langfristig die Schaffung eines Erholungswaldes mit stabilen, standortgemäßen und florengerechten Baumarten, der zur Sanierung der Standorte beiträgt und damit nachhaltig Schutz-, Erholungs- und Nutzungsfunktion erfüllt. Angestrebt werden horizontal und vertikal strukturreiche Mischbestände aus heimischen Baumarten, unterbrochen durch Frei- und Sukzessionsflächen sowie waldbegleitende Biotope und Wasserflächen.

Bei der Verwirklichung dieser Zielsetzung werden gegenwärtig bereits folgende Prinzipien angewandt:

- Forstliche Maßnahmen konzentrieren sich zunächst auf diejenigen Flächen, auf denen die Wiederbewaldung am weitesten fortgeschritten ist oder am aussichtsreichsten erscheint.
- Die Eingriffsstärke jeder Maßnahme ist so gering wie möglich zu halten.
- Großflächige Bodenbearbeitung wird zugunsten von kleinflächiger, plätzeweiser Vorgehensweise aufgegeben.
- Ausschließliche Verwendung standort- und florengerechter Pflanzen.
- Manuelle statt maschineller Kultur- und Dickungspflege.
- Weitgehende Einschränkung jeglichen Herbizideinsatzes.
- Schlechten Anwuchsergebnissen und Überwucherung der Jungpflanzen durch Quecke u.a. Wildkräuter wird begegnet durch größere Pflanzen, Verdrängungssaaten, Mulchplatten, Treeshelters u.a..
- Schutz von Sukzessionsflächen und erhaltenswerten Biotopen, sofern sie erhaltungs- und entwicklungsfähig sind (z.B. ab einer Größe von 0,1 ha).

4.2 Klarwasserverrieselung

Im Zusammenhang mit der 1985-1987 begonnenen Umgestaltung und Aufforstung der Rieselfelder wurde ein Bewässerungssystem für Klarwasser konzipiert und im November 1990 erstmalig in Betrieb genommen. Es besteht aus einer Pumpstation auf dem Gelände des Klärwerks Schönerlinde, einer etwa 5 km langen Überleitung, Teilen des alten Rieselfelddruckrohrnetzes, sechs Sickerteichgruppen (ehemalige Rieselfeldtafeln) und 15 Stauen in den ehemaligen Rieselfeldgräben. Mit diesem System soll erreicht werden:

- eine Grundwasseranreicherung bzw. -erhöhung im Umfeld der Sickerteiche mit positiven Auswirkungen

gen auf die Grundwassersituation im Bucher Forst und umgebenden Landschaftsraum;

- Erhaltung der Bogenseekette und der Karower Teiche, die sonst einen erheblich niedrigeren Wasserstand hätten;
- Förderung des Anwachsens der Bäume entlang der angestauten Gräben;
- weiträumige Biotopvernetzung durch die wieder mit Wasser gefüllten Gräben und Teiche;
- Förderung der Artenvielfalt in den verschiedenen von Wasser abhängigen oder geprägten Biotopen (durchströmte Flachwasserbereiche in den Sickerteichen, Abschnitte mit geringer Fließgeschwindigkeit in den relativ tiefen Rückstaubereichen, Fließstrecken unterhalb der Stau, großflächige Wasserkörper in den Teichen Bogenseekette und Karower Teiche).

Im Rahmen des vorliegenden Programms wurde eine Bewässerung als Versuchsbetrieb unter wissenschaftlicher Beobachtung mit dem Verrieseln von geklärtem Abwasser des Klärwerks Schönerlinde in zwei Sickerteichgruppen (2,7 und 5,7 ha groß) mit einer Wassermenge von max. 5.000 m³/Tag durchgeführt. Das System kann nach der Reparatur verschiedener Druckrohrleitungen und dem Vorliegen entsprechender Genehmigungen auf eine Bruttosickerteichfläche von knapp 40 ha erweitert werden. Für die beiden o.g. Sickerteichgruppen auf Berliner Gebiet sind umfangreiche wissenschaftliche Begleituntersuchungen erfolgt, die die Stoffverlagerungsprozesse untersuchen und eine ökologische Bewertung ermöglichen sollen. Durch die begleitenden wissenschaftlichen Untersuchungen sind wesentliche Erkenntnisse gewonnen worden, daß auf hochbelasteten Rieselfeldböden Klarwasser ohne negative Auswirkungen auf Böden und Grundwasser verrieselt werden kann.

5. Dokumentation der Ergebnisse

Die Nutzungs- und Gestaltungskonzeption wurde in einer (unveröffentlichten) Langfassung und einer Kurzfassung dokumentiert. Die Kurzfassung (rund 250 Seiten) wurde in der Veröffentlichungsreihe „Arbeitsmaterialien der Berliner Forsten“ als Band 4 publiziert.

Literatur

- [1] BERENDT, A. (1990): Untersuchungsstand über die Auswirkungen des ehemaligen Rieselfeldbetriebes auf Boden und Grundwasser der zu großen Teilen aufgeforsteten Rieselflächen im Norden Berlins. Diplomarbeit Humboldt-Universität, Fachbereich Geographie, Berlin.
- [2] HAHN, H. & LANGBEIN, F. (1928): 50 Jahre Berliner Stadtentwässerung, Berlin.
- [3] JACOBI, O. (1927): Vom Dorf zur Großstadt, Bilder aus der Entwicklungsgeschichte des 19. Verwaltungsbezirkes Pankow, herausgegeben aus Anlaß des 40jährigen Bestehens „Anzeiger für den Berliner Norden“.
- [4] KAPPEL, R. (1987): Beiträge zur Gestaltung von Erholungswäldern unter Nutzung ehemaliger Rieselfelder im Berliner Norden (Diplomarbeit) TU Dresden, Sektion Forstwirtschaft.
- [5] LADWIG, A. (1989): Auswirkungen der langjährigen Abwasserverrieselung und der Einstellung des Rieselfeldbetriebes im Norden Berlins auf das Grundwasser. Akademie der Wissenschaften der DDR, Institut für Geographie und Geoökologie, Bereich Hydrologie, Abteilung Oberflächennahes Grundwasser/Bodenwasser, Berlin. (unveröffentlicht).
- [6] METZ, R. (1991): Berliner Rieselfelder, Entsorgungsflächen für die Versorgung. Forum, Grüntiftbeilage 8: 12
- [7] METZ, R.; GRÜN, M.; MACHELETT, B., o.J.: Umgestaltung der Berliner Rieselfelder - altlastenbedingte Entscheidungsvarianten für Nutzungskonzeptionen. Forschungsbericht.
- [8] MIELKE, H.-J. (1971): Die kulturlandschaftliche Entwicklung des Grunewaldgebietes. Abhandlungen des 1. Geographischen Instituts der Freien Universität Berlin, Bd. 18. Reimer: Berlin. 348 S.
- [9] OTTO, W.; SCHNEEWEISS, N.; SCHONERT, B. und TETZLAFF, I. o.J.: Die Umgestaltung der Hobrechtsfelder Rieselfelder, Teil 1: Die ehemaligen Rieselfelder als Sekundärbiotop. (Projektarbeit) iNaturschutzstation Niederbarnim.
- [10] RIEDEL; GRÜNEBERG (1990): Erholungswald auf ehemaligen Abwasserleitungsflächen. Forstwirtschaft 24: 161-164.
- [11] SCHINDLER, N. (1972): Gartenwesen und Grünordnung in Berlin. In: Architekten- und Ingenieurverein zu Berlin (Hrsg.): Berlin und seine Bauten Teil XI, Gartenwesen. Berlin.
- [12] AUHAGEN / CORNELIUS / KILZ / KOHL / KRAUSS / LAKENBERG / MARSCHNER / SCHILLING / SCHLOSSER / SCHMIDT (1994): Sanierungs- und Gestaltungskonzeption für die ehemaligen Rieselfelder im Bereich des Forstamtes Buch; Phase 1 (1991 - 1993). In: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz (Hrsg.): Arbeitsmaterialien der Berliner Forsten Band 4

*Dipl. Forstwirt Elmar Kilz
Waldsanierungsbeauftragter der Berliner Forsten
Landesforstamt Berlin
Wannseebadweg 10
14129 Berlin (Nikolassee)*

Landwirtschaftliche Nutzung von Rieselfeldern

Reinhart Metz, Humboldt-Universität zu Berlin

1. Problemstellung

Die moränen Sandstandorte des Berliner Umlandes mit Ackerzahlen zwischen 15 und 30 waren bis zur Anlage von Rieselfeldern vor 120 bis 60 Jahren vorwiegend forstwirtschaftlich oder als Trockenrasen genutzt. Nur auf Lehmkuppen, Moorinseln und in feuchten Niederungen wurde erfolgreich Pflanzenproduktion betrieben. Erst nach Einführung der Verrieselung zur Abwassereinigung in wasserwirtschaftlich-landwirtschaftlicher Doppelnutzung ab 1870 konnten auf dem sorptionsschwachen Substrat durch gesteuerte Feuchteregulierung und Nährstoffeintrag (etwa 500 mm Abwasser mit 40 kg Stickstoff, 30 kg Kali und 10 kg Phosphor/Hektar/Jahr) Pflanzenerträge erzielt werden, die mit mineralischer Zusatzdüngung zu den Spitzenerträgen Deutschlands zu rechnen waren. Intensiver Feldgemüsebau auf den 0,15 - 0,25 ha kleinen Rieseltafeln mit Erträgen von 200 - 300 dt/ha für die Versorgung der Stadt Berlin und Futterbau (mit fünf bis sechs Grasschnitten im Jahr) für Frischfütterung, Heu- und Silagebereitung in den zahlreichen Abmelkwirtschaften der Stadtgüter und Privatbetrieben, dazu billige Saisonarbeitskräfte führten zu wirtschaftlich stabilen Landwirtschaftsbetrieben (RUTHS, 1928) [1].

2. Landwirtschaftliche Nutzung und Rieselmüdigkeit

Noch vor etwa 25 Jahren waren in Berlin ca. 12.000 ha Rieselfeldfläche intensiv mit Futter- (insbesondere Mais und Ackergras) und Getreidebau (besonders Winterroggen) bewirtschaftet. Erträge von 100 - 150 dt/ha Trockenmasse im Grasbau und von 35 - 40 dt/ha Winterroggen wurden erzielt. Der Gemüseanbau war aus hygienischen Gründen eingeschränkt bzw. seit 1969 verboten. Die etwa einhundertjährige Bewirtschaftung mit Feldgrasbau und geordnete Stallmistwirtschaft hatten in der Ackerkrume deutlich verbesserte Sorptionseigenschaften herausgebildet (C_t -Gehalte zwischen 0,6 und 1,0%). Dadurch waren nach der Umgestaltung der Rieselflächen, auch ohne Abwassereinsatz, mit den typischen Feldfrüchten des „armen“ Standortes gute Erträge zu erzielen, die durch bedarfsgesteuerte Abwasserverregung noch deutlich anstiegen (Tab. 1).

Nahezu zeitgleich hat die Wissenschaft auf Probleme von Altlaststandorten und auf die Gefahr des Schadstofftransfers von belasteten Böden in die Nutzpflanzen aufmerksam gemacht. Auf den Rieselfeldern traten schon seit Jahrzehnten Bodenstrukturschäden

Tab. 1: Ertragsbildung (dt/ha) auf Rieselfeldern mit bedarfsgesteuertem und ohne Abwassereinsatz (Feldversuche Berlin-Malchow 1969/1985)

Fruchtart	Ertrag (dt/ha)		Mehrertrag	
	ohne	mit Abwasser	dt/ha	kg/mm
Feldgras (TM) (Knaulgras, W.Weidelgras)	95	130	35	16
Silomais (TM)	66	86	20	15
Kartoffel (Knollen)	218	286	68	91
W. Roggen (Korn)	52	54	2	4

und Ertragsdepressionen auf, die als Rieselmüdigkeit bezeichnet und unterschiedlich definiert wurden. Eine der Ursachen für Wachstumsstörungen liegt in dem erhöhten Schadstoffgehalt der Böden. Die Pflanzenarten und (-sorten) reagieren unterschiedlich empfindlich auf steigende Bodenbelastungen (Abb. 1).

3. Ertragsbildung und Schwermetallgehalte der Pflanzen

Insbesondere Mais (auch Feldgras) sind toleranter gegenüber erhöhten Schadstoffgehalten als Roggen, Chinaschilf und Sachalinknötterich.

Abnehmenden Erträgen bei steigender Bodenkontamination stehen erhöhte Schwermetallgehalte in der Pflanzenmasse gegenüber (Abb. 2). Auch hier reagieren die Fruchtarten sehr differenziert. Winterroggen und Sachalinknötterich haben steigende Cadmiumgehalte bis zur höchsten geprüften Bodenbelastungsstufe, Mais verhält sich ab Überschreiten des Bodenrichtwertes für Cu (60 mg/kg) indifferent, Chinaschilf reagiert mit geringeren Gehalten in der oberirdischen Biomasse.

Dabei ist die Kombinationswirkung verschiedener im Rieselfeldboden vorliegender organischer und mineralischer Kontaminanten nur schwer aufzutrennen. Bei derartigen Versuchen gehen Wechsel- und Synergieeffekte häufig verloren. Bisher konnten die Phytotoxizität von Zink und Kupfer in den auftretenden Konzentrationen eindeutig nachgewiesen werden, während die geprüften organischen Schadstoffe und Cadmium nicht zur Ertragsbeeinträchtigung führen (Tab. 2).

Die Transferraten Boden-Pflanze (% des Bodengehaltes) sind bei hohen Bodengehalten erwartungsgemäß sehr gering. Bei niedriger Bodenbelastung ist der anteilige Entzug deutlich höher (Abb. 3).

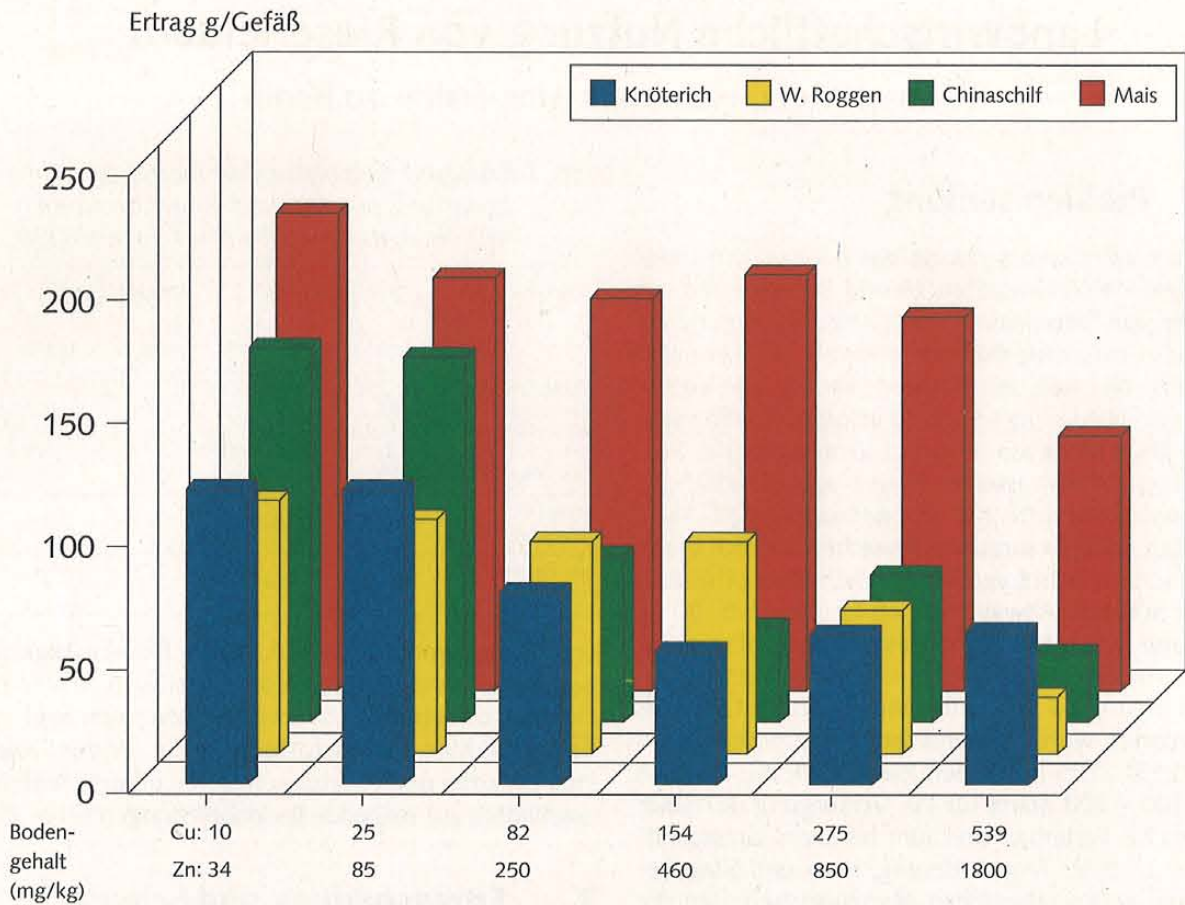


Abb. 1: Ertragsbildung von Sachalinknöterich, W.Roggen, Chinaschilf und Mais auf unterschiedlich belasteten Rieselfeldböden (Gefäßversuche) WILKE, METZ (1993) [3]

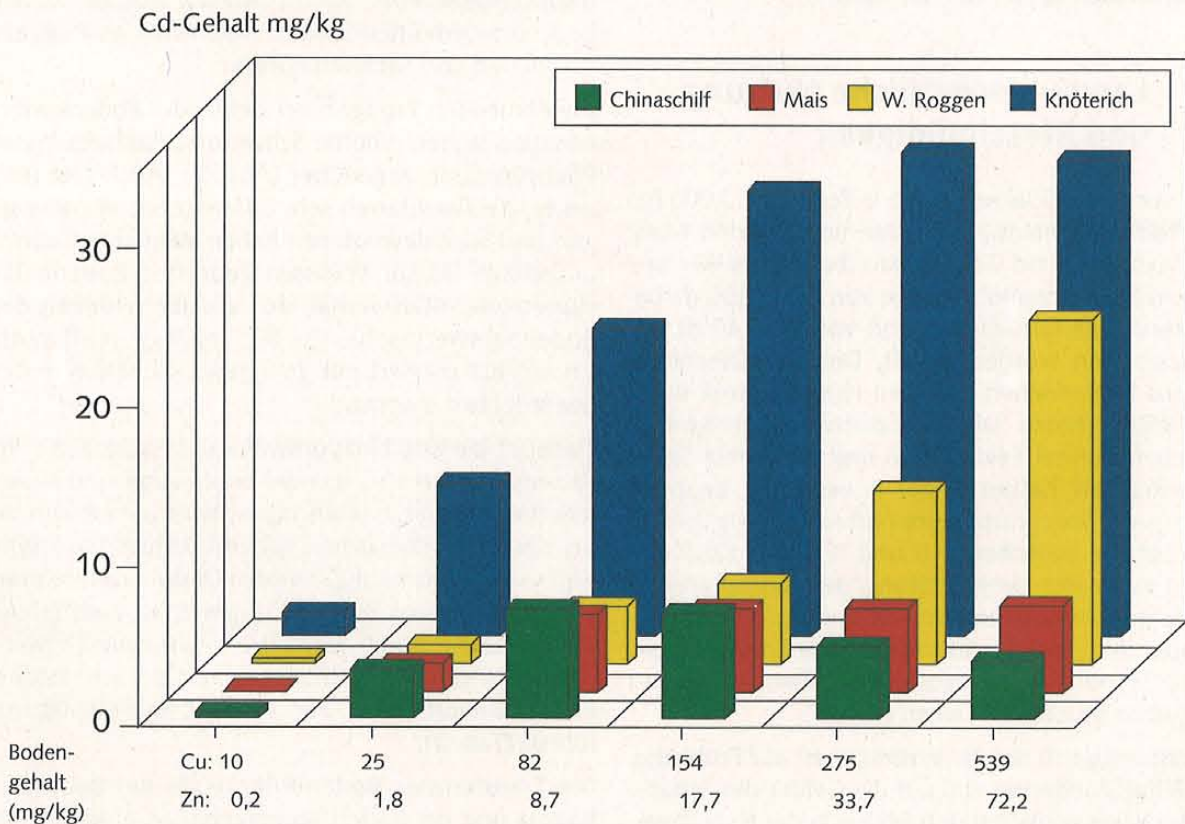


Abb. 2: Cd-Gehalte von Chinaschilf, Mais, W.Roggen und Sachalinknöterich in Abhängigkeit vom Belastungsgrad des Bodens; WILKE, METZ (1993) [3]

Tab. 2: Cadmiumgehalt und -entzug durch Winterroggen (Ganzpflanze) in Abhängigkeit von Cd- und Cu-Belastungsgrad des Bodens und von dem Gehalt an organischen Schadstoffen (METZ, DORN; 1994) [2]

	Kontrollboden	hochbelasteter Boden	Kontrollboden angereichert auf Niveau von hochbelastetem Boden		
			Cd	Cd + Org.Sch ¹⁾	Cd + Cu + org.Sch.
Bodengehalte mg/kg:					
Cd	5	51	51	51	51
Cu	62	526	62	62	526
PCB 52	0,03	0,3	0,03	0,3	0,3
BAP	0,12	0,9	0,12	0,9	0,9
Pflanze					
Ertrag (g/Gefäß):	99,0	16,16	94,28 1	02,48	11,35
Cd-Gehalt (mg/kg):	3,03	51,98	31,81	36,30	68,72
Cd-Entzug:					
mg/kg Boden	0,05	0,21	0,49	0,62	0,13 ²⁾
% d. Bodengehaltes	0,96	0,39	0,78	1,13	0,23 ²⁾

¹⁾ Org.Sch.: organische Schadstoffe PCB 52 und BaP

²⁾ Der geringe Cd-Entzug resultiert aus hohen Cd-Gehalten aber geringen Erträgen bei erhöhten Cu-Bodengehalten

Ein enger Zusammenhang besteht zwischen der Löslichkeit einzelner Schwermetalle und der Pflanzenaufnahme. In Abbildung 4 ist der Einfluß von organischen Schadstoffen und Kupfer im Boden auf die Zn-Pflanzengehalte dargestellt. Der Einfluß der höheren Desorption bei Belastungen mit organischen Schadstoffen wird unmittelbar in der Pflanzenaufnahme wirksam. Große Unterschiede bestehen beim Boden-Pflanzen-Transfer zwischen einzelnen Elementen (Zn=> Cd > Cu > Pb) und der Aufnahme in einzelne Pflanzenorgane (Wurzel > Stengel => Blatt > Früchte/Samen).

4. Heterogenität der Bodenbelastung und Standortkennzeichnung

Während kontrollierte Vegetationsversuche eindeutige und klare Ergebnisse liefern, führen die auf engem Raum auftretenden stark schwankenden Bodenbelastungen zu sehr unterschiedlichen Einflüssen auf Boden und Pflanze. Über 100 Jahre erfolgten sehr differenzierte Stoffeinträge (Abb. 5). Die Beseitigung der Rieselanlagen führte zu einer teilweisen

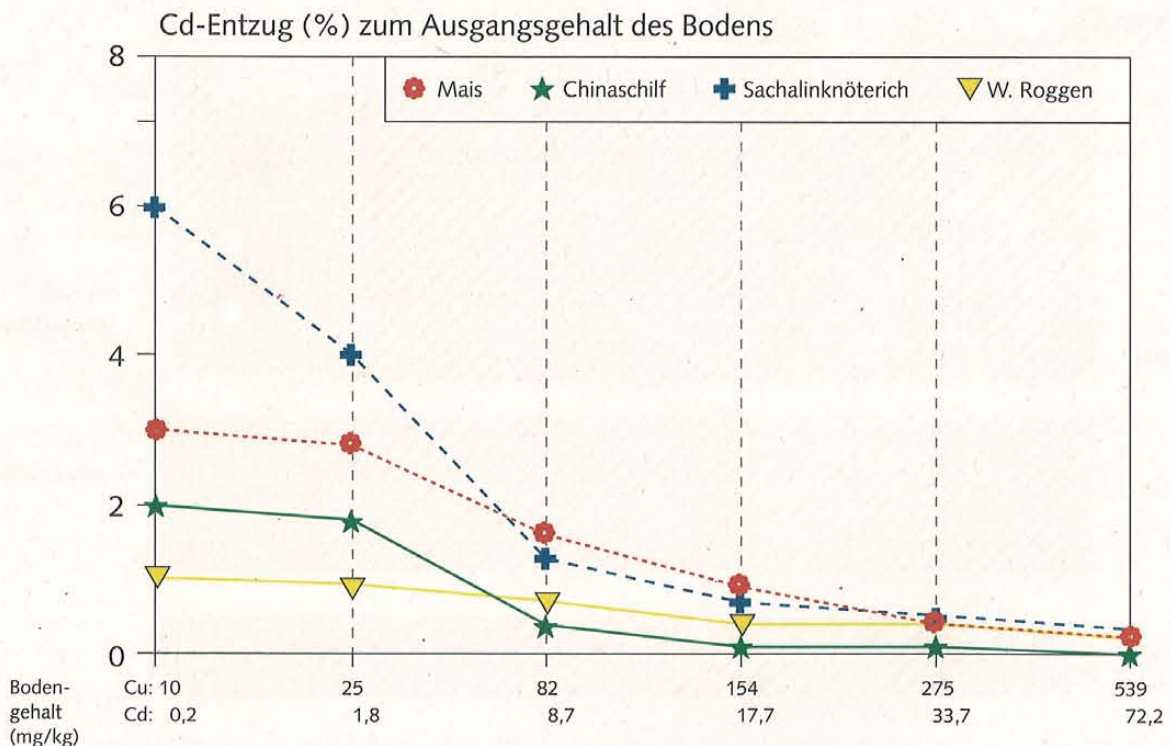


Abb. 3: Cd-Entzug (%) aus dem Boden durch Mais, Chinaschilf, Sachalinknötterich und W. Roggen; WILKE, METZ (1993) [3]

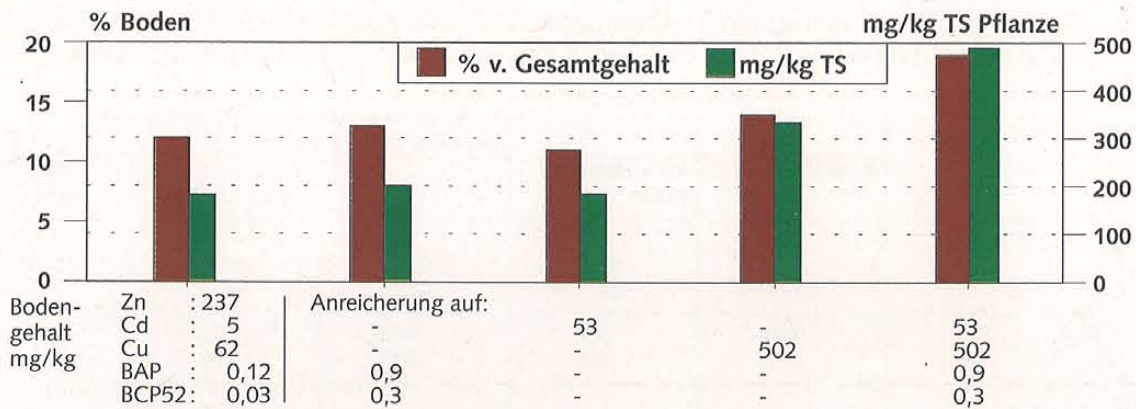


Abb. 4: Leicht nachlieferbare Zn-Anteile (% Ammoniumnitrat u. -acetatlöslich) in verschiedenen Böden und Zn-Gehalt (mg/kg) im Roggen (Wurzel, Stroh, Korn)

Tab. 3: Schwermetallbelastung von Rieselfeldern (mg/kg) und prozentualer Anteil der Gesamtfläche n = 777, Extraktion mit siedender 1,5 N HNO₃ (GRÜN u.a. 1989) [4]

Element	unbelastet/schwach belastet			mittel/stark belastet		hochbelastet (Intensivfilter, Klärschlammabsetzbecken)						
			%		%			%				
Cd	0,1	-	1,5	26	1,5	-	10	66	10	-	43	8
Cu	8,1	-	90	81	90	-	180	17	180	-	730	2
Ni	1,4	-	15	79	15	-	25	15	25	-	95	6
Pb	13	-	90	73	90	-	450	27	450	-	1050	0,4
Zn	49	-	240	67	240	-	400	23	400	-	1830	10

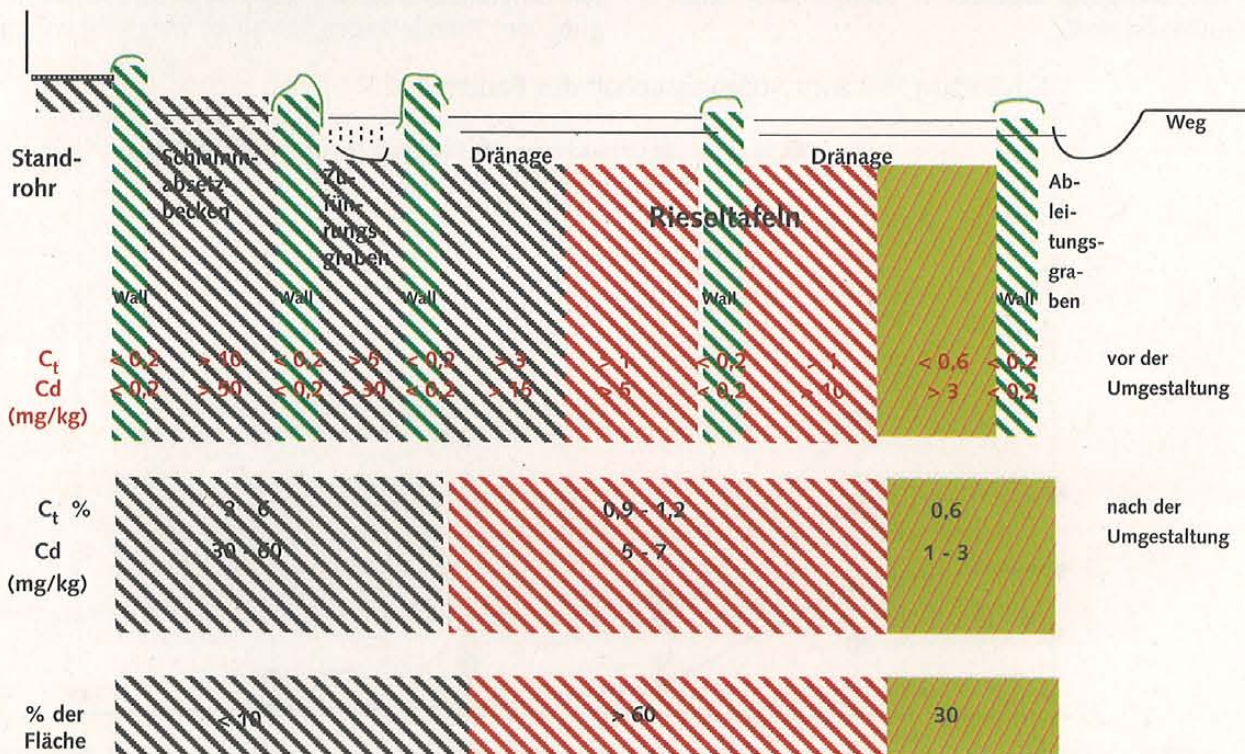
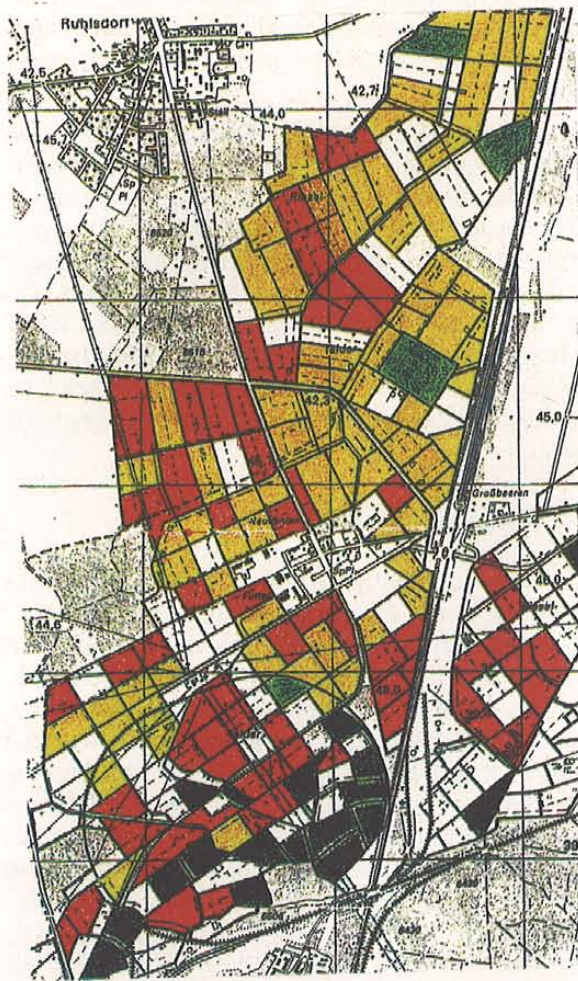


Abb. 5: Ursachen und Auswirkungen der Flächenheterogenität auf umgestalteten Rieselfeldern (Beispiel C_t % und Cd mg/kg in Krumentiefe 0 - 25 cm) Werte von GRÜN et al. (1989) [4]; RENGER (1992) [6]; METZ, DORN (1994) [2]



Belastungsstufen	Elemente (mg/kg luftr. Boden)					
	Pb	Cd	Zn	Cu	Cr	Ni
 nicht	< 45	< 0,2	< 120	< 45	< 45	< 15
 gering	< 90	< 2	< 240	< 90	< 90	< 25
 hoch	< 450	< 10	< 800	< 450	< 450	< 125
 sehr hoch	≥ 450	≥ 10	≥ 800	≥ 450	≥ 450	≥ 125

Abb. 6: Schwermetallbelastung der Oberböden auf Rieselfeldern (Ökologische Planungsgrundlagen Berlin und Umland, 1994)

Tab. 4: Nutzung der Rieselfeldböden in Abhängigkeit von Qualität und Schwermetallbelastung

Schwermetallbelastung	% der Fläche	Bodenqualität/Ackerzahlen	
		< 25	> 35
unbelastet (grün)		Mais, Kartoffel, gelbe Lupine, Phazelia, Lein, Ölrettich, Winterroggen, Wintergerste, Buchweizen, Serradella	außerdem: Sonnenblumen, Klee gras, Winterzw.frucht, Hafer, Sommergerste
gering (< Grenzwert der AbklärV) (grün/gelb)	30	Kontrollierte Sanierung durch Lehmeintrag (Bauaushub) Standorte sind für multifunktionale Nutzung vorzubereiten	
mittel (gelb/rot)	60	* Kontrollierte Nutzung für Rohstoff- und Energiepflanzenproduktion (u.a. Mais, Wi.-Roggen, Ölfrüchte) * Kraffutterproduktion (Getreide, begrenzt Leguminosen) * Saatgut-, Stauden-, Baumschulpflanzenproduktion * Aufforstung, Waldparknutzung, Rasenflächen, Feuchtflächen	
hoch/sehr hoch (rot schwarz)	10	* Flächenumwidmung mit Sickerwasserkontrolle und Erosionsschutz (Deponie-, Kompostierungsplätze, Versiegelung für Gewerbegebiete, Lagerflächen, Wirtschaftsflugplätze) * bei begrenzten Flächen (Absetzbecken, Intensivfilter): Bodenaustausch, Einkapselung	

Vermischung aber nicht zur Homogenisierung der differierenden Bodeninhaltsstoffe. Aus Gehaltsdifferenzen von 1:200 auf 20-30 m Abstand wurden Differenzen von 1:30. Durch Bearbeitungs- und Bewirtschaftungsmaßnahmen erfolgt nun schrittweise eine weitere Angleichung der starken Unterschiede.

Während für Kartierungs- und Sanierungszwecke die raster- und punktförmige Beprobung der Nutzflächen erforderlich ist, hat sich für die Bewertung und Charakterisierung der landwirtschaftlichen Anbaueignung die Herstellung von Bodenmischproben auf Anbauschnitten bzw. Schlagteilen bewährt wie sie für die Nährstoffuntersuchung angewandt wird. Bei der Ernte erfolgt eine ähnliche Vermischung des Pflanzenmaterials von der Erntefläche, wie die Bodenproben auch gemischt wurden. Deshalb kann von der Bodenmischprobe eines Schrages auf den durchschnittlich zu erwartenden Boden-Pflanzentransfer im Erntegut geschlossen werden.

Werden die Ergebnisse der Bodenanalytik in vier Belastungsgruppen (grün und gelb, rot, schwarz) eingeteilt, wird der Anteil einzelner Elemente an der Überschreitung von Belastungsgrenzwerten der Böden im Gebiet erkennbar (Tab. 3). Im vorliegenden Fall ergibt sich die Reihenfolge $Cd > Zn > Pb > Ni > Cu (> Cr)$.

Auf anderen Rieselfeldstandorten (im nördlichen Berliner Raum) fanden wir die Rangfolge: $Pb > Cu > Zn > Cd > Cr$. Das ist durch unterschiedliche Einleiter zu begründen.

Das Element mit der höchsten Eingruppierung entscheidet über die Bewertung jeder einzelnen Probe für die Ermittlung der Anbaueignung. Werden die vier Belastungsgruppen mit Farben versehen und auf Flurkarten übertragen, zeichnen sich zusammenhängende Flächen stärkerer bzw. schwächerer Kontamination ab, die meist durch die Intensität bzw. durch die Dauer des Auftrages von schadstoffhaltigem Abwasser zu erklären sind (Abb. 6).

5. Anbaueignung und Nutzungsvarianten

Aus mehrjährigen Ergebnissen von Feld- und Kleinparzellenversuchen auf Rieselfeldern ist die Anbaueignung landwirtschaftlicher Fruchtarten in Abhängigkeit von der Bodenqualität und dem Schwermetallbelastungsgrad festzulegen (Tab. 4).

Aus Sicherheitsgründen (Schwankungsbreite der Bodengehalte) wird auf unbelasteten (Farbe grün) oder geringbelasteten (Farbe gelb) Rieselfeldern vom Anbau von Fruchtarten für den Direktverzehr (Gemüse, Erdbeeren, Tabak) abgeraten. In Abhängigkeit von der Bodenqualität sind Futter-, Energie- und Rohstoffpflanzen besonders zu empfehlen. Bei mittlerer Bodenbelastung (Farbe rot) sind Saatgut- und Pflanzenanzuchtflächen sowie Umwidmungen in Forst- und

Parknutzung weitere Alternativen. Der Körnerfruchtanbau zur Kraftfutterproduktion ist auch möglich, da im Getreidekorn nur wenig Schadstoffe akkumuliert werden.

Sehr hohe Bodenbelastungen (Farbe schwarz) stellen für die Umwelt eine akute Gefahr dar (Grundwasserbelastung, Erosion, Verschleppung u.ä.). Derartige Flächen sind für die Pflanzenproduktion nicht geeignet, sie müssen durch kontrollierte Umwidmungen vor mißbräuchlicher Nutzung und Verschleppung der Schadstoffe geschützt werden. Soweit diese kleinflächigen Areale (Absatzbecken o.ä.) nicht abzutragen bzw. kontrolliert einzukapseln sind, müssen sie von landwirtschaftlichen Nutzflächen ausgegrenzt werden.

6. Zusammenfassung

Auch wenn die Nutzung kontaminierter Standorte aus der Sicht der Überproduktion in der Landwirtschaft und notwendiger Stilllegung von ertragreichen Böden unnötig erscheint, sind der landeskulturelle Aspekt landwirtschaftlicher Nutzflächen und ökologisch positive Wirkungen von Ackerflächen in einem Landschaftsgebiet dieser Dimension in der Diskussion bisher zu wenig berücksichtigt. Zur multifunktionalen Nutzung und zur ökologischen Vielfalt der Biotope eines Standortes gehört auch die Einrichtung von Acker- und Gründlandflächen. Sie können teilweise und kontrolliert als Filterflächen für die landwirtschaftliche Klar- und Abwasserwertung, als ökologisch wertvolle Feuchtgebiete und als Havarieausgleichsflächen im Falle von Betriebsstörungen in Kläranlagen biologisch aktiv und offen gehalten werden.

Literatur:

- [1] RUTHS, H. (1928): Fünfzig Jahre Berliner Stadtgüter. Verlag Alfred Metzner, Berlin (S. 7-16)
- [2] METZ, R. und DORN, J. (1994): Möglichkeiten und Grenzen der Dekontamination schwermetallbelasteter Böden durch Pflanzenentzug. Humboldt-Universität Berlin Eigenverlag (im Druck)
- [3] WILKE, B.-M. und METZ, R. (1993): Schadstofftransfer Boden/Pflanze beim Energiepflanzenanbau auf Rieselfeldböden. in: F. Arendt, G.J. Annokkee, R. Bosman u. W.J. van den Brink (Hgg.), Altlastensanierung 93, 573 - 574. Kluwer Academic Publishers, Printed in the Netherlands.
- [4] GRÜN, M. et. al. (1989): Kontrollierte landwirtschaftliche Nutzung ausgewählter schwermetallbelasteter Gebiete (Forschungsbericht des Instituts für Pflanzenernährung Jena der ehemaligen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften - unveröffentlicht)
- [5] METZ, R. et. al. (1990): Umgestaltung der Berliner Rieselfelder - altlastbedingte Entscheidungsvarianten für Nutzungskonzeptionen. VDLUFA-Kongreßband, Sn 755-762
- [6] RENGIER, M. et. al. (1992): Bodenökologische Untersuchungen auf den Rieselflächen Buch. Technische Universität Berlin, Fachbereich 14, Institut für Ökologie; Forschungsgutachten im Auftrag des Landes Berlin, S. 27

Prof. Dr. Reinhart Metz
Humboldt-Universität zu Berlin
Institut für landwirtschaftlichen Pflanzenbau
Invalidenstraße 42
10115 Berlin

Feuchtgebiet von Internationaler Bedeutung – Rieselfelder Münster –

Michael Harenger, Biologische Station „Rieselfelder Münster“

1. Von der „Kloake vor der Stadt“ zum „Paradies aus zweiter Hand“

Von 1901 bis 1975 dienten die Rieselfelder der Klärung der städtischen Abwässer nach dem „Verfahren der Landbehandlung“, also durch Aufbringen des grob mechanisch vorgereinigten Abwassers auf durchschnittlich 1 ha große drainierte Parzellen. Dort versickerte das Abwasser und gelangte in grob gereinigter Form über tiefe Gräben zur Ems und Aa. Dank des nährstoffreichen Abwassers war noch bis Mitte der 60er Jahre auf den ursprünglich sehr armen Sandböden eine landwirtschaftliche Nutzung (Hackfrüchte, Gemüse, Weidewirtschaft) möglich, die dann aus hygienischen Gründen nach und nach eingestellt wurde.

Mit der Zunahme des Abwassers seit den 50er Jahren und der Abnahme der landwirtschaftlichen Nutzung stieg in den 60er Jahren die Anzahl ständig unter (Flach-)Wasser stehender Flächen bis zu einem Maximum von etwa 250 ha 1967-1971 kontinuierlich an. Parallel zu dieser Flächenausdehnung erfolgte eine geradezu explosionsartige Zunahme der auf Flachwasser angewiesenen Vogelarten, vor allem Limikolen (Wadvögel) und Enten während der Zugphasen.

Naherholung und Tourismus spielten bis Anfang der 70er Jahre noch keine Rolle - im Gegenteil: Wegen der erheblichen Geruchsbelästigungen vor allem in den Sommermonaten hagelte es massive Beschwerden aus den nahegelegenen Stadtteilen. Denn bei warmem Wetter neigten vor allem die frisch bewässerten Flächen dazu, umzukippen.

Da bereits seit 1967 bekannt war, daß mit dem Bau der 1975 vollendeten damals zweistufigen Kläranlage die Rieselfelder hätten trockengelegt werden können, begannen die Mitarbeiter der Station bereits 1968/69 nicht nur mit einem breit angelegten Forschungsprogramm zur fachlichen Untermauerung der Naturschutzbedeutung des Areals, sondern auch mit gezielter Öffentlichkeitsarbeit durch Abhaltung von Führungen. 1971 erschien das erste populärwissenschaftliche Buch über die Rieselfelder („Die Tundra ist mitten in Deutschland“) und 1974 konnte die erste Naturschutzausstellung eingerichtet werden. Auch wurde die Unterstützung zahlreicher nationaler und internationaler Naturschutzorganisationen sowie

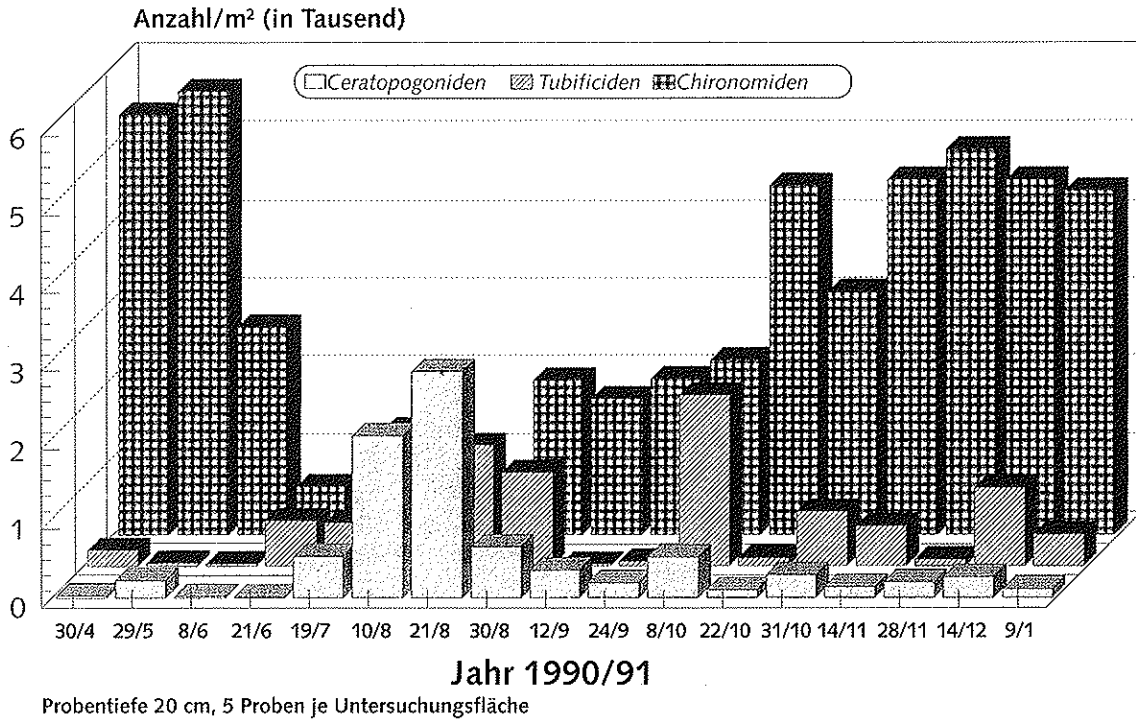
der Naturschutzabteilung im Ministerium für öffentliche Arbeiten und später des Landwirtschaftsministeriums gewonnen. So kam es dann nach mehreren gescheiterten Anläufen schließlich 1976 zu einem 20jährigen Pachtvertrag zwischen Stadt und Land über einen 233 ha großen Teilbereich der Rieselfelder.

2. Die Verwirklichung der Multifunktionalität

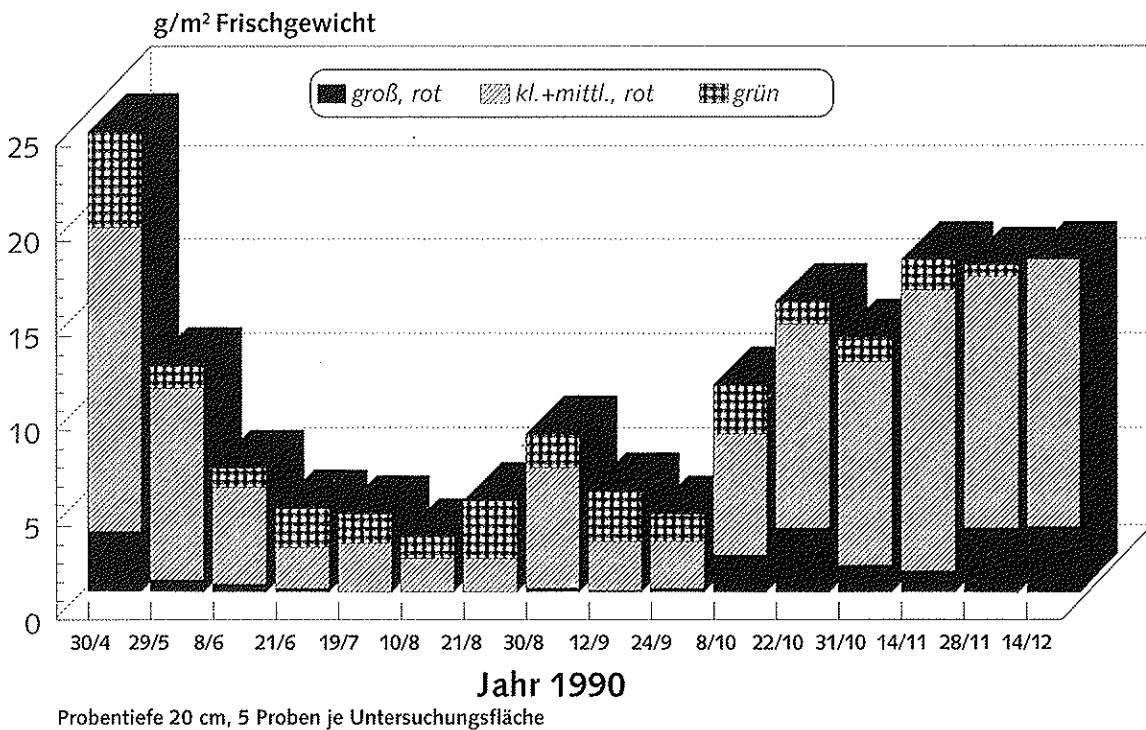
Schon sehr bald nach Beginn der Schutzbemühungen 1968 stellte sich heraus, daß die intensiven Feldforschungen über die Bedeutung des Areals insbesondere für rastende und mausernde nordpaläarktische Wat- und Wasservögel zwar notwendig, keinesfalls aber hinreichend für die politische Durchsetzung des Schutzprojektes sein würden. Folgerichtig wurde einerseits versucht, den Feldforschungsaspekt durch Einbeziehung der Universität (hier insbesondere die Fachbereiche Geographie und Biologie) und den Ausbildungsaspekt durch Schüler- und Studierendeneinkursionen sowie durch das Angebot von Praktikantenstellen zu verbreitern und zu vertiefen; andererseits ist der Erholungsaspekt für die Bürger der Region durch entsprechende Angebote (Führungen, Beobachtungsstände, Info-Material) konsequent weiter verfolgt worden. Die Folge war eine ansteigende Beliebtheit des Reservates („Naturerlebnisgebiet“) lange bevor diese Bezeichnung von den Behörden aufgegriffen worden ist) und damit einhergehend die nötige politische Unterstützung - in den letzten Jahren auch von einigen derjenigen politischen Kräfte in der Stadt, die das Projekt zwei Jahrzehnte lang bekämpft hatten. Zwar stellte sich nach und nach heraus, daß das 233 ha große Reservatsgelände nicht gleichzeitig alle Funktionen erfüllen konnte, dies führte jedoch nicht - wie ansonsten meist üblich - zur Verdrängung der Naturschutz- oder der Erholungsfunktion, sondern zur Vergrößerung des Areals um etwa 150 ha, in die nach der wahrscheinlich noch in diesem Jahr (1996) erfolgenden Verabschiedung des Landschaftsplans die Erholungsnutzung verlagert werden soll.

Weniger geglückt ist die Einbeziehung einer angepaßten landwirtschaftlichen Nutzung in den Randbereichen des Reservates. Das Interesse an einer extensiven Nutzung des praktisch kostenlos zur Verfügung gestellten wechselfeuchten Grünlandes nahm von

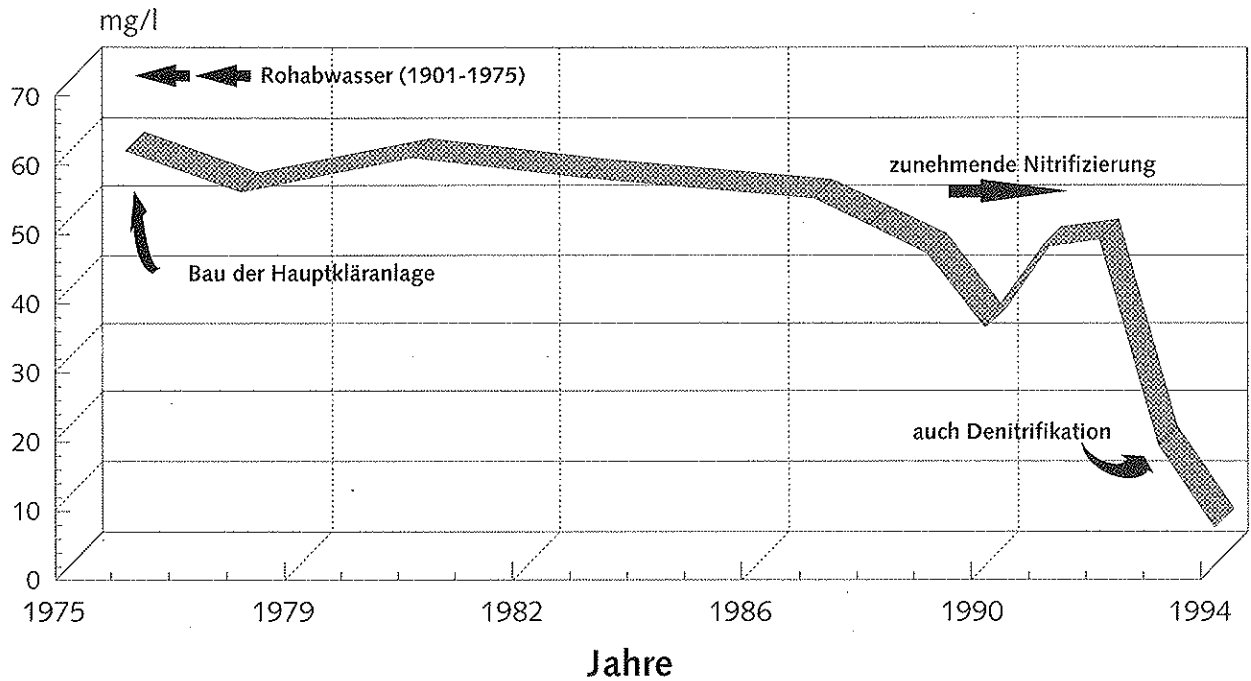
Gebietsmonitoring Rieselfelder Münster Jahresgang der Anzahlen von Benthos-Organismen



Gebietsmonitoring Rieselfelder Münster Jahresgang der Biomasse von Chironomiden-Larven

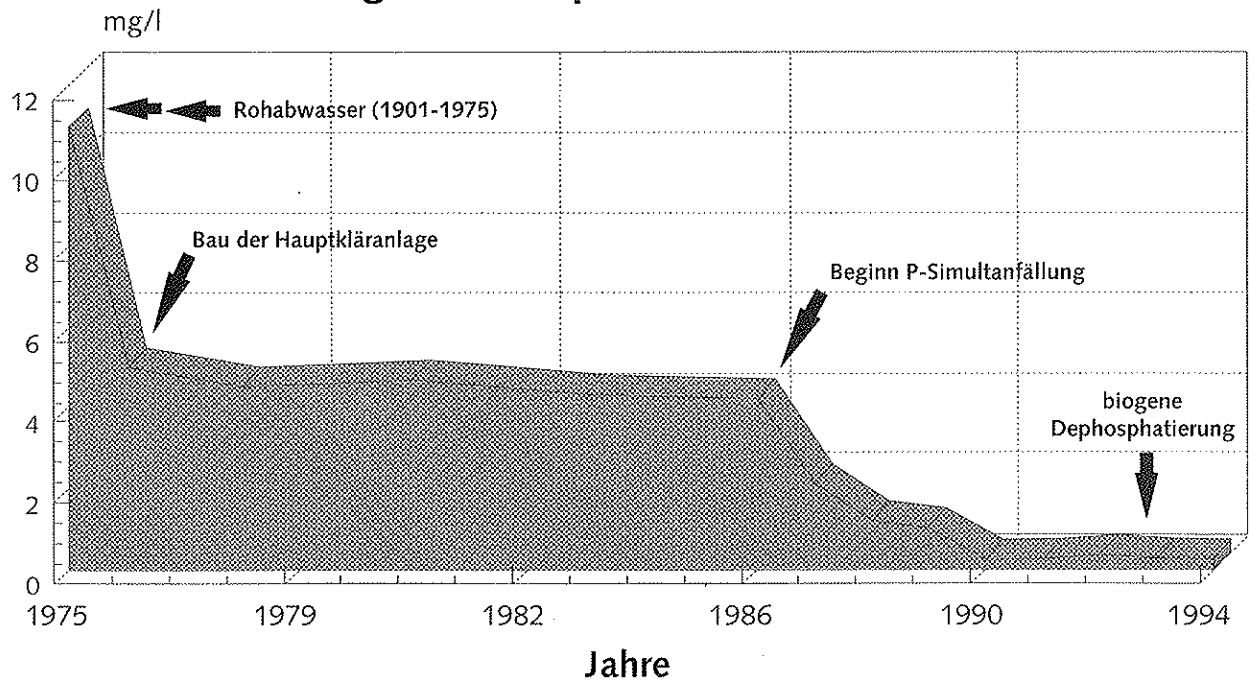


Gebietsmonitoring Rieselfelder Münster Entwicklung der Stickstoff-Konzentration im Zufluß



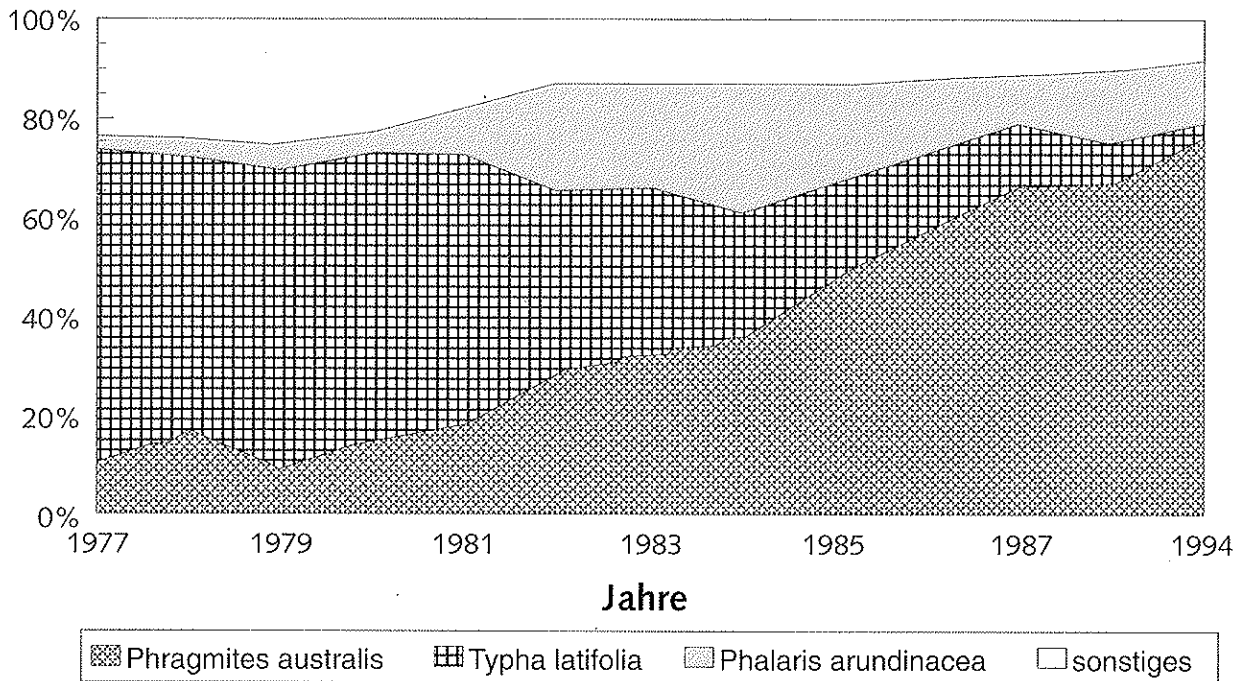
Gesamt-N; nach Angaben der Hauptkläranlage Münster und eigenen Messungen

Gebietsmonitoring Rieselfelder Münster Entwicklung der Phosphat-Konzentration im Zufluß



PO₄-P; nach Angaben der Hauptkläranlage Münster und eigenen Messungen

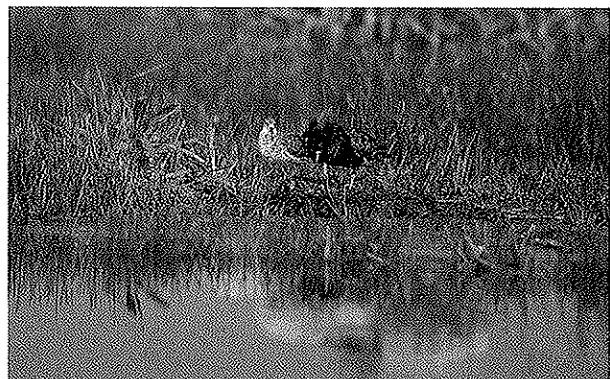
Gebietsmonitoring Rieselfelder Münster Entwicklung der Anteile dreier Röhrichtpflanzen



Teilfläche 1,8 ha; seit 1963 ohne Management-Maßnahmen



Luftbild



Kampfläufer



Rastende Uferschnepfen

Jahr zu Jahr ab, so daß die Station - nach dem Vorbild etwa der Arbeitsgemeinschaft Biologischer Umweltschutz (ABU) in Soest - inzwischen damit begonnen hat, eine Herde Heckrinder aufzubauen und diesen die Beweidung der dafür geeigneten Flächen zu überlassen.

3. Monitoring und Forschung im RAMSAR-Gebiet „Rieselfelder Münster“

Neben dem praktischen Gebietsmanagement (Beschickung mit dem gereinigten Abwasser, Unterhaltung des Zu- und Ableitersystems, Wartung der Dämme usw.) gehört eine dauerhafte und regelmäßige wissenschaftliche Überwachung grundlegender Parameter zu den Hauptaufgaben der Biologischen Station:

- Bestandsaufnahmen der Avifauna: tägliche Bestandskontrolle durchziehender Wasser- und Watvögel, jährliche Brutbestandserhebung, Untersuchungen zur Produktivität und zum Bruterfolg von Wiesenbrütern (Limikolen);
- Kartierung des floristischen Inventars im zweijährigen Rhythmus;
- Herpetologische Bestandserhebungen sowie stichprobenhafte Erfassungen von Libellen, Heuschrecken usw.;
- Untersuchungen zur Entwicklung des Makro-Zoobenthos einschließlich zahlreicher limnologischer Parameter in Abhängigkeit von Managementmaßnahmen;
- Erhebung von Standard-Parametern zur Gewässergüte und Bodenqualität.

Insgesamt entstehen nach der Erweiterung des Areals auf etwa 380 ha 1996 der öffentlichen Hand durch den Gesamtbetrieb des Reservates Kosten in Höhe von ca. 350 TDM, was nur dank des erheblichen ehrenamtlichen Engagements der Stationsmitarbeiter möglich ist.

Infolge der sich seit Inbetriebnahme der Hauptkläranlage 1975 immer wieder verbesserten Reinigungsleistungen wurde den beiden letztgenannten Parametern besondere Aufmerksamkeit gewidmet, zumal die sich allmählich ändernde Zusammensetzung der bestandsbildenden Verlandungsgesellschaften in den letzten Jahren recht auffällig war. Zur Verdeutlichung der Entwicklung sind der Trend einiger Nährsalzkonzentrationen im Ablauf der Kläranlage (Abb. S. 92) sowie einige Abbildungen beigefügt, die einerseits exemplarisch die Verschiebung des Anteils Rohrkolben (*Typha latifolia*) zugunsten von Schilf (*Phragmites australis*) darstellen (Abb. S. 93)

¹⁾ aus: „Berichte zum Vogelschutz“ 1995

und andererseits den Jahresgang ausgewählter Gruppen/Arten des Makro-Zoobenthos¹⁾ (Abb. S. 91).

Diese Entwicklung weg von hypertrophen zu weniger eutrophen Zuständen ist noch nicht abgeschlossen, wenn auch die Mineralisation der bis zu etwa 50 cm dicken Depositionen aus der Zeit der Rohabwasserbeschickung mittlerweile abgeschlossen ist. Erwartungsgemäß hat sich die Diversität zum Teil drastisch erhöht, während die Massenkonzentrationen einzelner Arten (vor allem Watvögel, aber auch Ostracoden und Daphnien) deutlich zurückgegangen sind. Auffälligerweise sind die Anzahlen der Schwimmenten bei fast allen Arten teilweise erheblich gestiegen, allerdings nicht im Sommer. Einzelne Aspekte aus den Bestandsanalysen werden derzeit aufgearbeitet und in Kürze publiziert.

4. „Insel der Seligen“?

Nicht nur vor dem Abschluß des Pachtvertrages, sondern auch in den Jahren danach wurden vielerlei Nutzungsansprüche an das zu 100% in städtischem Eigentum stehende Areal gestellt. Vor 1976 waren es großflächige Industrialisierungs- und Wohnungsbaupläne (bis hin zu einer Atomkraftwerksplanung!), nach 1976 für das verbliebene Rieselfeld-Areal im Anschluß an das Reservat eine 90 ha große Fläche für Gewerbe und Industrie. Aus der beschränkten Sicht eines reinen Ökonomismus waren solche Planungen vielleicht verständlich - immerhin ist die „Infrastruktur“ (Bahn, Kanal, BAB, Flugplatz) optimal. Andererseits standen bis Ende der 80er Jahre die Zeichen für einen konsequenteren Natur- und Umweltschutz relativ günstig und außerdem wurde - wie sich in der Rückschau bestätigt hat - das Rieselfeld-Gelände keinesfalls dringend oder gar unausweichlich für Bebauung benötigt. Unbestritten ist jedoch, daß dafür an anderer Stelle in der üblichen flächenverschwendenden ein- bis eineinhalbgeschossigen Gewerbebauweise große andere Freiflächen versiegelt worden sind - ein Problem, dem von Seiten des Naturschutzes viel zu spät die nötige Beachtung geschenkt worden ist.

Michael Harengerd
Biologische Station „Rieselfelder Münster“
Coermühle 181
48167 Münster

Ökomanagement Rieselfelder

Problematisierung, Ergebnisse, Schlußfolgerungen

Reinhard F. Hüttl und Harald Semmel
Brandenburgische Technische Universität Cottbus

1. Einführung und Grundlagen

Noch bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts erfolgte die Entsorgung von häuslichen Abwässern im städtischen Ballungsraum Berlin, wie auch in anderen Großstädten üblich, über einfache **Rinnsteinentwässerungssysteme**. Die damit verbundenen hygienischen Probleme erforderten eine umfassende Neuorganisation der Stadtentwässerung und Abwasserbeseitigung.

Daher wurde seit **1870 die Verrieselung** von privaten und gewerblichen Abwässern sowie Niederschlagswässern auf kommunalen Rieselfeldern nach englischem Vorbild durchgeführt. Je nach Bodenrelief erfolgte eine Einteilung der Rieselfläche in Horizontal- oder Hangtafelstücke von ca. 0,25 ha Fläche. Bei gemischter landwirtschaftlicher Nutzung erfolgten normalerweise bis zu acht Berieselungs- und Austrocknungszyklen pro Jahr. Eine Nutzungsreserve wurde durch benachbartes Grünland gewonnen, das als Wildrieselfläche unregelmäßig mit Abwässern beaufschlagt werden konnte.

Als Extremform wurden vor allem in den letzten Jahrzehnten der Rieselfeldnutzung **Intensivfilterflächen** mit Dauerüberstau angelegt, die aber unter anaeroben Bedingungen nur eine ungenügende Filterleistung bei gleichzeitig relativ hoher Schadstoffverlagerung aufwiesen (Umweltatlas Berlin) [4].

Die Reinigung der Abwässer in den ursprünglich sorptionsschwachen Sandböden beruht primär auf der **Filterleistung der organischen Substanz**. Auf Grund der stetigen Akkumulation im Laufe der Rieselfeldnutzung weisen die Oberböden heute Gehalte an organischer Substanz von 3 bis 70% auf. Sie besitzen eine hohe (mikro)biologische Aktivität. Dies ermöglicht vergleichsweise rasch ablaufende Stoffumsetzungsprozesse, wenn die dafür notwendigen Bedingungen vorherrschen.

Standorte, Flächenausdehnung und Nutzung

Für die Verrieselung geeignete, sandige, grundwasserferne Böden sind vor allem nördlich und südlich der Stadt anzutreffen. Bald nach der Einführung der Abwasserverrieselung wurden von der Stadt Berlin große Anstrengungen zum Erwerb der Feld-Nutzung unternommen. Seither wurden diese Flächen entweder landwirtschaftlich oder forstwirtschaftlich genutzt, bebaut, vorwiegend aber als Reserveflächen belassen [4]. Der Nutzungsänderung ging teilweise die Einebnung vorhandener Rieselfeldstrukturen voraus.

Der Restbestand extensiv genutzter Rieselfelder betrug 1992 noch 1250 ha und wurde bis 1994 auf rund 35 ha reduziert. Die bislang zur Abwasserverrieselung genutzten Flächen befinden sich größtenteils noch im Besitz der Stadt Berlin. Sie stellen wichtige Räume für die zukünftige Stadtentwicklung dar.

2. Problematisierung - Ergebnisse

2.1 Schadstoffbelastung und räumliche Verteilung

Rieselfelder sind Akkumulatoren für Schadstoffe (sie stellen aber aus juristischer Sicht keine Altlasten, sondern „kontaminierte Böden“ dar).

Alle Schadstoffe unterliegen komplexen Verteilungsmustern, bei denen insbesondere der organischen Substanz eine ganz besondere Rolle als „Ordnungsparameter“ zukommt.

Zu den wichtigsten Faktoren, die die Stoff-Akkumulation an einem Punkt im Boden bestimmen, gehören:

- die Qualität / Beschaffenheit der Beaufschlagungswässer,
- das Abwasserbeaufschlagungsregime,
- die Dauer der Nutzung,
- die Exposition,
- der Standort, die Dränagewirkung und Einwirkdauer,
- das Bodensubstrat (Filterleistung),
- die Tafelmorphologie (kleinräumige Heterogenität) und
- das regionale Klima (Niederschlag, Transpiration, Evaporation).

A. Anorganische Schadstoffe:

Das am längsten bekannte Problem stellt die zum Teil erhebliche Anreicherung von **Schwermetallen** (Cd, Pb, Zn, Cu und Hg, z.T. auch Ni und Cr) dar. Diese sind i.d.R. **organisch komplexiert** und können vor allem in Abhängigkeit vom pH-Wert und Redoxpotential mobilisiert werden. Bei diesen Prozessen spielt auch der Gehalt gelöster organischer Substanz (DOC) eine wichtige Rolle. In die Vorfluter können vor allem Cadmium und Quecksilber eingetragen werden.

Eine Kontamination von Grundwässern und Vorflutern sowie die Gewässer-Eutrophierung durch eingetragene **Nährstoffe**, vor allem N- und (S- und) P-Verbindungen (Nitrat, Ortho-Phosphat), finden teilweise auch im normalen Rieselfeldbetrieb statt.

Für die mögliche Grundwasser- / Trinkwasser - Kontamination sind jedoch auch hydrogeologische und hydrochemische Aspekte von Bedeutung (SOWA,

1992) [3]. Schwermetalle spielen hier eine (noch) untergeordnete Rolle.

B. Organische Schadstoffe:

Neben der oft genannten Schwermetallproblematik ist auch ein Gefahrenpotential durch **organische Schadstoffe** erkennbar, die größtenteils in der organischen Substanz des Oberbodens gebunden sind. Zu nennen wären vor allem PCBs und PAKs. Die Belastung mit Dioxinen und Furanen ist nicht hinreichend geklärt, scheint aber eher gering zu sein. Auf Grund der Herkunft der Abwässer aus dem städtischen Bereich stellen Pestizide kein Problem dar, jedoch liegt offensichtlich eine Belastung durch **Medikamente** und deren Metabolite vor.

Die Erfassung der Belastung durch organische Schadstoffe wird vor allem durch Probleme im Bereich der Analytik erschwert. Eine ökotoxikologische Bewertung ist deshalb noch nicht möglich. Hier besteht erheblicher Forschungsbedarf.

C. Räumliche Verteilung:

Die räumliche Verteilung des Schadstoff-Pools ist durch eine **große Heterogenität** charakterisiert, die sich zum einen aus dem Aufbau der Bodenprofile und zum anderen aus der funktionellen Gliederung der komplex aufgebauten Rieselfeldanlagen ergibt. Typische Anordnungsmuster zeigen vertikal die höchsten Konzentrationen in der organischen Auflage der Böden. Für Schwermetalle und organische Schadstoffe besteht dabei eine positive Korrelation mit der Mächtigkeit der Auflage- bzw. der Ah-Horizonte.

In der Horizontalen weisen besonders die Intensivfilterflächen, Absetzbecken, Schlamm-trockenplätze, Teichböden und die Einlaufbereiche der Rieseltafeln erhöhte Schadstoff-Konzentrationen auf. Die Ausdehnung von Hochlastflächen ist relativ gering, für schwach belastete Flächen beträgt der Anteil etwa 30%.

2.2 Potentielle Gefährdung des Menschen

Eine Gefährdung des Menschen kann über orale und inhalative Aufnahme auf verschiedenen Pfaden erfolgen:

- Boden ⇒ Mensch
- Boden ⇒ Wasser ⇒ Mensch
- Boden ⇒ Pflanze ⇒ (Tier) ⇒ Mensch

Als akuteste Form der Gefährdung wäre die direkte Schädigung durch Aufnahme von oder Hautkontakt mit kontaminiertem Bodenmaterial, beispielsweise bei der Wohnbebauung und Einrichtung von Kinderspielflächen, denkbar. Einer inhalativen Aufnahme sind u.a. Motocrossfahrer ausgesetzt.

3. Ergebnisse - zukünftige Nutzungsmöglichkeiten

3.1 Nutzungsmöglichkeiten

Für die durch den Ausbau von Großkläranlagen im Berliner Raum aus der Nutzung genommenen Rieselfelder sind in sich schlüssige, ökologisch und ökonomisch **langfristig tragfähige Entwicklungskonzepte** auf der Basis gesicherter Erkenntnisse über die Belastungssituation und deren potentielle Dynamik zu erarbeiten.

Prinzipiell sind alle Nutzungen möglich. Sie unterscheiden sich jedoch erheblich durch den erforderlichen Sanierungsaufwand, der im Extremfall den Bodenaustausch erfordern kann. Dieser ist aber nur auf kleiner Fläche mit nachfolgend hochwertiger Nutzung (z.B. Wohnbebauung) ökonomisch vertretbar.

Dagegen sind Park- und Freizeitflächen sowie Industrie- und Gewerbeflächen (hoher Versiegelungsgrad) mit geringem Sanierungsaufwand zu realisieren und tragen gleichzeitig zur Vermeidung der Errichtung neuer Gewerbegebiete „auf der grünen Wiese“ bei.

Eine landwirtschaftliche oder gar gärtnerische Nutzung ist wegen der möglichen Schadstoffbelastung erzeugter Produkte zumeist nicht möglich. Eine Sanierung mit dieser Zielstellung wäre ökonomisch nicht tragbar und angesichts von etwa 250.000 ha stillgelegter landwirtschaftlicher Nutzflächen allein im Land Brandenburg auch nicht sinnvoll.

Infolge der miteinander konkurrierenden Möglichkeiten entsteht ein Nutzungskonflikt.

3.2 Gefahren beim Nutzungsübergang

Die Rieselfeldböden befinden sich zumeist noch in einem relativ stabilen aber dynamischen Gleichgewichtszustand. Vor dem erforderlichen Nutzungsübergang müssen die damit verbundenen Gefahren erkannt und die erforderlichen Vorsorgemaßnahmen getroffen werden.

Die Gefahren umfassen im wesentlichen:

- den **Abbau der organischen Substanz** und die langsame Bodenversauerung
 - ⇒ Re-Mobilisierung des akkumulierten Schadstoff-Pools
 - ⇒ Belastung von Nutzpflanzen, Grundwässern und Vorflutern,
- die **Veränderung von Bodeneigenschaften** wie „Bodenfruchtbarkeit“ und Struktureigenschaften (Sackung!),
- die Verschlechterung des Gebietswasserhaushaltes
 - ⇒ stark fallende Grundwasserstände
 - ⇒ sinkendes Ertragspotential landwirtschaftlicher Nutzflächen
 - ⇒ verringerte Grundwasserneubildung
 - ⇒ verringerte Vorflut,
- die Veränderung einer historisch gewachsenen Kulturlandschaft,
- den Verlust von Feuchtbiotopen.

Die größten Gefahrenpotentiale aber stellen dar: Die Re-Mobilisierung des akkumulierten Schadstoff-Pools und die Beeinträchtigung des Wasserhaushaltes dieser Landschaften.

Durch die Nutzungsmöglichkeit als stadtnahe mehr oder weniger geschlossene Erholungsräume besitzt

diese Kulturlandschaft mit ihrer charakteristischen Gliederung durch Wälle, Wege und Gehölzgruppen eine besondere Schutzwürdigkeit, die durch das Vorhandensein besonderer Ökosysteme noch untermauert wird.

4. Schlußfolgerungen - Ökomanagement

4.1 Zielstellungen

Im Mittelpunkt einer Folgenutzung von Riesefeldern stehen die Schutzgüter Mensch und Grundwasser.

Notwendig ist die Formulierung von Leitbildern und deren Umsetzung im Sinne eines ökologisch und sozioökonomisch sinnvollen, langfristig angelegten Gesamtkonzeptes, das eine weitgehende Folgeabschätzung im Rahmen eines angepaßten und auf Nachhaltigkeit orientierten Nutzungs-Managements ermöglicht.

Über die Kenntnis spezifischer Schadstoff-Belastungen hinaus sind zur Schaffung tragfähiger Entscheidungsgrundlagen bestehende Forschungsdefizite (z.B. Mobilität / Verlagerung / DOC, Verfügbarkeit und Toxizität, Abbauprozesse und -produkte) zu schließen. Auch die Erstellung von Stoff- und Wasserbilanzen ist unbedingt erforderlich.

Da Modellrechnungen durch die hohe Komplexität der rückgekoppelten Prozesse / Mechanismen - insbesondere unter Berücksichtigung ihrer räumlichen und zeitlichen Dimensionen - häufig überfordert sind, ist der Nutzungsübergang durch ein Monitoring ausgewählter Kenngrößen (z.B. pH, Redoxpotentiale, organische Substanz, Wasserhaushaltskennwerte) zu begleiten.

Nach dem heutigen Kenntnisstand gelten als wichtigste Forderungen:

- Erhalt der **organischen Substanz**, insbesondere in der Funktion als Schadstoffsенke,
- Erhalt des **Feuchtestatus**,
- Minimierung des **Stoffeintrages** in das Ökosystem
- Grundwasserschutz,
- Grundwasseranreicherung,
- Aufbau einer stabilen Vegetation aus angepaßten Pflanzen,
- Stabilisierung des pH-Wertes,
- Langfristig auch die Sanierung von „Schadstoff-Altlasten“.

4.2 Umsetzung

Kernpunkt der notwendigen Maßnahmen ist die weitere Beaufschlagung der Rieselfelder mit Klarwässern. Hier besteht jedoch ein aktueller Zielkonflikt zwischen dem Grundwasserschutz, der möglichst hochwertige, d.h. reine Klarwässer fordert (wie sie derzeit nicht in ausreichender Menge/Qualität durch die Klärwerke zur Verfügung gestellt werden können) und der Grundwasseranreicherung bzw. zur Aufrechterhaltung des Feuchtestatus der organi-

schen Substanz, für die auch eine Beaufschlagung mit den verfügbaren Wässern akzeptabel wäre. Beim letztgenannten Ansatz würde die Bodenpassage dann gleichzeitig eine weitere Reinigungsstufe darstellen.

Durch Anlage eines Teichkaskadensystems/Abflußgräben mit hohem Mäandrierungsgrad wird ein schneller Abfluß von Oberflächenwässern in den Vorfluter verhindert, gleichzeitig werden Zwischenspeicher gewonnen.

Die Zugabe von organischer Substanz zur Schwermetallbindung ist nur kleinräumig denkbar. Bei einer Kalkung zur Stabilisierung des pH-Wertes muß auch der dadurch angeregte Stoffumsatz berücksichtigt werden.

Ein Schadstoffentzug über Pflanzen mit hoher Biomasseproduktion ist zwar denkbar, würde sich aber über sehr lange Zeiträume erstrecken.

Auf Teilen der Rieselfelder ist durchaus auch in Zukunft ein eingeschränkter Nutzpflanzenanbau, vorzugsweise in Dauerkulturen und mit Minimalbodenbearbeitung, möglich. Dieser könnte z.T. auch Futtermittel, insbesondere aber Zierpflanzen, Baumschulgehölze und nachwachsende Rohstoffe (z.B. Schilf, Korbweiden) umfassen (METZ, 1992 [1]; PORTMANN et al., 1993 [2]).

4.3 Schlußbemerkung

Notwendig sind langfristig angelegte, ökologisch und sozioökonomisch basierte, technisch realisierbare Gesamtkonzepte mit weitgehenden Folgeabschätzungen im Rahmen angepaßter und auf Nachhaltigkeit orientierter Nutzungsmanagement-Strategien, die das Grundwasser, vor allem aber den Menschen als wichtigste Schutzgüter zum Inhalt haben. Dabei sind die Rieselfeldflächen als historisch gewachsene Kulturlandschaften zu verstehen, die eine Vielzahl von Nutzungsmöglichkeiten bieten, insbesondere aber als stadtnahe zusammenhängende Erholungsräume mit vergleichsweise hoher Diversität dienen können.

Literatur

- [1] METZ, R., 1992: Berliner Rieselfelder. Grünstift-Forum 12-13.
- [2] PORTMANN, H.D.; TEERSMANN J. und KÜHNE, U. 1993: Berichte aus der Arbeit, Ökomanagement Rieselfeld - Problematik, Ergebnisse, Schlußfolgerungen. 93-96, LUA Brandenburg, Berichte aus der Arbeit.
- [3] SOWA, E., 1992: Schutzgutbezogene Folgenutzung von Riesefeldern. In: ROSENKRANZ, D.; EINSELE, G. und HARREß, H.-M. (Hrsg.): Bodenschutz. Erich Schmidt Verlag, Berlin, 7150-7210.
- [4] Umweatlant Berlin 1992 (Hrsg.): Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin, Kulturbuchverlag 1992

Prof. Dr. Reinhard F. Hüttl
Dr. Harald Semmel

Lehrstuhl Bodenschutz und Rekultivierung
Brandenburgische Technische Universität Cottbus
Postfach 10 13 44
03013 COTTBUS

Empfehlungen des Wissenschaftlich-technischen Beirates Rieselfelder (WTB) beim Landesumweltamt Brandenburg zur Rieselfeldnachnutzung im Umland von Berlin

Stand: 04. Dezember 1995

1. **Veranlassung**
2. **Vorgehensweise**
3. **Bodenschutz**
4. **Gewässerschutz**
 - 4.1 Einfluß der Rieselfelder Sputendorf/Großbeeren auf die Beschaffenheit von Grund und Oberflächenwasser
 - 4.2 Nachnutzungsempfehlungen für die Rieselfelder Sputendorf/Großbeeren
 - 4.3 Allgemeingültige Aussagen aus Sicht des Gewässerschutzes und Nutzungsempfehlungen für Berlin/Brandenburger Rieselfelder
 - 4.4 Anmerkungen zur Tabelle „Varianten der Folgenutzungen und ihrer Konsequenzen für Rieselflächen mit unterschiedlichem Nutzungsstand“ aus Sicht der Grundwasserbeschaffenheit des oberflächennahen Grundwassers
5. **Folgenutzungen**
 - 5.1 Landwirtschaft
 - 5.1.1 Notwendigkeit und Erfahrungen
 - 5.1.2 Klassifizierung der Rieselfeldflächen nach Höhe und Heterogenität der Schwermetallbelastung
 - 5.1.2.1 Ehemalige Rieselfeldflächen ohne oder mit sehr niedriger Schwermetallbelastung
 - 5.1.2.2 Schwach mit Schwermetallen belastete Rieselfeldflächen
 - 5.1.2.3 Hoch und sehr hoch mit Schwermetallen belastete Rieselfeldflächen
 - 5.1.3 Anbaueignung von Rieselfeldflächen
 - 5.2 Erholungswald
 - 5.2.1 Einleitung
 - 5.2.2 Erfahrungen und Probleme bei der Rieselfeldaufforstung in Berlin-Buch
 - 5.2.3 Bewertung
 - 5.2.4 Empfehlungen zur forstlichen Nachnutzung
 - 5.3 Stellungnahme des Instituts für Wasser-, Boden- und Lufthygiene im Umweltbundesamt Berlin
 - 5.4 Naturschutz und Landschaftspflege
6. **Empfehlungen für die Planung**
7. **Empfehlungen für die Forschung**
 - 7.1 Bereich Bodendynamik
 - 7.2 Bereich Wasserhaushalt
 - 7.3 Bereich Landwirtschaft und Forstwirtschaft
 - 7.4 Bereich Naturschutz

1. Veranlassung

Die Einrichtung des „Wissenschaftlich-technischen Beirates Rieselfelder“ wurde am 14.11.1994 durch den Präsidenten des Landesumweltamtes (LUA) mit Zustimmung des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung (MUNR) beschlossen. Der Wissenschaftlich-technische Beirat Rieselfelder ist dem Landesumweltamt Brandenburg zugeordnet und gegenüber dem Präsidenten berichtspflichtig. Berichterstatter ist der Vorsitzende.

Die Zielstellung wurde anlässlich der ersten Sitzung am 28.11.1994 festgelegt und enthält folgenden Aufgaben:

- wissenschaftlicher Ergebnisse für die Sanierung, Gestaltung und zukünftigen Nutzungen von Rieselfeldern im Umland von Berlin
- Vorbereitung eines Rieselfeldmanagements zur Vermeidung und Minderung akuter und potentieller Gefährdungen
- Erarbeitung eines Variantenvergleiches für verschiedene Folgenutzungen
- Beratung des LUA und MUNR zum erforderlichen Management der Rieselfelder
- kritische Überprüfung von Forschungsergebnissen und Darstellung von weitergehendem Forschungsbedarf
- fachliche Vorbereitung und Durchführung eines Rieselfeldkolloquiums mit ca. 450 Teilnehmern

Der wissenschaftlich-technische Beirat Rieselfelder tagte an 6 Terminen im Zeitraum zwischen dem 28.11.1994 und 04.12.1995 und wurde durch folgende Mitglieder (in alphabetischer Reihenfolge) vertreten:

Prof. Dr. Hans-Peter Blume
Christian-Albrechts-Universität Kiel

Dr. Oswald Blumenstein
Universität Potsdam

Dipl.-Ing. Martin Böhme
Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin

Prof. Dr. Manfred Grün
Agrar- und Umweltanalytik Jena GmbH

Dipl.-Ing. Matthias Günter
Berliner Wasserbetriebe

Dipl.-Ing. Ronald Jordan
Landesumweltamt Brandenburg

Dipl.-Forstwirt Elmar Kilz
Landesforstamt Berlin

Dipl.-Ing. Reinhard Krause
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung Brandenburg

PD Dr. habil. Werner Kratz
FU Berlin, Koordination BMBF-Verbundprojekt Rieselfelder Berlin-Nord

Dipl.-Ing. Jürgen von Kunowski
Institut für WaBoLu Berlin im Umweltbundesamt

Dr. Bernd Marschner
TU Berlin

Prof. Dr. Reinhart Metz
Humboldt-Universität zu Berlin

Dr. Hans-Dieter Portmann
ehem. Landesumweltamt Brandenburg

Dipl.-Ing. Jürgen Ritschel
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung Brandenburg

Dr. René Schenk
Landesumweltamt Brandenburg

Prof. Dr. Michael Schmidt (Vorsitzender WTB)
Brandenburgische Technische Universität Cottbus

Prof. Dr. Uwe Tröger
Technische Universität Berlin

Dr. Wolfgang Weber
Landkreis Teltow-Fläming

2. Vorgehensweise

Informationsgrundlage der Ausführungen zu den Schutzgütern Boden (Kap. 3) und Wasser (Kap. 4) sowie zu den Anforderungen und Bedingungen der verschiedenen Folgenutzungen (Kap. 5) bildeten maßgeblich die Forschungsergebnisse der vom LUA und MUNR sowie der vom BMU, BMBF und SenStadtUm Berlin geförderten F+E-Vorhaben.

In der Nutzungsvariantentabelle sind in einer Übersicht (vgl. Kap. 3, Tab. 1) die verschiedenen Folgenutzungen und ihre Auswirkungen auf rieselfeldrelevante Parameter zusammengestellt.

Die Nutzungsvariantentabelle ist durch einen intensiven Diskussionsprozeß zwischen Wissenschaftlern unterschiedlichster ökologischer Disziplinen aus Berlin, Brandenburg, Jena und Kiel zustande gekommen. Sie eröffnet für Landes- und regionale Planungsbehörden die Möglichkeit, in Anlehnung an unterschiedlichste Nutzungsvarianten (u.a. Forst-, Agrarnutzung) Konsequenzen für bodenchemische, bodenphysikalische und bodenbiologische Eigenschaften bei Folgenutzungen zu prognostizieren. Die Nutzungsvariantentabelle baut auf einer wertneutralen Sicht bzgl. möglicher Folgenutzungen mit unterschiedlichem wasserhaushaltlichem Regime und unterschiedlichen Bodenmeliorationsmaßnahmen auf. Sie gibt keine Empfehlung zugunsten einer bestimmten Folgenutzung. Die Rangfolge der Nutzungen in der Tabelle ist rein zufällig.

Die Nutzungsvariantentabelle wird sicherlich im praktischen Gebrauch weitere nützliche Modifikationen erfahren, so daß sie, nachdem sie z.Z. einzig die Sicht des WTB Rieselfelder darstellt, zukünftig auch

durch stärker planerische, praxisorientierte Aspekte noch zu ergänzen sein wird.

Die Nutzungsvariantentabelle wird durch einen Erläuterungstext ergänzt, der für die Handhabung und den Gültigkeitsbereich des vorgelegten Bewertungsschemas notwendig Ergänzungen gibt. Die Tabelle sollte immer unter Einbeziehung dieser Anmerkungen bzw. Prämissen angewandt werden.

3. Bodenschutz

Bemerkungen zu der Übersicht „Konsequenzen von Nutzungsvarianten für ausgewählte Bodenparameter“

Entsprechend den Erkenntnissen, welche über die Dynamik in der Bodenzone von Rieselfeldgeosystemen gewonnen wurden, sind die möglichen Trends der Entwicklung abhängig vom Ausgangszustand der Areale (siehe Tab. 1). Die Begründung resultiert aus den zeitabhängigen Spezifika der Veränderungen von Struktur- sowie Milieuparametern nach Auflasung der Flächen.

Kategorie der derzeitigen Rieselfeldnutzung in Tab. 1.

I Aufgelassene und umgestaltete Flächen:

Typische Rieselfeldstrukturen sind seit mehreren Jahren beseitigt worden. Der Boden wurde durchmischt und erneut eingeebnet, der Gehalt an organischer Bodensubstanz ist reduziert, die Bodenacidität hat zugenommen (pH-Wert-Absenkung), z. T. ist aber noch ein Dränung vorhanden.

II Flächen mit Rieselfeldstruktur und nicht mehr beaufschlagt:

Tafeln, Dämme sowie Grabensysteme sind noch vorhanden. Es erfolgt jedoch keine Abwasserzufuhr mehr, die Verringerung der organischen Bodensubstanzgehalte ist noch nicht messend nachweisbar, ebenfalls ein Versauerungsprozeß.

III Intakte Rieselfeldstruktur mit Feuchthaltung:

Rieselfeldareal mit erhöhten Gehalten an organischer Bodensubstanz und höchstens schwach saurer Bodenreaktion. Nach Stand der aktuellen Flächennutzungskartierung im April 1995 vorwiegend verwilderte Grünbrache bzw. Grünland.

Die vorgelegte Übersicht (Tab. 1) ermöglicht eine Abschätzung der Trends in der Bodendynamik. Die spezifische Konfiguration sowie Vorbelastung der Areale bleiben unberücksichtigt. Sie sind entsprechenden Kartenwerken, welche im Rahmen der Ist-Zustandserfassung entwickelt wurden, zu entnehmen. Demzufolge kann bei gleichen Trends der Prozeßverläufe eine unterschiedliche Bewertung der Nutzungseignung möglich sein, wodurch bei Anwendung ein raumkonkretes Vorgehen erforderlich ist.

Es werden weiterhin keine Fragen der forstlichen bzw. landwirtschaftlichen Nutzung sowie des Einflusses der Stoffdynamik auf den Aquifer erörtert. Diese sind den entsprechenden Kapiteln zu entnehmen.

Nachfolgende Bemerkungen dienen der weiteren Erläuterung:

1. Auf allen nicht als Hochlastflächen einzustufenden Arealen (siehe Punkt 8) sind die Maßnahmen auf die Verhinderung einer Degradierung des Bodens durch Erosion, Humusabbau und Versauerung auszurichten. Eingriffe, welche die Diffusion von Sauerstoff in das Porensystem begünstigen und somit den Mineralisierungsprozeß fördern, sollten minimiert werden (z.B. Umbrechen und Zerkleinern des Bodenmaterials). Somit sind alle Nutzungsvarianten, welche einer intensiven Bodenpflege bedürfen, zurückzustellen. Auch eine standortangepaßte Kalkung (pH-Wert 5,5) fördert die Mineralisierung, darüber hinaus die Nitrifizierung sowie die Entstehung von Ionenkonkurrenzen (z.B. Calcium/Magnesium-Antagonismen). Eine Kalkung setzt eine Kontinuität ihrer Fortführung voraus, da infolge der Mineralisierung auf den sandstrukturierten Böden keine weiteren nennenswerten autochthonen Pufferungsmechanismen im schwach sauren Bereich zur Verfügung stehen. Überdies ist eine Intensivierung der Komplexbildung möglich, welche zur Erhöhung der Mobilität des fixierten Schwermetallpools beitragen könnte. Eine Zufuhr und schonende Einbringung von Sorptionsträgern (z.B. Tone, organische Substanzen) sollte in Erwägung gezogen werden. Die Bildung von sekundären Stauschichten ist zu verhindern.
2. Durch die Belassung der produzierten Biomasse am Ort und die Vergrößerung ihrer aktiven Oberflächen (z. B. durch Mulchung) können der Gehalt an organischer Bodensubstanz stabilisiert und die Retardation des Schadstoffpools vergrößert werden. Zur Vermeidung von wind-/wasserbedingten Erosions- und Transportprozessen ist eine weitgehende mehrjährige Vegetationsbedeckung anzustreben.
3. Eine Minderung der Nettomineralisation (als Differenz zwischen Humusbildung und -abbau) kann durch die Feuchthaltung erzielt werden. Damit können die nachteiligen Sekundärwirkungen auf die Spezifika der Struktur und des Milieus des Bodenkörpers, vor allem aber in Hinblick auf die daraus resultierenden Remobilisierungseffekte des Schwermetallpools (insbesondere Cd, Zn, Cu) vermindert werden.

Nach bisherigem Kenntnisstand, welcher aus den Lysimeterversuchen in den Rieselfeldern südlich Berlins resultiert, könnte die Feuchthaltung auf durchgängig sandstrukturierten Substraten mit einer Beaufschlagungsmenge von etwa 2.000 mm a⁻¹ realisiert werden. Die Mengen-, Intensitäts- und Zeitspezifika der Feuchthaltung müssen jedoch der raumtypischen Bodenstruktur und -belastung angepaßt werden, demzufolge sind in Tab. 1

Tab. 1: Varianten der Folgenutzung und ihre Konsequenzen für Rieselfeldflächen mit unterschiedlichem Nutzungsstand

Prognostische Nutzungsvarianten	Konsequenzen für																				
	Bodenreaktion			OBS-Gehalt im Ah-Horizont			Schwermetallmobilität		N-Austrag (insbesondere NO ₃)			P-Austrag		Anfälligkeit gegenüber Erosion ⁵		Mikrobielle Aktivität u. Edaphon					
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III			
Sukzession	-	-	-	-	-	-	+	+	++	+	+	++	(+)	(++)	(++)	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	0	0	-	0	0	+	0	0	+	0	0	+	-	-	-	+	+	0
	+	+	0	++	++	0	-	-	0	+	+	0	(+)	(+)	(+)	-	-	-	++	+	0
	+	+	0	-	-	-	-	-	-	0	0	0	-	-	0	-	-	0	+	+	+
	++	++	+	-	-	-	++	++	+	++	++	++	(0)	(0)	(+)	-	-	0	+	(0)	-
Grünland	-	-	-	0	0	-	-	-	0	+	+	0	(+)	(+)	(+)	-	-	-	+	(0)	-
	-	-	-	+	+	0	0	0	0	+	+	0	0	0	+	-	-	0	+	+	0
	+	+	0	++	++	0	-	-	0	0	0	0	(+)	(+)	(0)	-	-	0	+	+	0
	+	+	+	0	0	-	-	-	-	0	0	0	0	0	(+)	-	-	0	+	+	+
	0	0	-	++	++	+	-	-	-	0	0	0	(+)	(+)	(+)	-	-	0	++	++	+
Ackernutzung/ Gartenbau ¹	+	+	0	-	-	-	-	-	0	0	0	+	(+)	(++)	(++)	++	++	++	-	-	-
	-	-	-	0	0	-	0	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0	+	+	+	0
	+	+	0	(+) ⁴	(+)	0	-	-	0	0	0	0	(+)	(++)	(++)	0	0	+	+	+	0
	+	+	0	0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	+	+	0
	++	++	+	-	-	-	0	0	+	++	++	++	-	-	0	+	+	+	+	+	0
Forstwirtschaft/ Gehölze ²	-	-	-	0	0	-	+	+	++	+	+	+	(+)	(++)	(++)	-	-	0	-	-	-
	+	+	0	-	-	-	-	-	0	+	+	+	(+)	(+)	(+)	+	+	+	+	+	0
	-	-	-	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	+	+	0
	+	+	0	0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	+	+	0
	++	++	+	-	-	-	0	0	+	++	++	++	-	-	0	+	+	+	+	+	0
Bebauung ³	-	-	-	0	0	-	+	+	++	+	+	+	(+)	(++)	(++)	-	-	0	-	-	-
	+	+	0	-	-	-	-	-	0	+	+	+	(+)	(+)	(+)	-	-	0	+	+	0
	+	+	0	0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	+	+	0
	+	0	0	++	++	+	-	-	0	-	-	0	(+)	(+)	(0)	-	-	0	+	+	+
	0	0	0	(0)	(0)	(0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	siehe spezifische Flächennutzung																				

+ Erhöhung/Beschleunigung
 - Erniedrigung/Verringerung
 0 keinen Einfluß
 + oder - gering ++ oder - hoch () Prognoseunsicherheit
 1 aufgelassene und umgestaltete Flächen
 2 Laub- und Mischwald verschiedener Altersklassen
 3 Bei Vollversiegelung ist im Prinzip eine Auskofferung des schadstoffbelasteten Oberbodens notwendig; bei Belastung muß gelten, daß ein großer Grundwasserfußfallstand, welcher keinen Kapillaraufstieg in den kontaminierten Bereich zuläßt, notwendig ist.
 4 abhängig von der Höhe des Wasserinputs
 5 Wind- und Wassererosion

> 1.000 mm a⁻¹ angegeben worden. Die Porenwasserfüllung sollte einerseits eine Vegetationsentwicklung und ausreichende Biomasseproduktion garantieren, andererseits insbesondere während der Sommermonate die temperaturabhängige Mineralisierungsgeschwindigkeit nicht durch positive Rückkopplungseffekte noch verstärken. Wichtig ist eine weitgehende gleichmäßige Feuchthaltung während der Vegetationsperiode. Sie sichert eine durchgängige Pufferung im Bodenkompartment, vermeidet drastische Wechsel des Redoxpotentials und vermindert die Intensität der Nitrifikation im Stickstoffpool. Dieser Kompromiß der Minimierung des Risikos berücksichtigt die Pufferwirkung und ermöglicht

- eine hohe nutzbare Feldkapazität sowie den notwendigen Gasaustausch für die Vegetationsentwicklung,
- eine Minimierung der Mineralisierungsgeschwindigkeit und
- eine Vermeidung nennenswerter sickerwasserbedingter Translokationsmechanismen.

Eine standort- und kulturartenspezifische Bewässerung in Höhe des Bedarfes der Vegetation (d. h. maximal 300 mm während der Vegetationsperiode) würde die Biomassebildung erhöhen und damit Remobilisierung potentieller Schadstoffe vermeiden helfen, ohne daß (im Gegensatz zur Zusatzbewässerung mit über 1.000 mm) die Grundwasserneubildung erhöht wird.

4. Zur Feuchthaltung könnte mechanisch-biologisch geklärtes Abwasser Verwendung finden, welches einer N- und P-Eliminierung unterzogen wurde. Dadurch wäre es möglich, unter Berücksichtigung des Vegetationsentzuges, den Nährstoffpool des Speichers „Boden“ nicht weiter zu erhöhen. Gegen eine Verwendung von Wasser aus dem oberen Aquiferbereich bestehen so lange keine Einwände, wie eine durch Kreislaufführung bedingte Konzentrationszunahme von Stoffspezies im Bodenkompartment ausgeschlossen werden kann. Es sind Flächen mit einem relativ großen Grundwasserflurabstand zu nutzen, welche die Gefahr von hydraulischen Kurzschlüssen minimieren. Der geschlossene Kapillarsaum sollte nicht die Obergrenze des Unterbodens erreichen.
5. Auf Flächen, welche schon längere Zeit aufgelassen wurden, ist der Instabilitätszustand eingetreten. Als sicher gilt deshalb, daß nach Einstellung des Abwassereintrages die fixierten Schadstoffe remobilisiert werden können.

Die bisher übliche Praxis der Einebnung aufgelassener Flächen verringert zwar die Schadstoffkonzentrationen in den oberen Bodenhorizonten, nicht aber deren absolute Menge. Aus den genannten Gründen wäre deshalb auf Flächen, die mehrere Jahre nicht beaufschlagt wurden, eine

Wiederaufnahme der Abwasseraufbringung problematisch, denn ein Teil des Schadstoffvorrates kann hier wieder in einer mobileren Form vorliegen und konnte deshalb durch den vertikalen Wasserfluß leichter verlagert werden. Entsprechende Frachten sind aber auch durch natürliche Niederschlagsereignisse oder intensive Schneeschmelze realisierbar.

6. Zur Minimierung der Inanspruchnahme von Deponieraum durch Bodenaustausch sind weitflächige Wohnungs- und Gewerbeansiedlungen sowie Verkehrsstrassen nur auf wenig belasteten Standorten ehemaliger Rieselfelder anzulegen. Die entsprechenden Vorschriften der Brandenburger und Berliner Liste sind zu beachten. Wie auch bei einer Bodenversiegelung fallen Aushub und Substrate an, welche oft zur Wiederverbauung vorgesehen sind. Diese müssen einer pedochemischen Analyse unterzogen und bewertet werden. Durch natürliche Kapillarsperren ist eine Infiltration von liegenden Wässern in kontaminiertes Bodenmaterial zu verhindern.

Belastetes Bodenmaterial ist so zu lagern, daß Verwehungen sowie ein hydraulischer Kontakt mit den umgebenden Umweltmedien vermieden werden. Maßnahmen zur Stabilisierung des Milieus und der organischen Substanzgehalte sind sinngemäß anzuwenden.

7. Die Nutzung der Flächen zu Freizeit- und Erholungszwecken ist möglich. Freizeitanlagen, welche einer intensiven Bodenbewegung bedürfen und/oder einen Direktkontakt mit dem Substrat nicht ausschließen können, sind abzulehnen.
8. Hochlastflächen wie Einleiterbereiche, Intensivfilter, Zuleitergräben, Absetzbecken und Schlamm-lagerplätze besitzen ein hohes Gefährdungspotential. Hier besteht die Notwendigkeit sofortiger Ausgrenzung, Sicherung und Ausschaltung von Nutzungen.

4. Gewässerschutz

4.1 Einfluß der Rieselfelder Sputendorf/Großbeeren auf die Beschaffenheit von Grund- und Oberflächenwasser

Die Rieselfeldbezirke Sputendorf und Großbeeren stellen hydrologisch/hydrogeologisch gut erkundete Rieselfeldstandorte dar. Die im Rahmen des LUA-Forschungsprojektes „Rieselfelder südlich Berlins“ gewonnenen Erkenntnisse über Grundwasser-, Oberflächenwasserbelastung sowie zum Wasserhaushalt und über Abbau- und Retentionsprozesse in tieferen Bodenschichten stellen die grundlegende Basis für künftige hydrologisch/hydrogeologische Rieselfelderkundungen und -bewertungen dar.

Das Grundwasser des 1. Grundwasserleiters unterhalb der Rieselfelder ist erheblich belastet. Vor allem die Nährstoffe Phosphor und Stickstoff treten in unterschiedlichen organischen und anorganischen Spezies, in bedenklichen mehrfachen Grenzwertüberschreitungen lt. Trinkwasserverordnung (TVO) auf (PO_4 häufig $20 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ bis zu $60 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, NO_3 häufig 150 bis $400 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$). Begleitet werden die Nährstoffe von erheblichen Mengen gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC). Punktuell steigende Tendenzen der anorganischen Spezies (PO_4 , NO_3) haben ihre Ursache vor allem in der verstärkten Oxidation der organischen Spezies schon oberhalb des Grundwassers nach Stilllegung der Rieselfelder.

In etwa 1/4 bis 1/3 aller Meßstellen des 1. Grundwasserleiters im Rieselfeldareal treten Grenzwertüberschreitungen bei Nickel oder Kupfer auf (Eingriffswert Brandenburger Liste Kat. 1), wobei $100 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ in der Regel nicht überschritten werden. Dagegen wurden die human- und zootoxisch besonders relevanten Schwermetalle Blei, Cadmium und Quecksilber nicht nachgewiesen. Die untersuchten Sedimente der ungesättigten Zonen unterhalb der Bodenzone zeigen deutliche Schwermetallanreicherungen, vermutlich durch Sickerwassereintrag; doch sind die Gesamtkonzentrationen in Bezug auf die Grenzwerte der Brandenburger Liste gering. Auch lassen sich noch am Sediment des 1. Grundwasserleiters und an der Oberfläche des Saalegeschiebemergels deutlich Schwermetalle anthropogener Herkunft nachweisen, wenngleich auch hier die Konzentrationen unterhalb der Grenzwerte liegen. Daneben wurden auch alle organischen Kontaminanten festgestellt.

Die Salzfracht ist durch den Abwassereintrag in das Grundwasser erheblich und liegt zum Teil über den Grenzwerten der Trinkwasserverordnung. Ökotoxikologische Untersuchungen bestätigen die erhebliche Belastung des Grundwassers und weisen ebenfalls ein als Trinkwasser ungeeignetes Grundwasser aus.

Bedingt durch die hydrodynamischen Verhältnisse dominiert im 1. Grundwasserleiter eine vertikale Grundwasserströmung. Daher ist eine horizontale Verlagerung des rieselfeldgeprägten Grundwassers im 1. Grundwasserleiter nicht wesentlich über die Grenzen des Rieselfeldareals hinaus zu beobachten.

Entsprechend des geologischen Baus durchströmt das hochbelastete Grundwasser des 1. Grundwasserleiters anschließend einen durchschnittlich 5 bis 15 m mächtigen Geschiebemergel. Hierbei finden relevante Adsorptions- und mikrobiologische Abbauprozesse statt. Noch eventuell vorhandene Schwermetalle werden adsorbiert. Der im 1. Grundwasserleiter zu Nitrat oxidierte Stickstoff wird mikrobiologisch zu elementarem Stickstoff und Lachgas denitrifiziert. Ortho-Phosphat wird schon in den tieferen Bereichen des 1. Grundwasserleiters weitgehend immobilisiert.

Demzufolge ist im allgemeinen das Grundwasser des 2. und 3. Grundwasserleiters (Hauptentnahmestort und Wasserleiter zur Trinkwassergewinnung) unterhalb der Rieselfelder durch die Salzfracht gekennzeichnet. In den ersten 2-3 km des Abstromes der Rieselfelder tritt eine nur unwesentliche Vermischung mit unbelastetem Grundwasser auf, da durch das radiale Abströmen des Grundwassers aus dem Rieselfeldareal keine wesentlichen Quellen für unbelastetes Grundwasser existieren. Entsprechend ist das als Trinkwasser geförderte Grundwasser der Wasserwerke Teltow und ENRO zu 50-80% abwasserbürtig. Das Wasserwerk Ludwigsfelde zeigt nur einen geringen Anteil rieselfeldbürtiges Grundwasser, da ein großer Anteil des Einzugsgebietes außerhalb der Rieselfelder liegt. Bedingt durch die besondere geologische Situation im Westen der südlichen Rieselfelder wird in diese Richtung der Rieselfeldabstrom erheblich gehemmt bzw. umgelenkt, so daß keine Rieselfeldbeeinflussung im Wasserwerk Rehbrücke mehr erkennbar ist.

Innerhalb des Spektrums der organischen Kontaminanten werden in erster Linie die chlorierten Kohlenwasserstoffe in Konzentrationen nachgewiesen, die lokal die Grenzwerte der Brandenburger Liste sowie der Trinkwasserverordnung überschreiten. Das Rieselfeldareal weist flächenhaft im Grundwasser erhöhte AOX-Gehalte auf.

Weitere häufige organische Verbindungen werden im abwasserbeeinflussten Grundwasser nachgewiesen. Hierbei handelt es sich zum einen um ein in der Humanmedizin eingesetztes Medikament, welches als Clotibrinsäure bezeichnet wird. Die zweite Verbindung, das N-(Phenylsulfonyl) sarcosin, ist ein Metabolit, der möglicherweise aus einem Korrosionsschutzmittel hervorgegangen ist. Beide Verbindungen stellen einen guten Indikator für abwasserbeeinflusstes Grundwasser dar. Die weitreichende Verbreitung auch im 2. und 3. Grundwasserleiter bis hin zu den Wasserwerken im Abstrom der Rieselfelder ist bedenklich. Für diese Stoffe sind die toxikologischen Eigenschaften noch weitestgehend ungeklärt.

Die tieferen Grundwässer wurden und werden durch die Rieselfeldwirtschaft in ihrer Beschaffenheit nicht beeinflusst. In den Hauptvorflutbereichen (Nuthe, Teltowkanal) überprägt aus den tieferen Stockwerken aufsteigendes, geogensalinar belastetes Grundwasser den hier schon verdünnten Rieselfeldabfluß. Außerhalb dieses Bereiches ist keine deutliche Rieselfeldbeeinflussung zu erwarten.

Der Grundwasserspiegel hat sich im Rieselfeldareal durch die Einstellung der Rieselfeldwirtschaft bisher um 2 bis 4 m abgesenkt. Erhebliche Vegetationsschäden waren bisher die Folge. Während im zentralen westlichen Bereich eine weitere Absenkung um ca. 1 m zu erwarten ist, ist im östlichen Bereich mit keiner wesentlichen Änderung des Grundwasserstandes mehr zu rechnen.

Bedingt durch die Grundwasserabsenkung sind die meisten Drainage- und Entwässerungsgräben trocken-gefallen bzw. führen nur noch geringste Wassermengen, so daß - unabhängig von der Wasserqualität der Gräben - die Hauptvorfluter Nuthegraben und Nuthe nur unwesentlich beeinflußt werden können.

Die wenigen im zentralen Rieselfeldbereich noch fließenden, durch Zusickerung und Drainierung von Rieseltafeln geprägten Gräben weisen eine bedenkliche Wasserqualität auf. Die in den Randbereichen meist noch wasserführenden, grundwasser geprägten Entwässerungsgräben sind dagegen durch das verunreinigte Grundwasser des Rieselfeldareals noch erheblich belastet. Doch im weiteren Verlauf, mit zunehmender Entfernung unterscheidet sich die Wasserqualität dieser Gräben nicht wesentlich von Wasser in rieselfeldunbeeinflussten Gräben. Erhöhte Nährstoffgehalte treten jedoch auch in den unbeeinflussten Gräben auf.

Vergleichende Betrachtungen von Grundwassermeßstellen unterhalb unterschiedlich lange stillgelegter Rieselfelder (5-20 Jahre) zeigen nur geringe Änderungen der Grundwasserbeschaffenheit. Lediglich eine sehr allmähliche Abnahme der Salzkonzentration ist zu beobachten. So läßt sich weder eine Qualitätsminderung durch Remobilisierung von Schadstoffen aus der ungesättigten Zone noch eine deutliche Grundwasserqualitätsverbesserung durch vermindernden Schadstoffeintrag ins Rieselfeldsystem (nur noch Niederschlag) folgern. Doch ist die Gesamtschadstoffmenge, die derzeit ins Grundwasser eingetragen wird, bedingt durch deutlich geringere Grundwasserneubildung, wesentlich geringer als zur Zeit der Rieselfeldbewirtschaftung. Eine erhoffte Grundwasserqualitätsverbesserung wird durch Remobilisierungen vor allem von Nährstoffen aus der Bodenzone langfristig verzögert. Entsprechendes muß auch aus den im Projektzeitraum aufgestellten Zeitreihen zur Grundwasserbeschaffenheit geschlossen werden.

Entsprechend ist auch in absehbarer Zukunft mit keiner wesentlichen Änderung der Rohwasserqualität der durch die Rieselfeldwirtschaft beeinflussten o.g. Wasserwerke zu rechnen. Das numerische Grundwassermodell zeigt, daß sich bedingt durch das verminderte Grundwasserangebot lediglich die Anteile von rieselfeldgeprägtem und unbeeinflusstem Grundwasser verändern. Daher kann es mittelfristig zu einer gewissen Verbesserung der Grundwasserqualität durch Verdünnung kommen. Ein wirklich deutlicher Rückgang der Salzfrachten ist erst in mehreren Jahrzehnten zu erwarten.

4.2 Nachnutzungsempfehlungen für die Rieselfelder Sputendorf/Großbeeren

Aus den oben dargestellten Verhältnissen erscheint im allgemeinen eine Feuchthaltung der Rieselfelder

zur Schadstofffixierung aus Gründen des Grundwasser- und Oberflächenwasserschutzes nicht notwendig. Doch ist eine Gefährdung durch den großen Schadstoffpool in Böden im Rieselfeldareal soweit gegeben, daß eine kontinuierliche Beobachtung zwingend erforderlich ist.

Um die hohe Belastung des 1. Grundwasserleiters zu begrenzen, sollten die punktuellen Extremkontaminationen in der ungesättigten Zone (Absatzbecken, Gräben etc.) gesichert und/oder möglichst bald saniert werden.

Auf besonders belasteten oder gefährdeten Standorten erscheint eine Bewässerung mit standortbürtigem Grundwasser, eventuell in Kombination mit nährstoffzehrenden Pflanzen, vorteilhaft. Die Überlegenheit einer solchen Maßnahme gegenüber der „klassischen Feuchthaltung“ ist, daß keine zusätzlichen Schadstoffe ins System eingebracht werden und es zu keiner Grundwasseranreicherung kommt. Daher hat eine pflanzenbedarfsgerechte Bewässerung auch keinen Einfluß auf den Oberflächenabfluß.

Aus Sicht des Grundwasserschutzes sind folgende Nutzungseinschränkungen für die Rieselfelder zu beachten:

- keine unkontrollierte Grundwasserentnahme aus dem 1. Grundwasserleiter im Rieselfeldareal,
- land-/forstwirtschaftliche Nachnutzung nur mit standort-, bedarfs- und umweltgerechtem Düngemittel- und Pflanzenbehandlungsmittelinsatz,
- Versiegelung bei Baumaßnahmen nur bei entsprechendem Wasserhaushaltsausgleich durch Einleitung des Niederschlags in das Grundwasser.

Ein Nährstoffentzug bzw. eine Fixierung durch eine entsprechende Bewirtschaftung und Kultivierung der Rieselfelder sollte in Betracht gezogen werden.

Wenn aber eine Feuchthaltung aus anderen Gründen (Grundwasseranreicherung, Bodenschutz oder Naturschutz) erforderlich oder gewünscht wird, ist der entstehende erhebliche Oberflächenabfluß aus dem Rieselfeldareal heraus in nicht leistungsfähige Vorfluter (besonders Nuthegraben) zu bedenken. Entsprechend hohe Anforderungen an die Wasserbeschaffenheit des Beaufschlagungswassers sind zu stellen. Ein N- und P-eliminiertes Abwasser wäre mindestens erforderlich.

Wie die Untersuchungen zeigten, führt jegliche Feuchthaltung, die über der Evapotranspiration liegt, zu einer Grundwasseranreicherung (z.B. $500 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ Beaufschlagung führt zu $250 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ Grundwasseranreicherung). Erhöhte Grundwasserneubildungen führen aber auch zu höherem Einfluß der Rieselfelder auf die gesamte Grundwasserbeschaffenheit in einem Einzugsgebiet. Daher muß bei einer Beurteilung der Feuchthaltung nicht nur die Grundwasserbeschaffenheit im oberflächennahen Grundwasser des Rieselfeldareals betrachtet werden, sondern auch der Ein-

fluß auf die mittlere Grundwasserqualität eines Einzugsgebietes bewertet werden. Daher müßten die Auswirkungen auf die Grundwasserqualität langfristig beobachtet werden.

4.3 Allgemeingültige Aussagen aus Sicht des Gewässerschutzes und Nutzungsempfehlungen für Berlin/Brandenburger Rieselfelder

Der Einfluß von Riesefeldern auf Grundwasser und Oberflächengewässer ist neben der Abhängigkeit von vorhandenen Schadstoffbelastungen und möglicher Nachnutzungsvarianten insbesondere gebunden an die standortspezifischen geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse.

Insbesondere die Lage von Riesefeldern in Bezug zu Grundwassereinzugsgebieten und Fassungen von Wasserwerken oder die Speisung von empfindlichen Oberflächengewässern stellen wesentliche Kriterien bezüglich der Notwendigkeit von Sicherungs- und/oder Sanierungsmaßnahmen dar.

Eine systematische Bewertung sämtlicher Rieselfelder bezüglich Gefährdung genutzter Grundwasserressourcen und Oberflächengewässer ist dringend erforderlich.

Trotzdem können einige allgemeingültige Empfehlungen zur Nutzungen und Nutzungseinschränkungen aufgeführt werden:

- Berücksichtigung des deutlich herabgesetzten Grundwasser- und Oberflächenwasserdargebots bei künftigen wasserwirtschaftlichen Planungen durch die Stilllegung der Rieselfelder.
- Partielle Feuchthaltung auf besonders belasteten Standorten oder im Rahmen von Bewässerungen für z. B. Sport- und Freizeitnutzungen mit oberflächennahen Grundwasser ist positiv zu bewerten. Großflächige Bewässerungen mit Grundwasser sind aber wegen des Wasserverbrauchs durch Verdunstung nur in Verbindung mit Ausgleichsmaßnahmen für den Wasserhaushalt möglich.
- Verminderung des Schadstoffaustrages durch langfristig geschlossene Pflanzendecken und standortgerechte Kalk- und Humusversorgung.

4.4 Anmerkungen zur Tabelle „Varianten der Folgenutzungen und ihrer Konsequenzen für Rieselflächen mit unterschiedlichem Nutzungsstand“ aus Sicht der Grundwasserbeschaffenheit des oberflächennahen Grundwassers

Da keine Zunahme der Schwermetallbelastungen im Grundwasser des 1. Grundwasserleiters unterhalb stillgelegter Rieselfeldflächen nachgewiesen werden

konnte, sollte bezüglich der Einstufung der Nutzungsvarianten aus Sicht der Qualität des oberflächennahen Grundwassers der N-Austrag (Spalte 4) und P-Austrag (Spalte 5) im Vordergrund stehen (s. Kap. 3, Tab. 1).

Die Stickstoff- und Phosphatkonzentrationen liegen im oberflächennahen Grundwasser häufig in bedenklich mehrfach grenzwertüberschreitenden Konzentrationen vor. Daher ist jede Nutzungsvariante, die den P- und N-Austrag minimiert, aus Sicht des allgemeinen Grundwasserschutzes wünschenswert. Sowohl nach TVO als auch Brandenburgischer Liste kann sich aber nur aus einer Gefährdungsabschätzung/-bewertung (TVO) gegenüber genutzter Grundwasserressourcen und Oberflächengewässern des jeweiligen Standortes ableiten lassen. Hierbei gilt es, die reale Belastung des Grundwassers zu berücksichtigen.

5. Folgenutzungen

5.1 Landwirtschaft

5.1.1 Notwendigkeit und Erfahrungen

Rieselfelder stellen durch heterogene Bodenbelastung mit organischen und mineralischen Schadstoffen eine potentielle Gefahr für den unkontrollierten Eintrag von toxischen Elementen in die Nahrungskette des Menschen und des Naturhaushaltes dar. Traditionelle landwirtschaftliche Nutzungen mit Futtermittelproduktion und Nahrungspflanzen sind deshalb abzulehnen.

Andererseits ist das Offenhalten zusammenhängender Teile ausgedehnter Freiflächen im Stadtumland für die Verbesserung und Stabilisierung des gestörten Stadtklimas und verschiedene Nutzungsfunktionen auf Grünflächen langfristig nur über kontrollierte und ökologisch begründete und damit u.a. auch landwirtschaftliche Nutzungsformen finanzierbar. Dabei wird die Erhaltung und Pflege der Freiflächen, der Wirtschaftswege und Gewässerschutzstreifen mit der Bewirtschaftung bzw. zusätzlich aber kostengünstiger als in städtischen Parkanlagen ausgeführt (vgl. auch Kap. 5.3).

Die Gefahr eines Schwermetallaustrages, wie er bei Forst- oder Parknutzung auftreten kann, wird bei der notwendigen praxisüblichen Kalkung und organischen Düngung herabgesetzt bzw. ausgeschlossen. Rieselfeldtypische Nährstoffüberhänge (Stickstoff und Phosphor) werden durch die Biomasseproduktion entzogen und gelangen bei einsetzender Mineralisierung nicht in das Grundwasser.

Entscheidungen über landwirtschaftliche Nutzungsmöglichkeiten bei der sehr unterschiedlichen Belastungsintensität müssen den Kontaminationsgrad und die Heterogenität der Kontamination berücksichtigen. Jeder Folgenutzung hat eine Analytik der

Belastungshöhe und -flächenhaften Verteilung ausgewählter Schadstoffe zur Gefahrenabschätzung voranzugehen. Erst danach ist die Klassifizierung der Standorte nach Art und Höhe der Belastung zur Festlegung von Nutzungsvarianten möglich (Tab. 2).

Die nachfolgenden landwirtschaftlichen Nutzungsvarianten beziehen sich ausschließlich auf Erfahrungen mit Schwermetallbelastungen. Für organische Kontaminanten besteht z.Z. noch ein erhebliches Defizit an Wissen zum Transfer Boden-Tier-Mensch.

5.1.2 Klassifizierung der Rieselfeldflächen nach Höhe und Heterogenität der Schwermetallbelastung

5.1.2.1 Ehemalige Rieselfeldflächen ohne oder mit sehr niedriger Belastung

Rieselfeldflächen, die bereits vor mehreren Jahrzehnten umgestaltet wurden und zu dieser Zeit wesentlich geringer mit Schwermetallen belastet waren, dann 25 - 35 Jahre einheitlich und großflächig bewirtschaftet wurden, sind im Bearbeitungshorizont (0 - 30 cm) meist deutlich homogenisiert und nicht bzw. nur sehr niedrig kontaminiert. Die Bodengehalte (häufig im Bereich von Hintergrundwerten) gestatten die multifunktionale Nutzung ohne Auflagen. Standortgerechte, angepaßte Pflanzenproduktion nach guter fachlicher Praxis kann auf sorptionschwachen Böden durch Zusatzbewässerung in Höhe des fruchtartenspezifischen klimatischen Defizits zu deutlichen Mehrerträgen und zur höheren Ertragsstabilität beitragen.

5.1.2.2 Schwach mit Schwermetallen belastete Rieselfeldflächen

Rieselfeldflächen mit Schwermetall-Bodenbelastungen bis zur Höhe von Sanierungszielwerten der Berliner bzw. Brandenburger Liste (Kategorie Ib/sensible Nutzung) sind mit pflanzlicher Stoffproduktion zum Entzug von Nährstoffüberhängen (Stickstoff, Phosphor), d.h. zur Gefahrenabwehr durch den Anbau von Rohstoff-, Energie- und Futterpflanzen geeignet. Kalkung und organische Düngung auf das standorttypische Niveau wirken der sonst einsetzenden Schwermetallmobilität entgegen.

Vorzugsweise sind diese Standorte auch als Anzuchtflächen für Gehölze und Stauden für die spätere Anpflanzung auf belasteten Standorten geeignet. Durch pflanzenbedarfsgerechte Zusatzwasserversorgung wird die Schwermetallmobilität herabgesetzt und auch auf diesen Böden eine hohe Ertragsstabilität erreicht.

Integrierte Teilflächen mit höherer Schwermetall-Kontamination (ehemalige Absatzbecken u.ä.) sind durch Anlage von Biotopen oder Grünbrachen von

der Nutzung auszugrenzen. Die direkte Aufnahme von Boden (verschmutztes Erntegut, Sport-, Spielflächen) ist zu vermeiden.

5.1.2.3 Hoch und sehr hoch mit Schwermetallen belastete Rieselfeldflächen

Hoch belastete ehemalige Rieselfeldflächen sind nicht für den Nutzpflanzenanbau geeignet. Der Schadstofftransfer in pflanzliche Biomasse kann zur Verschleppung über den Abtrag von Nutz- und auch Wildpflanzenmaterial sowie über Tiere führen.

Flächen, die offengehalten werden sollen, sind durch Begrünen, Biotope u.ä. mit Kontrolle und, wenn notwendig, Korrektur des pH-Wertes und des Gehaltes an organischer Substanz vor dem Austrag von Gefahrstoffen zu schützen. Kleinräumig sind Sanierungsmaßnahmen oder Bodenaustausch zur Vorbereitung sensibler Nutzung möglich (Spielplätze, gärtnerische Nutzung).

5.1.3 Anbaueignung von Rieselfeldflächen

Die Eignung der Rieselfeldflächen für den Anbau landwirtschaftlicher Fruchtarten wird von natürlichen Standortbedingungen (Bodenart, Wasserverhältnisse), dem Bodenbelastungsgrad sowie von dem geplanten Verwendungszweck der Ernteprodukte bestimmt (Tab. 3).

Vegetative Pflanzenteile (Sproß, Wurzeln) akkumulieren Schwermetalle stärker als generative Pflanzenorgane (Früchte, Samen). Entscheidungen der Pflanzenwahl haben auch bei dem Anbau von nachwachsenden Rohstoffen auf belasteten Flächen den Kontaminationsgrad des Erntegutes, den Einsatzzweck sowie den Verbleib von Neben- und Abprodukten der Verarbeitung zu beachten. Schleichende Verschleppung von Schadstoffen muß vermieden werden, wenn die Pflanzenproduktion nachhaltige Wirkung haben soll.

5.2 Erholungswald

5.2.1 Einleitung

Durch ihre Ballungsraumnähe besitzen die ehemaligen Rieselfelder in und um Berlin mit ihren ausgedehnten und bisher noch unbebauten Freiflächen ein hohes Erholungspotential und wichtige klimatische Ausgleichsfunktionen sowie Naturschutzfunktionen für seltene Tier- und Pflanzenarten. Eine forstliche Nutzung würde die Möglichkeit bieten, diese Funktionen zu erhalten bzw. zu entwickeln. Die Entscheidung für diese Nutzungsform ist für Teile der Rieselfeldflächen in Berlin-Buch bereits 1985 gefallen, als nach Einstellung der Abwasseraufbringung rund 1.400 ha dem damaligen Forstwirtschaftsbetrieb Berlin übereignet wurden, mit dem Ziel, dort einen Erho-

Tab. 2: WTB Rieselfelder, AK Schadstofftransfer Boden – Pflanze – Tier – Mensch: Nutzungsvarianten für schwermetallbelastete Böden

Bodenbelastung	Produkte	Verwertbarkeit der Produkte/Nutzbarkeit		
		ohne/sehr niedrig ¹⁾ (geringe oder keine Heterogenität)	schwach ²⁾	hoch ³⁾ (bzw. große Heterogenität)
Gartenbau	Gemüse, Beerenobst	+	-	-
	Baumobst	+	+	-
	Zierpflanzen, Baumschulen	+	+	
Landwirtschaft	Sport- und Zierrasen	+	+	-
	Nahrungsfrüchte, bes. Getreide	+		-
	Futterpflanzen/Grünland	+		-
	Industrierohstoffe, Energiepflanzen	+	+	
	Fleisch, Milch, Eier	+	+	
	Innereien	+	-	-
Forst/Park	Gehölze	+	+	+
	Beerenfrüchte	+		-
	Pilze	+	-	-
	Wild (Fleisch)	+	+	
	- Innereien	+		-

- Nutzungsart: + unbedenklich
| kontrolliert, eingeschränkt
- nicht geeignet
- ¹⁾ Hintergrundwerte, d.h. unbelastet
²⁾ Kategorie Ib der Brandenburger Liste, d.h. für sensible Nutzung
³⁾ Werte über Kategorie Ib bis in Höhe von ⁴⁾
⁴⁾ deutlich sichtbare Pflanzenschäden
⁵⁾ Neben- und Abprodukte kontrolliert verwerten/beseitigen
⁶⁾ Äußere Verschmutzung vermeiden/beseitigen

(unterstellt wird standortgerechte Bewirtschaftung nach guter fachlicher Praxis, pH > 5,5... < 6,5, mit pflanzenbedarfsgerechter oder ohne Zusatzbewässerung)

Tab. 3: Anbaueignung landwirtschaftlicher Fruchtarten auf Rieselfeldböden

Bodenart Standorttyp	S/St3/SI3/Su3 Sickerwasserbestimmt	Sl4/Su4/Ls4 Sickerwasserbestimmt	Ls3/Slu/St4 grundwasserbeeinflusst bzw. mit Zusatzwasser
Schadstoffbelastung ohne/sehr niedrig (Kat. Ib der Berliner bzw. Brandenburger Liste)	W.-Roggen W.-Zwischenfrucht Silomais Rohstoff-/Energiepfl.	wie S/St3/SI3/Su3 und W.-Gerste W.-Weizen Klee gras W-Raps	wie Sl4/Su4/Ls4 und Hafer Futterrüben Feldgras
schwach (ohne Pflanzenschäden)	begrenzte Anbaueignung für Rohstoff-/Energie-/Futterpflanzen Anzuchtflächen für Gehölze, Stauden für belastete Gebiete Umwidmung, Begrünen, Biotope, Forsten		
hoch/sehr hoch	ohne Nutzpflanzenanbau Umwidmung, Begrünen, Biotope Schadstoffaustrag und -verschleppung vermeiden		

lungswald für die wachsende Nordberliner Bevölkerung zu schaffen.

Die unter großem Zeitdruck zur 750-Jahr-Feier Berlins durchgeführten flächendeckenden Aufforstungsmaßnahmen müssen allerdings weitgehend als mißglückt betrachtet werden, da trotz regelmäßiger Nachpflanzungen 1992 lediglich auf rund 40% der Fläche mehr oder weniger vitale Bestände stockten. Die Ursachen für diese flächenhaften Ausfälle wurden zunächst in der Schadstoffbelastung der Rieselfeldböden gesehen. Die im Rahmen des ÖSP-Projektes „Sanierungs- und Gestaltungskonzeption für die ehemaligen Rieselfelder im Bereich des Forstamts Buch“ durchgeführten Untersuchungen zeigten allerdings, daß andere, nicht unbedingt rieselfeldspezifische Faktoren für das Scheitern der Aufforstung verantwortlich waren. Diese Ergebnisse und weitere im Rahmen des Projekts und anderer laufender Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse bilden eine wichtige Grundlage für die Bewertung und Planung von forstlichen Maßnahmen auf ehemaligen Rieselfeldflächen.

5.2.2 Erfahrungen und Probleme bei der Rieselfeldaufforstung in Berlin-Buch

Die Untersuchungen auf den ehemaligen Bucher Rieselfeldern haben gezeigt, daß die Schadstoffbelastung der Böden nicht als primäre Ursache für die Gehölzausfälle in Frage kommt, da gerade in Bereichen hoher Belastungen (z. B. ehemalige Dämme) oft die vitalsten Bestände anzutreffen sind. Dies wird damit erklärt, daß hohe Schadstoffkonzentrationen fast immer in Verbindung mit hohen Humusgehalten auftreten, wodurch die Wasser- und Nährstoffversorgung auf diesen armen Sandstandorten deutlich

verbessert wird. Die in den Nadeln und Blättern festgestellten hohen Schwermetallgehalte liegen zwar teilweise in Bereichen, bei denen toxische Wirkungen nicht ausgeschlossen werden können, dies wird aber offensichtlich durch die besseren Wasser- und Nährstoffverhältnisse weitgehend kompensiert.

Als Hauptursachen für die gescheiterten Anpflanzungen werden heute folgende Faktoren angesehen:

- Ungenügende und falsche Flächenvorbereitung. Die Einebnung der Rieseltafeln und Dämme erfolgte mit schwerem Gerät teilweise auf noch nicht abgetrockneten Flächen, so daß es zu kurzfristigen Verdichtungen und Wasserstau im Oberboden kam. Die Pflanzungen erfolgten oft unmittelbar danach.
- Falsches und qualitativ schlechtes Pflanzgut. Für die Aufforstung wurden rund 50 Gehölzarten aus allen Teilen der DDR angeliefert, die teilweise für die Standortbedingungen völlig ungeeignet waren. Hinzu kam, daß das Pflanzgut aufgrund der langen Transportwege und längerer Zwischenlagerungen oft bereits vor Ausbringung irreversible Schäden aufwies.
- Maschinelle Pflanzverfahren. Durch den Einsatz von Geräten, die nicht an die Standortbedingungen angepaßt waren, wurde teilweise zu tief und meist zu dicht gepflanzt, so daß die Wurzeln geschädigt wurden oder in den humusarmen C-Horizonten steckten, wo die Wasser- und Nährstoffversorgung unzureichend war.
- Ungünstige Witterungsverhältnisse zum Pflanzzeitpunkt. Die Jahre 1985 bis 1990 waren durch unterdurchschnittlich geringe Frühjahrsniederschläge gekennzeichnet. Gerade diese sind aber auf den sandigen Standorten für den Anwuchserefolg der im Herbst und Frühjahr gepflanzten Kulturen entschei-

dend. Hinzu kommt, daß in den ersten Jahren aufgrund des Zeitdrucks auch während der Sommermonate gepflanzt wurde. Ein weiteres Problem stellen die auf den ausgedehnten Freiflächen häufigeren Spätfröste dar.

Bei den in den Folgejahren durchgeführten Feldversuchen konnte weiterhin gezeigt werden, daß bei sorgfältiger Flächenvorbereitung, Verwendung standortgerechter Baumarten und Durchführung von üblichen Forstschutzmaßnahmen (Zäunung, Baumeinzelschutz, Verbißschutz) sowohl Ansaaten als auch Pflanzungen selbst in Trockenjahren durchaus erfolgreich waren. Auch hier konnte zwischen Baumvitalität und Schadstoffbelastung meist keine Beziehung hergestellt werden. Dennoch müssen insbesondere die teilweise sehr hohen Cd- und Zn-Gehalte der Blätter und Nadeln auf den hochbelasteten Flächen als potentielle Schadfaktoren betrachtet werden. Da die Verfügbarkeit dieser Schwermetalle im Boden besonders stark pH-abhängig ist, sind pH-stabilisierende Maßnahmen wie Kalkungen auf diesen Flächen daher zur Bodenmelioration sinnvoll und notwendig.

5.2.3 Bewertung

Die Aufforstung von ehemaligen Rieselfeldern stellt eine Nutzungsänderung dar, die nachhaltige und teilweise schwer prognostizierbare Folgen für Böden, Grundwasser, Stoffhaushalt und Landschaft hat. Einige Aspekte lassen sich mit Hilfe der Erfahrungen aus Berlin-Buch und anhand grundsätzlicher Überlegungen dennoch eingrenzen, die im Folgenden nach eher positiven und eher negativen Auswirkungen geordnet sind (vgl. Tab. 1).

Vorteile der forstlichen Nachnutzung:

- Böden unter Wald weisen im oberen Krümmenbereich im Vergleich zu anderen Nutzungen meist die höchsten Humusgehalte auf, was für die Bindung von Schwermetallen und organischen Schadstoffen von entscheidender Bedeutung ist. Auch wirkt sich eine Stabilisierung der Humusvorräte positiv auf die Nährstoffspeicherung aus, wodurch die Nitrat- und Phosphatfreisetzung reduziert wird (Tab. 1).
- Bei entsprechender Baumartenwahl ist eine Bestandesbegründung praktisch auf allen ehemaligen Rieselfeldflächen möglich, unabhängig von der Schadstoffbelastung oder einer weiteren Feuchthaltung.
- Bäume haben aufgrund ihrer großen Blatt- oder Nadeloberfläche einen sehr hohen Wasserverbrauch, den sie durch ein tiefreichendes Wurzelsystem decken. Dadurch kommt es unter Wald zu wesentlich geringeren Sickerwassermengen als unter Acker- oder Grünlandnutzung, wodurch die Gefahr einer Schadstoffverlagerung in tiefere Bodenschichten und das Grundwasser reduziert wird.
- Schadstoffe wie Schwermetalle werden von Bäumen zwar aufgenommen, aber nur in sehr geringe-

rem Maße im Holz gespeichert. Die Nutzung des Holzes für Bau, Papierherstellung, Energieerzeugung o.ä. könnte daher höchstwahrscheinlich ohne Einschränkungen erfolgen.

- Durch eine Bewaldung und die damit verbundenen administrativen Kompetenzen ist eine länger- bis langfristige Erhaltung dieser stadtnahen Grüngürtel relativ gut gesichert.
- Die Kosten einer forstlichen Nutzung beschränken sich nach Bestandesbegründung über einen Zeitraum von 50 - 150 Jahren auf gelegentliche Pflegearbeiten und sind daher als relativ günstig anzusehen.
- Der Erholungswert einer waldgeprägten Landschaft ist höher als der von landwirtschaftlich genutzten Flächen. Durch integriertes Landschaftsmanagement kann auf den ehemaligen Rieselfeldern eine abwechslungsreiche und strukturreiche Landschaft entstehen, die neben den Erholungsbelangen auch den Naturschutz berücksichtigt.

Probleme der forstlichen Nachnutzung:

- Unter Wald kommt es auf den ehemaligen Rieselfeldern zur Bodenversauerung, da die pH-Werte infolge des Rieselbetriebes weit über den natürlichen Werten liegen. Durch die damit verbundene Löslichkeitserhöhung der Schwermetalle kann es zur verstärkten Pflanzenaufnahme und damit auch zu Schädigungen kommen, und es ist mit einer verstärkten Schwermetallauswaschung in tiefere Bodenschichten bis hin zum Grundwasser zu rechnen. Ausmaß und Geschwindigkeit dieses Prozesses sind allerdings von der Baumart abhängig.
- Falls bei der Bestandesbegründung eine Bodenbearbeitung notwendig ist, kann es in den ersten Jahren zu einem verstärkten Humusabbau und damit auch zu einem Verlust an Sorptionsplätzen kommen.
- Die Kosten einer Erstaufforstung ehemals landwirtschaftlich o.ä. genutzter Flächen liegen i.A. höher als Wiederaufforstungen in Waldgebieten. Ursache hierfür sind zum einen Forstschutzprobleme (Spätfröste, hoher Wildbestand, Mäuse). Zum anderen können die Zielbaumarten meist erst unter einem Schirm sog. Ammengehölze gepflanzt werden. Auf den Rieselfeldern kommen zusätzliche Aufwendungen für evtl. notwendige Erdarbeiten (z. B. Einebnen von Dämmen und Gräben) und Meliorationskalkungen hinzu.
- In den Beständen wachsende Pilze müssen aufgrund ihres Akkumulationsvermögens grundsätzlich als potentiell schwermetallbelastet angesehen werden, Sammeln und Verzehr durch Erholungssuchende müssen verhindert werden.
- Bei fortschreitendem Erkenntnisstand über Risiken oder Sanierungsverfahren sind evtl. notwendige Eingriffe auf den Flächen schwieriger als unter Acker- oder Grünlandnutzung.

5.2.4 Empfehlungen zur forstlichen Nachnutzung

Die vorliegenden Erkenntnisse zeigen, daß eine forstliche Nachnutzung ehemaliger Rieselfelder grundsätzlich möglich ist. Allerdings müssen aufgrund der aufgezeigten Probleme bestimmte Aspekte bei der Flächenbehandlung, der Baumartenwahl und der Pflege der Bestände in Abhängigkeit von der Bodenbelastung beachtet werden.

Flächenbehandlung: Zur Bestandesbegründung sollten möglichst schonende Bodenbearbeitungsverfahren eingesetzt werden, um das Verwehen von belastetem Material und eine Stimulierung von Mineralisationsprozessen zu minimieren. Dies kann z.B. durch das streifen- oder plätzeweise Anlegen von Kulturen erfolgen. Im Bereich der ehemaligen Einlaßbecken und der anschließenden stark belasteten Flächen sollte eine Meliorationskalkung (hohe Dosis, evtl. mit Einarbeitung) durchgeführt werden, um einer Bodenversauerung entgegenzuwirken. Der Bodenzustand muß in regelmäßigen Abständen (ca. alle 5 Jahre) überprüft und bei Absinken der pH-Werte durch weitere Kalkungen stabilisiert werden.

Da die Wasserversorgung der Jungbestände gerade in den ersten Jahren durch die auf diesen trockenen aber nährstoffreichen Böden sehr wüchsige Konkurrenzvegetation (insbes. Quecke, Sandrohr) beeinträchtigt wird, müssen Maßnahmen getroffen werden, um diese Konkurrenten zurückzudrängen. Hierfür hat sich die Ausbringung verschiedener Mulchmaterialien (Gras- oder Rindenmulch, Hackschnitzel) als wirkungsvoll erwiesen.

Baumarten: Die Wahl der Baumarten ist in erster Linie abhängig von den Nährstoff- und Wasserverhältnissen der Standorte. Die Schadstoffgehalte der Böden stellen nach bisherigen Erkenntnissen dagegen keinen limitierenden Faktor für das Baumwachstum dar. Allerdings muß beachtet werden, daß Baumarten, die die Rohhumusbildung und damit die Bodenversauerung fördern (z.B. Kiefer und Buche), nicht im Bereich der Einlaßbecken und anderer Hochlastverdachtsflächen gepflanzt werden. Günstigere Humusformen bilden sich dagegen unter Eiche, Ulme, Ahorn, Erle, Birke, Linde oder Hainbuche. Abgeleitet aus den Berliner Waldbaurichtlinien (1992) eignen sich einheimische Baumarten für die folgenden Standortverhältnisse:

Kiefer:	trocken bis feucht, nährstoffarm
Sandbirke:	trocken bis feucht, nährstoffarm
Moorbirke:	frisch bis feucht, nährstoffarm
Traubeneiche:	trocken bis frisch, unabhängig von Nährstoffverhältnissen
Buche:	trocken bis frisch, nährstoffarm bis mäßig nährstoffversorgt
Espe:	trocken bis frisch, unabhängig von Nährstoffverhältnissen
Esche:	trocken bis frisch, mäßig bis kräftig nährstoffversorgt

Feldulme:	trocken bis feucht, mäßig bis kräftig nährstoffversorgt
Berg- und Spitzahorn:	trocken bis feucht, mäßig bis kräftig nährstoffversorgt
Vogelkirsche:	trocken bis frisch, kräftig nährstoffversorgt
Hainbuche:	frisch bis feucht, mäßig bis kräftig nährstoffversorgt
Winterlinde:	frisch bis feucht, mäßig bis kräftig nährstoffversorgt
Stieleiche:	feucht, unabhängig von Nährstoffverhältnissen

Für frisch stillgelegte Rieselfelder (bis 5 Jahre) kann davon ausgegangen werden, daß die Nährstoffverhältnisse der Böden gut bis sehr gut sind, so daß auch die anspruchsvolleren Baumarten mit den meist günstigeren Humusformen gepflanzt werden können. Liegt der Rieselbetrieb länger zurück, kommt es aufgrund von Mineralisierungs- und Versauerungsprozessen zur Nährstoffverarmung und es können meist nur konkurrenzstarke Pioniergehölze zur Bestandesbegründung eingesetzt werden, die als „Ammengehölze“ für die später zu pflanzenden Zielbaumarten dienen. Entscheidend für die Baumartenwahl sind vor allem die Wasserverhältnisse, die durch Grundwasserflurabstand, Substrat und Humusgehalt bestimmt werden.

Pflege: Wie bei allen Erstaufforstungen von großen waldfreien Flächen müssen besondere Maßnahmen zum Schutz der Pflanzungen vor den dort stärker wirksamen biotischen und abiotischen Schadfaktoren getroffen werden. Hierzu gehören erhöhter Verbißdruck, Konkurrenzvegetation, häufigere Spätfröste und verstärkte Austrocknung durch Wind. Zäunungen, Einzelbaumschutz und Mulchen müssen daher verstärkt eingesetzt werden. Auf den hochbelasteten Flächen der Rieselfelder kommt hinzu, daß dort auf der Grundlage der regelmäßigen Bodenzustandserfassung auch alle 15 - 25 Jahre Erhaltungskalkungen durchgeführt werden müssen.

Feuchthaltung: Auf Flächen wo eine Feuchthaltung mit Klar- oder Grundwasser stattfindet, kann auf Meliorations- und Erhaltungskalkungen verzichtet werden und es lassen sich Baumarten mit höheren Wasseransprüchen anpflanzen (z.B. Hainbuche, Winterlinde, Stieleiche). Allerdings muß dann die regelmäßige Wasserzufuhr für die gesamte Umtriebszeit gewährleistet sein.

5.3. Stellungnahme des Instituts für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Umweltbundesamtes

Nach den bisher bekannt gewordenen Erkenntnissen der AG Prof. U. Tröger (TU Berlin) ist keine Gefahr von den Rieselfeldern und dem kontaminierten Grundwasser, darunter für die Trinkwasserversor-

gung, zu befürchten. Von seiten der AG Dr. Blumenstein (Universität Potsdam) werden je nach Belastung verschiedene Maßnahmen zur Minimierung des Austrags von Schadstoffen aus der Krume in den Unterboden und das Grundwasser empfohlen.

Aus der Sicht des Instituts für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Umweltbundesamtes stellen weite Teile der ehemaligen Rieselfelder eine ernstzunehmende Gewässer- und Bodenbelastung dar, die nach der gegenwärtigen Gesetzeslage im Falle einer Neuzulassung des Rieselbetriebes mit ähnlichen Folgen keinesfalls geduldet würde.

Daraus ist u.E. der Schluß zu ziehen, daß (soweit nicht Totalsanierungsmaßnahmen in Frage kommen) alles getan werden muß, um eine Schadstoffverlagerung möglichst effizient zu minimieren und eine Verbesserung der Grundwasserqualität in die Wege zu leiten.

Die Feuchthaltung der Rieselfelder gilt nach wie vor als ein Mittel zur Verzögerung des Schadstofftransports aus dem Oberboden in tiefere Bodenschichten und in das Grundwasser. Ohne Verrieselung dürfte das Grundwasser unter den Rieselfeldern noch über viele Jahre seine schlechte Qualität beibehalten.

Durch die bedeutende Belastung in den oberen Grundwasserleitern ist eine negative Beeinflussung der Trinkwasserversorgung auch dann nicht mit Sicherheit auszuschließen, wenn die Grenzwerte gemäß TVO aller Voraussicht nach nicht überschritten werden. Es geht mithin sehr wohl auch um eine Verbesserung der Trinkwasserqualität im südlichen Umland.

Wenn wirtschaftlich vertretbare Möglichkeiten einer Sanierung bzw. Grundwasserverbesserung bestehen, sollten sie schon aus Vorsorgegründen geprüft und ggf. angewandt werden, insbesondere dann, wenn gleichzeitig eine Verbesserung der Klarwasserqualität gefordert werden muß.

Ein wirtschaftlich vertretbarer Weg ist u.E. in der Verbindung mit der Boden- und Grundwasserpassage des Ablaufs der Berliner Klärwerke zu sehen - auch wenn derzeit die dafür notwendigen gesetzlichen Auflagen noch nicht erteilt sind.

Alle bisher vorgebrachten Einwände gegen die Boden- und Grundwasserpassage von weitergehend gereinigtem Klarwasser widerlegen nicht die bisher gewonnenen Erkenntnisse, daß derartige Maßnahmen eine Feuchthaltung ermöglichen und gleichzeitig die Qualität der oberen Grundwasserleiter unter den ehemaligen Rieselfeldern gravierend verbessern.

Ein Klarwasser der Ruhlebener Qualität weist gemäß den im Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene am Umweltbundesamt und der Technischen Universität Berlin (AG Prof. Hansen) durchgeführten Untersuchungen nach einer Boden- und Grundwasserpassage von 10 - 20 Tagen eine deutliche bessere Qualität auf als der größte Teil des Grundwassers im 1. Grundwasserstockwerk unter den alten untersuch-

ten Rieselfeldflächen. Durch eine periodische Grundwasserentnahme ließe sich darüber hinaus ein Austausch des kontaminierten Grundwassers bewerkstelligen.

Eine relevante neue Bodenbelastung ist nach den bisherigen Erkenntnissen nicht anzunehmen. Die Wirkung des Bodens scheint zur Hauptsache in einer Filter- und Reaktorfunktion zu bestehen. Schadstoffe werden also - soweit überhaupt möglich - zunächst einmal festgehalten und dann abgebaut.

Dadurch, daß der größere Teil des verrieselten Wassers nach 10 - 20tägiger Boden- und Grundwasserpassage dem Vorfluter zugeführt werden soll, wird der Tatsache Rechnung getragen, daß die, Oberflächengewässer des südlichen Berliner Umlandes noch lange einerseits sehr geringe Abflußspenden aufweisen und andererseits durch Abwasser und sonstige Einleitungen überlastet werden.

In diesem Zusammenhang ist ebenfalls festzuhalten, daß eine „komplizierte Geologie“ - d.h. häufiger Wechsel von Schichten mit guter und schlechter Durchlässigkeit - sich gerade besonders gut als Schutz vor dem Eintrag von Schadstoffen in das Trinkwasser eignet und dazu den Anteil am geförderten Rohwasser niedrig hält.

Vom wasserrechtlichen Standpunkt her handelt es sich um eine Verbesserung der vorhandenen Grundwasserqualität. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt geht es mit der Boden- und Grundwasserpassage an diesem Standort nicht um eine Dauerlösung, sondern dort um eine Prüfung des Verfahrens im technischen Maßstab, wo mit Sicherheit keine Verschlechterung des Grundwassers zu erwarten ist. Ebenso wie mit den Pilotversuchen negative Erfahrungen nicht auszuschließen sind, läßt sich nicht mit Sicherheit sagen, daß im Laufe der Zeit eine weitere Vorbehandlung des Klarwassers nicht allen Ansprüchen genügen könnte und sich die Gefährdung durch die Schadstoffe im Oberboden als vernachlässigbar herausstellt.

Eine vorhandene Infrastruktur der alten Rieselfelder wäre zum größten Teil noch nutzbar. Pilotversuche auf völlig neu hergerichteten Flächen wären dagegen sehr teuer und würden vor dem Beweis des Gegenteil wieder Anlaß zu Bedenken geben.

5.4 Naturschutz und Landschaftspflege

Die ehemaligen Rieselfelder um Berlin liegen laut Landesentwicklungsplan für den engeren Verflechtungsbereich (LEP eV, Entwurf) im „Entwicklungsraum Regionalpark“. Die Regionalparks sollen sowohl als ökologische Ausgleichsräume als auch als Erholungsgebiete für die Bevölkerung dienen.

Ziel ist die Entwicklung einer verträglichen Struktur von zu schützenden Landschaftsbestandteilen, Erho-

lungsformen, ökologisch verträglicher Land- und Forstnutzung und dörflicher Siedlungsentwicklung. Die Regionalparks sollen die stadtnahe Kulturlandschaft in der Charakteristik der einzelnen Teilräume bewahren und weiterentwickeln. Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen für Eingriffe in Natur und Landschaft sollen insbesondere den Entwicklungszielen der Regionalparks dienen.

Diesen landesplanerischen Aussagen entsprechen die Ziele des Naturschutzes und der Landschaftspflege für den betreffenden Raum.

Die Rieselfeldnutzung ist eine historisch entstandene Form der Landbewirtschaftung zum Zweck der Abwasserentsorgung. Aufgrund ihrer flächenmäßigen Ausdehnung ist sie in den betreffenden Räumen zum prägenden Bestandteil der Kulturlandschaft geworden. Nicht zuletzt haben die Rieselfelder auch eine besondere Bedeutung für den Artenschutz gewonnen (Lebensraum für Wat- und Wasservögel sowie für viele andere Arten, Orchideenwiesen im Bereich des Grundwasserabstroms).

Daher sollten - wo dies aus Gründen des Boden- und Grundwasserschutzes möglich ist - die ehemaligen Rieselfelder teilweise weiterhin bzw. wieder befeuchtet werden. Dabei sollte ein Anteil von etwa 15% der früheren Gesamtfläche angestrebt werden. Um negative Effekte für das Grundwasser zu minimieren, sollte stickstoff- und phosphateliminiertes Klarwasser verwendet werden. Wo dies nicht möglich ist, kommt auch eine Bewässerung aus dem ersten Grundwasserleiter in Frage. Als technische Denkmäler könnten Rieselfelder auch sinnvoll in übergreifende Erholungskonzepte eingebunden werden.

Wichtigstes Ziel des Naturschutzes und der Landschaftspflege ist eine möglichst kleinteilige, vielfältige und extensive Nachnutzung sowohl der weiterhin bewässerten als auch der trockenfallenden Flächen. Ein angemessener Flächenanteil sollte der natürlichen Sukzession überlassen bleiben sowie für den Biotopverbund vorgesehen werden. Um den Aspekten der Erholung und des Artenschutzes gerecht zu werden, sollen sich die verschiedenen Flächennutzer der ehemaligen Rieselfelder an den naturschutzfachlichen Anforderungen orientieren.

Da der Schwerpunkt auf einer den Zielen des Naturschutzes entsprechenden Bewirtschaftung und Pflege der Kulturlandschaft durch Wasserwirtschaft, Land- und Forstwirtschaft liegen soll, ist die Ausweisung von Naturschutzgebieten (NSG) in den betreffenden Räumen nicht erforderlich. Den unteren Naturschutzbehörden bleibt es unbenommen, Teilbereiche als Geschützte Landschaftsbestandteile (GLB) zu sichern.

Bewaldung, Acker- und Grünlandnutzung sowie natürliche Sukzession sollten zu etwa gleichen Teilen erfolgen. Vorhandene Kleinstrukturen (Einzelbäume, Gehölze, Hecken, Dämme und Wälle) sind - soweit

noch vorhanden - als gliedernde Landschaftselemente zu erhalten.

Auf den für die natürliche Sukzession vorzusehenden Flächen findet mit Ausnahme von Maßnahmen des Grundwasser- und Bodenschutzes (z.B. um das Absinken des pH-Werts zu verhindern) keine Nutzung und Pflege statt. Infolge der natürlichen Entwicklung werden wegen der besonderen Standortbedingungen zwar auf absehbare Zeit keine Wälder mit einer der potentiell natürlichen Vegetation entsprechenden Artenzusammensetzung entstehen, jedoch Sukzessionsstadien, die ebenfalls Bedeutung für Artenschutz und Biotopverbund sowie für die Erholung haben. Die Sukzessionsflächen kommen vorrangig für die Ausweisung von Geschützten Landschaftsbestandteilen durch die unteren Naturschutzbehörden in Frage.

Zukünftige Waldflächen sollen durch die Initialpflanzung ausschließlich von Baumarten der potentiell natürlichen Vegetation und extensive forstwirtschaftliche Pflege entstehen. Für einen gestuften Alteraufbau der Bestände, naturnahen Unterwuchs und möglichst lange Übergangslinien zu angrenzenden Nutzungen durch ausgebuchete Waldränder ist zu sorgen.

Auf zukünftigen landwirtschaftlichen Flächen sollte keine Nahrungsmittelproduktion erfolgen, der Anbau von Energie-, Rohstoff- und Futtermitteln nur auf gering belasteten Flächen. Düngung soll nur standort- und pflanzenbedarfsgerecht erfolgen, synthetische Pflanzenschutzmittel sollen nicht eingesetzt werden. Die Schlaggröße soll maximal 5 ha betragen und die Ackerrandstreifen (mindestens 5 m) sollen nicht gedüngt oder mit Pflanzenschutzmitteln behandelt werden. Eine dauerhafte Pflanzenbedeckung ist anzustreben. Grünland sollte ein- oder zweimal jährlich gemäht oder beweidet werden. Bei der Produktion von Futtermitteln ist eine laufende Schadstoffkontrolle zu gewährleisten.

Neben der entsprechenden Bewirtschaftung der Flächen selbst (extensive Ackerrandstreifen, naturnahe Waldränder) können auch die Anlage von Hecken, Wegen mit Feldrainen, Feldgehölzen, die Bepflanzung noch wasserführender Gräben und Kleinstrukturen wie Totholz und Lesesteinhaufen zum Biotopverbund beitragen. Asphaltierte Wege sollen möglichst rückgebaut werden.

Die Anlage von Gewässern aus Artenschutz- oder Erholungsgründen ist nur sinnvoll in auch ohne Bewässerung von Natur aus feuchten Gebieten; sie wird daher im Bereich der ehemaligen Rieselfelder nur im Ausnahmefall in Frage kommen.

Eine weitere wesentliche Funktion der Regionalparks ist die Verhinderung weiterer Zersiedlungstendenzen im Berliner Umland durch die Sicherung ausreichender Landschaftsräume und Grünzäsuren. Eine Bebauung kann daher nur im Einzelfall und kleinflächig,

wenn die Gemeinde die ihrer zentralörtlichen Funktion angemessene Siedlungsentwicklung noch nicht erreicht hat, erfolgen.

Zur Verbesserung der Erholungseignung sollten die Gebiete in Abstimmung mit den unteren Naturschutzbehörden durch die Anlage von Wander-, Rad- und Reitwegen erschlossen werden. Auf die behutsame Erschließung sensibler Bereiche (Brut- und Nahrungsgebiete von Vögeln, wertvolle Vegetationsbestände und Feuchtgebiete) ist durch geeignete Maßnahmen der Besucherlenkung besonders zu achten.

6. Empfehlungen für die Planung

- Aufgrund der jahrzehntelangen Nutzung von Rieselfeldern zur Abwasserbehandlung müssen diese als Bodenbelastungsgebiete eingestuft werden. Infolge der Nutzungsdauer, -intensität und der speziellen Rieselfeldtechnik weisen die Böden eine hohe Variabilität der Belastung auf. Kleinräumig können hierbei insbesondere im Bereich der Einleiter und Schlamm-trockenbeete hoch belastete Flächen auftreten.
- Vor jeder Nutzungszuweisung sind die betroffenen Flächen in ihrer Bodenbelastung zu untersuchen. Wegen der hohen räumlichen Variabilität sind Bodenuntersuchungen, wo keine Rieselfeld-Strukturen mehr erkennbar sind, in einem Raster von max. 20 m Kantenlänge durchzuführen. Zur Eingrenzung hochbelasteter Flächen können zusätzlich historische Karten, geophysikalische Untersuchungen und Luftbilder herangezogen werden.
- Erhaltene Rieselfeldstrukturen (Dämme, Gräben, Zuleiter etc.) sollten nicht eingeebnet werden, ehe eine detaillierte Standortcharakterisierung durchgeführt wurde, da auf diese Weise die Eingrenzung und evtl. Sanierung von Hochlastflächen erleichtert wird.
- Vor jeder Nutzungszuweisung sind weiterhin die bisher nicht untersuchten Rieselfeldgebiete außerhalb der Räume Berlin-Buch und dem Wasserwerk Johannistal bezüglich der Gefährdung genutzter Grundwasserressourcen und der Oberflächengewässer zu untersuchen.
- Ausgenommen von den o.g. Untersuchungen sind Folgenutzungen im Rahmen der Landschaftspflege und des Naturschutzes, bei denen durch Feuchthaltung, Kalkung und/oder Mulchen eine weitgehende Schadstoffimmobilisierung gewährleistet ist.
- Auf mittel und stark belasteten Flächen sind solche Nutzungen anzustreben, die das Risiko einer weiteren Schadstoffverlagerung ins Grundwasser minimieren. Außer bei einer Bebauung mit Vollversiegelung müssen auf diesen Flächen in jedem Fall pH- und humusstabilisierende Maßnahmen (kontrolliertes Kalken, Mulchen und Feuchthaltung) durchgeführt werden.

- Für die Folgenutzung Landschaftspflege und Naturschutz wird die Ausweisung noch intakter Rieselfelder als großräumige Erholungslandschaft vorgeschlagen.
- Bei der Folgenutzung Wald sind auf mittel und hoch belasteten Flächen in regelmäßigen Abständen Erhaltungskalkungen durchzuführen.
- Bei der Folgenutzung Landwirtschaft ist der Anbau von Nahrungs- und Futterpflanzen ohne vorherige Sanierung der hoch belasteten Flächen nicht zu gestatten. Auf gering bis mittel belasteten Flächen ist ein Anbau von Energie- und Rohstoffpflanzen möglich.
- Bei der Folgenutzung Bebauung zu Wohnzwecken sind die Normwerte noch tolerierbarer Schadstoffgehalte für Kinderspielflächen im Boden einzuhalten.
- Bei der Folgenutzung Bebauung zu Gewerbezwecken sind die Einbauwerte für Böden der Brandenburger Liste einzuhalten.

7. Empfehlungen für die Forschung

7.1 Bereich Bodendynamik

- Aufklärung von Intensität und Geschwindigkeit des Mineralisierungsprozesses, Veränderungen der Azidität bei Nichtbeaufschlagung, Untersuchung der Pufferungsmechanismen mit dem Ziel einer besseren Prognose zeitabhängiger Veränderungen
- Untersuchungen zur Metabolisierung der Organika und deren mögliche Ökotoxizitäten
- Prüfen des Zusammenwirkens organischer und mineralischer Schadstoffe auf Ihre Löslichkeit und Ökotoxizität
- Erkundung typischer Komplexierungsmechanismen und der daraus resultierenden Erhöhung der Mobilität für Schwermetalle
- Quantifizierung biogeochemischer Kreisläufe zur Bilanzierung der Veränderungen im Stoffspeicher Boden
- Erweiterung und Qualifizierung des Spektrums der ökotoxikologischen Bewertung
- Bedeutung von Bodenorganismen bei der Festlegung, Mobilität und Abbau von Schadstoffen
- Bedeutung von Bodenorganismen bei der Stabilisierung der organischen Substanz im Boden

7.2 Bereich Wasserhaushalt

- Systematische Bewertung sämtlicher Rieselfelder bezüglich Gefährdung genutzter Grundwasserressourcen und Oberflächengewässer auf Basis bestehender Datengrundlagen (s. Kap. 6 - Planungsempfehlungen)
- Weitergehende Erforschung von organischen Inhaltsstoffen in Abwässern und in von Abwässern beeinflussten Grund- und Oberflächenwässern

- Entwicklung von alternativen Speicherungs- und Nutzungskonzeptionen von geklärtem Abwasser zur Stabilisierung des Wasserhaushaltes und zur Entlastung der Nährstofffrachten der Hauptvorflut
- Erarbeitung von Kriterien zur Ermittlung von Flächen, die zur Feuchthaltung geeignet sind
- Durchführung von Modellberechnungen mit Klarwasser und Darstellung in einem Flächenkataster

7.3 Bereich Landwirtschaft und Forstwirtschaft

- Kontrolle der Stoffflüsse im Transfer Boden - Pflanze - Tier
- biotische und abiotische Methoden zur Festlegung von Schadstoffen im Boden zur Verminderung des Transfers in die Nahrungskette
- Suchen und Prüfen von Nutz- und Wildpflanzen als Exkluder- bzw. Akkumulatorpflanzen
- Verwertungsstrategien für Ernteprodukte und Produktionsrückstände erarbeiten
- Aufklären zoo- und phytotoxischer Wirkungen auf hochbelasteten Teilflächen und Erarbeiten von Strategien zur Begrünung und Wiederbesiedlung von Flächen mit hohen Bodenkontaminationen
- Untersuchungen zur Feuchthaltung der belasteten Böden in ihrem Einfluß auf Schadstoffmobilität Boden - Bodenwasser - Pflanze - Tier

7.4 Bereich Naturschutz

- Aktuelle Biotopkartierung, mindestens im Maßstab 1:10000, zur Ermittlung wertvoller Bereiche (Bäume/Gehölze, Orchideenwiesen u.a. erhaltenswerter Wiesenbereiche; feuchtegeprägter Flächen) mit Bedeutung für den Artenschutz
- Ergänzende faunistische Kartierungen (insbesondere Avifauna, ausgewählte Insektengruppen, Amphibien)
- Erfassung der für die landschaftsgebundene Erholung wertvollen Flächen, Ableitung von Schutz- und Pflegemaßnahmen für verschiedene Biotoptypen
- Wiederholte Kartierung der Entwicklung von Flora und Fauna auf ehemaligen Rieselfeldern, insbesondere auf Sukzessionsflächen (Biomonitoring) sowie auf überstauten Flächen

Schriftenreihe des Landesumweltamtes Brandenburg „Studien und Tagungsberichte“ (ISSN 0948 - 0838)

- Band 1* *Geotechnik im Deponiebau*
Ausgewählte Beiträge aus den Geotechnischen Seminaren des Landesumweltamtes
Brandenburg 1992/93 (1994)
- Band 2* *Abwasserbeseitigung im Land Brandenburg*
Abwasserbeseitigung im Land Brandenburg – dezentrale Lösungen –
Tagungsberichte über das Abwassersymposium am 21.10.1992 (1993)
- Band 3* *Das Trockenjahr 1992 im Land Brandenburg*
Eine Modellbetrachtung aus wasserwirtschaftlicher Sicht – Studie (1994)
- Band 4* *Abfallwirtschaft und Bergbau*
Beiträge der Fachtagung „Abfallwirtschaft/Kreislaufwirtschaft – Herausforderung
für die Region Cottbus und die Braunkohlenindustrie“ am 05./06.04.1995 (1995)
- Band 5* *Luftqualität 1975 bis 1990*
Ein Rückblick für das Gebiet des heutigen Landes Brandenburg – Studie (1995)
- Band 6* *Wasserbeschaffenheit in Tagebaurestseen*
Bergbaubedingte Wasserbeschaffenheit in Tagebaurestseen
– Analyse, Bewertung und Prognose –
Untersuchungen im Lausitzer Braunkohlenrevier – Studie (1995)
- Band 7* *Rüstungsaltpasten*
Beiträge des Fachseminars „Rüstungsaltpasten“ am 22.06.1995 in Potsdam (1995)
- Band 8* *Die Havel*
Naturwissenschaftliche Grundlagen und ausgewählte Untersuchungsergebnisse
– Studie (1995)
- Band 9* *Rieselfelder Brandenburg-Berlin*
- Fachtagung „Rieselfelder Brandenburg-Berlin“ im Februar 1995
- Bericht des Wissenschaftlich-technischen Beirates Rieselfelder (WTB)
vom Dezember 1995

Herausgeber:

Landesumweltamt Brandenburg
Referat Öffentlichkeitsarbeit
Berliner Straße 21 - 25
14467 Potsdam
Telefon: (0331) 2323-259
Telefax: (0331) 29 21 08